



HAL
open science

Contribution à l'ergonomie de conception des interfaces graphiques homme-machine dans les procédés industriels: Application au système expert SYNOP

Christophe Kolski

► **To cite this version:**

Christophe Kolski. Contribution à l'ergonomie de conception des interfaces graphiques homme-machine dans les procédés industriels: Application au système expert SYNOP. Automatique / Robotique. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 1989. Français. NNT: . tel-01941699

HAL Id: tel-01941699

<https://hal.science/tel-01941699>

Submitted on 1 Dec 2018

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

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

THESE

présentée à

l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis

pour l'obtention du

DOCTORAT

Spécialité AUTOMATIQUE INDUSTRIELLE et HUMAINE

par

Christophe KOLSKI

Ingénieur E.U.D.I.L.

**CONTRIBUTION A L'ERGONOMIE DE CONCEPTION
DES INTERFACES GRAPHIQUES HOMME-MACHINE
DANS LES PROCEDES INDUSTRIELS :
Application au système expert SYNOP**

Soutenue le 30 Janvier 1989 devant la commission d'examen :

MM :	Noël MALVACHE	Président et Rapporteur
	Pierre VIDAL	Rapporteur
	Bernard FAVRE	
	Patrick MILLOT	
	René SOENEN	
	André TITLI	

Remarque préalable : ce mémoire datant de 1989 a été reconstitué en 2018. Pour des raisons d'incompatibilité partielle avec le format des logiciels d'édition de texte et de figures initialement utilisés, il a été nécessaire de scanner la plupart des figures et d'adapter légèrement la mise en page.

AVANT PROPOS

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine, à l'Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.

Je remercie vivement Monsieur le Professeur Noël MALVACHE, Directeur du Laboratoire, et Monsieur le Professeur Pierre VIDAL, de me faire l'honneur d'être rapporteurs de mon travail.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur Patrick MILLOT, Docteur ès Sciences, qui m'a suivi et guidé durant cette étude.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur Bernard FAVRE, Directeur de recherche à RENAULT, Monsieur le Professeur René SOENEN et Monsieur le Professeur André TITLI qui ont accepté de prendre connaissance de ce travail et de venir siéger à cette commission.

Je tiens également à remercier Monsieur le Professeur Didier WILLAEYS qui m'avait accueilli dans le Laboratoire et proposé ce sujet.

Enfin, j'adresse mes remerciements les plus vifs à tous mes camarades de L.A.I.H. dont le soutien amical m'a grandement aidé dans la conduite de mes travaux de recherche ou de frappe de ma thèse.

Dla Mama, Tata, Babcia,
Bernie, Nathan, Sabinka i Schmoll

Well, and ...

Mit Sanftmut kommt man auch zum Ziel
aber ...
Nach getaner Arbeit ist gut ruhen.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	11
CHAPITRE I : <u>PROBLEMES ERGONOMIQUES LIES A L'INTERFACE GRAPHIQUE HOMME-MACHINE DANS LES PROCEDES INDUSTRIELS</u>	
INTRODUCTION	15
I - L'EVOLUTION DES SUPPORTS D'INFORMATION DANS LES SALLES DE CONTROLE DES PROCEDES INDUSTRIELS AUTOMATISES	16
I.1 - LE PARCOURS DES INSTALLATIONS	16
I.2 - LES PANNEAUX SYNOPTIQUES	17
I.3 - LES ECRANS DE VISUALISATION	17
I.4 - CONSEQUENCE VIS-A-VIS DU ROLE ET DES ACTIVITES DE L'OPERATEUR DANS LES SALLES DE CONTROLE	19
II - LA PRESENTATION DE L'INFORMATION SUR ECRAN GRAPHIQUE	20
II.1 - LE PRINCIPE DE CONSTITUTION DES VUES	20
II.1.1 - LA PARTIE STATIQUE	20
II.1.2 - LA PARTIE DYNAMIQUE	23
II.2 - LES METHODES TRADITIONNELLES D'AFFICHAGE GRAPHIQUE DE L'INFORMATION	24
II.2.1 - L'AFFICHAGE ANALOGIQUE SANS MEMOIRE	25
II.2.2 - L'AFFICHAGE ANALOGIQUE AVEC MEMOIRE	25
II.2.3 - L'AFFICHAGE PAR DEFORMATION	25
II.2.4 - L'AFFICHAGE PAR MODELES DE FLUENCE	28
II.2.5 - L'AFFICHAGE "SYNOPTIQUE"	29
II.2.6 - CONCLUSION SUR LES METHODES D'AFFICHAGE SPECIFIQUES	31
III - LES REACTIONS DE L'OPERATEUR HUMAIN FACE AUX VUES DE L'INTERFACE GRAPHIQUE HOMME-MACHINE	32
III.1 - L'ADOPTION D'UN SOUS-ENSEMBLE DE VUES	33
III.2 - LE REJET D'UN SOUS-ENSEMBLE DE VUES	35
III.3 - L'ABSENCE CONSTATEE D'UN SOUS-ENSEMBLE DE VUES	36

IV - UNE DEMARCHE ERGONOMIQUE DE CONCEPTION DE L'INTERFACE GRAPHIQUE HOMME-MACHINE	36
IV.1 - PRINCIPE DE LA DEMARCHE	37
IV.2 - L'EVALUATION "STATIQUE" DES VUES	39
IV.3 - L'EVALUATION "DYNAMIQUE" DES VUES	40
V - CONCLUSION	42

CHAPITRE II : CONCEPTS ERGONOMIQUES POUR L'AMENAGEMENT DE L'INTERFACE GRAPHIQUE HOMME-MACHINE

INTRODUCTION	45
I - LIMITES ET DEMARCHES DE L'OPERATEUR EN SALLE DE CONTROLE	46
II - CONCEPTS GENERAUX ORIENTES VERS L'AMENAGEMENT "DYNAMIQUE"	48
II.1 - LA PERTINENCE DE L'INFORMATION	49
II.2 - LES INFORMATIONS PERMETTANT LA PREVISION	51
II.3 - LE CONTROLE DES ENTREES DE L'OPERATEUR	52
II.4 - LA PRISE EN COMPTE DU DEGRE D'EXPERIENCE ET DE CONNAISSANCE DE L'OPERATEUR	53
II.5 - LES TEMPS DE REPONSE DE L'INTERFACE	54
II.6 - CONCLUSION SUR LES CONCEPTS GENERAUX ORIENTES VERS L'AMENAGEMENT "DYNAMIQUE"	55
III- CONCEPTS ERGONOMIQUES POUR L'AMENAGEMENT "STATIQUE" DE VUES GRAPHIQUES	55
III.1 - LE CODAGE DE L'INFORMATION	56
III.1.1 - LE CODAGE ALPHANUMERIQUE	56
III.1.2 - LE CODAGE COLORE	57

Sommaire

III.1.2.1 - L'INFLUENCE DE LA TACHE SUR L'EFFICACITE DU CODAGE COLORE	57
III.1.2.2 - LES STEREOTYPES DE PERCEPTION DES COULEURS	59
III.1.2.3 - LE PROBLEME DES CONTRASTES COLORES	60
III.1.3 - LE CODAGE PAR ATTRIBUT VIDEO	62
III.1.4 - LE CODAGE SYMBOLIQUE PAR DISTINCTION DE FORME OU DE TAILLE	62
III.1.5 - AUTRES TYPES DE CODAGE	63
III.2 - L'ORGANISATION ET LA STRUCTURATION DE L'INFORMATION	64
III.2.1 - LE FORMAT D'ECRAN	65
III.2.2 - LE FORMAT DE PRESENTATION DES DONNEES	67
III.2.3 - L'ORGANISATION SPATIALE DE DONNEES IMPORTANTES	68
III.2.4 - AUTRES REGLES D'HOMOGENEITE ET DE STANDARDISATION DE L'INFORMATION	69
III.3 - LA SIMPLIFICATION ET L'ALLEGEMENT DES VUES PAR LA DIMINUTION DE LA DENSITE D'INFORMATION	72
III.3.1 - LA DENSITE SURFACIQUE	72
III.3.2 - LA DENSITE COGNITIVE	73
III.3.3 - CONCEPTS VISANT A DIMINUER LA DENSITE D'INFORMATION D'UNE VUE GRAPHIQUE	74
III.4 : AUTRES CONCEPTS ET REGLES VISANT A FACILITER LA PERCEPTION ET L'INTERPRETATION DE L'INFORMATION	76
III.4.1 - LA LISIBILITE DES CARACTERES	76
III.4.2 - L'INTERPRETATION DES FONCTIONS ANIMEES DE TYPE ANALOGIQUE	78
III.4.3 - REGLES SPECIFIQUES A CHAQUE TYPE DE FONCTION ANIMEE	80
IV - CONCLUSION	81

CHAPITRE III : LE SYSTEME EXPERT SYNOP D'AIDE A L'EVALUATION STATIQUE DE SYNOPTIQUES INDUSTRIELS

INTRODUCTION	84
I - LA STRUCTURE DE LA CHAINE LOGICIELLE INTEGRANT LE SYSTEME EXPERT SYNOP	84
II - LE MODULE D'EVALUATION "STATIQUE" DE VUES GRAPHIQUES	86
II.1 - PHASE INITIALE D'INTERPRETATION DES FICHIERS GRAPHIQUES EN RESEAU SEMANTIQUE	89
II.1.1. - PRESENTATION GENERALE DES FICHIERS BINAIRES A DECODER	89
II.1.2 - L'INTERPRETEUR D'IMAGES	91
II.2 - PHASE D'EVALUATION ET D'AMELIORATION DE LA VUE	93
II.2.1 - MODES DE REPRESENTATION ET D'EXPLOITATION DES CONNAISSANCES DANS SYNOP	94
II.2.2 - LE PRINCIPE D'EVALUATION ET D'AMELIORATION ERGONOMIQUES	98
II.3 - PHASE DE RECONSTITUTION DES FICHIERS GRAPHIQUES DE LA VUE AMELIOREE	100
III - LES INTERFACES UTILISATEUR ET EXPERT DE SYNOP	101
III.1 - MODES DE FONCTIONNEMENT DE L'INTERFACE UTILISATEUR	102
III-2 - L'INTERFACE EXPERT DE MISE A JOUR DES REGLES ERGONOMIQUES	107
III.2.1 - LA GESTION DES "SOUS-BASES" DE CONNAISSANCE OU DE METACONNAISSANCE	107
III.2.2 - LA MISE A JOUR DES REGLES D'UNE BASE	110
III.2.2.1 - L'EDITION DES ENTITES DE LA BASE	110
III.2.2.2 - LA CREATION D'UNE REGLE	111
III.2.2.3 - LA DESTRUCTION D'UNE REGLE	113
III.2.2.4 - L'AJOUT DE LA COHERENCE	113

III.2.2.5 - L'EDITION D'UN FICHER DE LA BASE	113
III.2.2.6 - LA VISUALISATION/MISE A JOUR DES PROCEDURES	113
III.2.3 - CONCLUSION SUR L'INTERFACE EXPERT	116
III.3 - CONCEPTS ERGONOMIQUES AYANT GUIDE LA CONCEPTION DES INTERFACES	116
III.3.1 - LES CONCEPTS "DYNAMIQUES"	116
III.3.2 - LES CONCEPTS "STATIQUES"	118
IV - CONCLUSION	119
CHAPITRE IV : <u>ELABORATION ET VALIDATION DES BASES DE CONNAISSANCE DE SYNOP</u>	
INTRODUCTION	122
I - L'EVALUATION ERGONOMIQUE DES INTERFACES EXPERT ET UTILISATEUR DE SYNOP	123
I.1 - LA METHODOLOGIE D'EVALUATION DES INTERFACES : L'EXPERIENCE DE L'ANALYSTE	123
I.2 - LES REMARQUES ET PROPOSITIONS DE L'ANALYSTE	124
I.3 - CONCLUSION SUR L'EVALUATION DES INTERFACES	126
II - L'EXTRACTION DES CONNAISSANCES ERGONOMIQUES EN VUE DE L'ELABORATION DES BASES DE SYNOP	126
II.1 - L'IDENTIFICATION DU DOMAINE	128
II.2 - LA FORMALISATION DES CONNAISSANCES	128
II.3 - LA MISE EN OEUVRE DES CONNAISSANCES	130
II.4 - LA VALIDATION DES CONNAISSANCES	130
III - LA CONTRIBUTION DE SYNOP A L'EVALUATION STATIQUE D'UNE INTERFACE OPERATEUR/SYSTEME D'AIDE A LA DECISION	131
III.1 - LES DIFFERENTS TYPES DE VUES CONSTITUANT L'INTERFACE	132
III.2 - L'EVALUATION DES VUES PAR SYNOP	138

III.2.1 - LES REGLES CONCERNANT LE CODAGE DE L'INFORMATION	138
III.2.2 - LES REGLES D'AIDE A L'ORGANISATION ET A LA STRUCTURATION DE L'INFORMATION	139
III.2.2.1 - LE FORMAT D'ECRAN	139
III.2.2.2 - LE FORMAT DE PRESENTATION DES DONNEES	139
III.2.3 - LES REGLES VISANT A SIMPLIFIER ET ALLEGER LES VUES	140
III.2.4 - LES REGLES VISANT A FACILITER LA PERCEPTION ET L'INTERPRETATION DE L'INFORMATION	140
III.2.4.1 - LA LISIBILITE DES CARACTERES	140
III.2.4.2 - LES REGLES SPECIFIQUES AUX FONCTIONS DE TYPE COURBE	141
III.3 - CONCLUSION SUR CETTE APPLICATION INDUSTRIELLE DE SYNOP	141
IV - CONCLUSION	142
CHAPITRE V :	<u>PERSPECTIVES D'EVOLUTION DE SYNOP</u>
	<u>VERS UN OUTIL DE CONCEPTION</u>
	<u>ERGONOMIQUE INTERACTIF</u>
INTRODUCTION	145
I - DEMARCHE DE CONCEPTION ERGONOMIQUE INTERACTIVE DE VUES GRAPHIQUES	146
II - EVOLUTION DE SYNOP VERS UN OUTIL D'ASSISTANCE ERGONOMIQUE AU CONCEPTEUR	152
II.1 - PREMIERE PHASE DE DIALOGUE AVEC LE CONCEPTEUR	152
II.2 - SECONDE PHASE D'ARRANGEMENT ERGONOMIQUE DU SYNOPTIQUE	154
II.2.1 - NIVEAU DE METACONNAISSANCE PERMETTANT LE CHOIX DES MODES DE REPRESENTATION	154

Sommaire

II.2.2 - NIVEAU DE CONNAISSANCE PERMETTANT L'ARRANGEMENT DES VUES SELON LES MODES DE REPRESENTATION ADOPTES	155
II.3 - TROISIEME PHASE DE CONSTITUTION DE FICHIERS GRAPHIQUES CORRESPONDANT AUX VUES CONCUES PAR SYNOP+	156
II.4 - PROBLEMES DE MISE EN OEUVRE DE L'OUTIL D'ASSISTANCE ERGONOMIQUE SYNOP+	156
III - REALISATION D'UNE PREMIERE MAQUETTE D'UN MODULE INTERACTIF DE GENERATION DE VUE DE SUPERVISION	157
III.1 - LA METHODOLOGIE DE CONCEPTION D'UNE VUE DE SUPERVISION	159
III.2 - EXEMPLES DE VUES DE SUPERVISION GENEREES PAR LE MODULE	161
III.3 - DISCUSSION SUR LES PREMIERS RESULTATS OBTENUS ET PERSPECTIVES	165
IV - CONCLUSION	166
CONCLUSION GENERALE	168
BIBLIOGRAPHIE	171
ANNEXE 1 : <u>EXEMPLES DE METAREGLES UTILISEES DANS SYNOP</u>	184
ANNEXE 2 : <u>EXEMPLES DE REGLES D'ACTION UTILISEES DANS SYNOP</u>	187

INTRODUCTION GENERALE

L'évolution technologique dans les procédés industriels se caractérise par une complexité croissante des installations, la centralisation de la conduite et de la surveillance de processus, et l'emploi de plus en plus fréquent de l'ordinateur pour contrôler cette conduite. Mais, l'homme reste indispensable pour intervenir en cas d'incident, surveiller le processus, et jouer de ce fait un rôle déterminant dans la fiabilité.

De nombreux problèmes ergonomiques se posent lors de la conception des vues graphiques de contrôle et de surveillance proposées à l'opérateur. En effet, les informations affichées doivent dépendre des besoins informationnels de l'opérateur dans les différents contextes du procédé. Ces contextes peuvent par exemple être relatifs à la conduite de processus, à la surveillance et la détection de dysfonctionnements, au diagnostic et à des procédures de correction ou de reprise de défaut. De plus, les vues présentées à l'opérateur doivent être cohérentes entre elles et respecter différents concepts ergonomiques de présentation d'information à l'écran. Ces concepts concernent par exemple l'utilisation des couleurs, des contrastes, des tailles de caractères, des densités d'information, etc.

Pourtant, dans la majorité des cas, le concepteur des vues ne possède pas ou peu de notions d'ergonomie de présentation d'information graphique à l'écran. Malgré son importance, l'ergonomie, dans la démarche de conception des vues, est donc souvent négligée.

C'est ce constat qui avait motivé l'étude et le développement des structures de représentation des connaissances et des techniques d'inférence permettant la réalisation d'un outil système expert, appelé SYNOP, pour l'aide à la création d'images de surveillance /GRZESIAK, 1987/.

Ce présent mémoire est consacré au développement de ce système expert, bâti autour du moteur d'inférence conçu par GRZESIAK, à la constitution des bases de connaissances ergonomiques et leur validation sur des exemples industriels. Ces travaux ont été réalisés au Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine, en collaboration avec RENAULT, dans le cadre des recherches menées au sein de l'équipe INFORMATIQUE INDUSTRIELLE et COMMUNICATION HOMME-MACHINE.

Ces travaux sont présentés au travers des cinq chapitres suivants :

Le premier chapitre décrit l'évolution des supports d'information, dans les salles de contrôle des procédés industriels automatisés, vers une tendance actuelle de présentation de l'information sur écran graphique de visualisation. Puis, il présente des méthodes traditionnelles de synthétisation graphique de l'information ainsi que les réactions des opérateurs face aux vues de l'interface graphique homme-machine. Enfin, il propose une démarche de conception d'images graphiques permettant de résoudre certains problèmes ergonomiques liés à l'interface graphique homme-machine.

Le second chapitre étudie les limites cognitives de l'opérateur humain en salle de contrôle de procédé industriel, ainsi que sa démarche de résolution d'un problème. En conséquence, il décrit des concepts et de règles ergonomiques utilisés pour l'évaluation et l'aménagement ergonomiques des vues graphiques proposées aux opérateurs.

Dans le troisième chapitre, le système expert SYNOP, pour l'aide à l'évaluation et à l'amélioration de synoptiques industriels, est présenté. Celui-ci intègre dans ses bases de connaissance des règles ergonomiques de présentation d'information. Ce chapitre détaille le module d'évaluation de SYNOP, ainsi que ses interfaces expert et utilisateur.

Le quatrième chapitre est consacré à l'élaboration et la validation des bases de connaissances ergonomiques de SYNOP. Dans ce but, ce chapitre présente la contribution du système expert à la conception d'une interface graphique dans un contexte industriel.

Enfin, le dernier chapitre est consacré aux perspectives d'évolution de SYNOP.

CHAPITRE I :

PROBLEMES ERGONOMIQUES LIES A L'INTERFACE GRAPHIQUE HOMME- MACHINE DANS LES PROCEDES INDUSTRIELS

INTRODUCTION

Depuis les dernières décennies, l'évolution rapide des technologies industrielles, le degré de complexité de certains matériels, le développement de l'automatisation et l'introduction de l'informatique dans tous les domaines ont provoqué des changements importants dans le contenu et les méthodes du travail humain. D'après SPERANDIO /1988/, la place de l'homme dans le système, son rôle, les qualifications professionnelles exigées et son degré d'autonomie s'en trouvent modifiés de façon majeure.

En contrôle de procédés industriels automatisés, les nouvelles activités essentiellement mentales confiées aux opérateurs reflètent parfaitement cette tendance. Ces activités sont le plus souvent effectuées à partir d'une interface graphique, synthétisant l'état du procédé et aidant l'opérateur dans ses différentes tâches, et constituée d'images graphiques centralisées sur un ou plusieurs écrans de visualisation. La manière de présenter et d'organiser l'information graphique joue donc un rôle prépondérant dans l'efficacité et la fiabilité de l'opérateur humain.

Une synthèse bibliographique des problèmes liés à l'interface graphique homme-machine est présentée dans ce chapitre composé de quatre parties :

La première partie concerne l'évolution des supports d'information, dans les salles de contrôle des procédés industriels automatisés vers une tendance actuelle de présentation d'information sur écran graphique de visualisation.

La seconde partie expose le principe de décomposition des vues proposées aux opérateurs de conduite. Elle est illustrée par une présentation générale de méthodes traditionnelles d'affichage permettant la synthétisation des informations graphiques.

Une étude des différentes réactions de l'opérateur humain face aux vues graphiques fait l'objet de la troisième partie. Les différents cas d'adoption, de rejet et d'absence constatée d'un sous-ensemble de vues y sont commentés.

Enfin, la dernière partie propose une démarche de conception d'images graphiques prenant en compte les facteurs humains, afin de résoudre certains problèmes ergonomiques liés à l'interface graphique homme-machine dans les procédés industriels automatisés.

I - L'EVOLUTION DES SUPPORTS D'INFORMATION DANS LES SALLES DE CONTROLE DES PROCEDES INDUSTRIELS AUTOMATISES

La tendance actuelle, dans les salles de contrôle des procédés automatisés, est la présentation de l'information sur écran graphique de visualisation. Cette tendance fait suite à une évolution technologique marquée par trois phases principales : dans la première phase, les opérateurs effectuaient un parcours de l'installation afin d'exercer la surveillance et la conduite directement sur le terrain ; la seconde phase a vu une centralisation en salle de contrôle des informations de surveillance sur des panneaux muraux, et actuellement ces panneaux sont remplacés par des écrans graphiques permettant de synthétiser et de filtrer les informations. La description ci-dessous de ces trois phases synthétise les études de /DANS, 1979 ; DE KEYSER, 1980 ; VITTET, 1981 ; DE KEYSER, DECORTIS, HOUSIAUX, VAN DAELE, 1987/.

I.1 - LE PARCOURS DES INSTALLATIONS

Lors de cette première phase, le contrôle de procédé se faisait directement sur le terrain. Ainsi, la tâche essentielle des opérateurs consistait à parcourir les différentes unités et à contrôler au passage le fonctionnement d'appareils mécaniques en quantité limitée.

Pour effectuer un diagnostic de dysfonctionnement, l'opérateur disposait d'indicateurs du type manomètre par exemple. Cependant, il se basait également sur une série d'indices ou signaux informels, tels que la couleur d'une barre d'acier pour en évaluer la température, le bruit d'une machine indiquant un bon ou un mauvais fonctionnement, ou la fumée se dégageant d'un outil proche de la rupture.

L'expérience sur le terrain était alors indispensable à l'exercice de la tâche de contrôle.

I.2 - LES PANNEAUX SYNOPTIQUES

Vers les années 60, l'évolution technologique permit l'installation, dans des salles de contrôle, de panneaux synoptiques, ainsi que d'équipements de mesure et de commande à distance. Cette installation avait pour but la centralisation des informations et la prise en compte simultanée des paramètres du processus. Ainsi, des centaines, voire des milliers de variables furent proposées aux opérateurs de contrôle, par exemple sous la forme d'enregistreurs, d'indicateurs ou de cadrans. Ce flux d'information était dû au souci des concepteurs des salles de contrôle de présenter de manière quasi exhaustive les paramètres du processus afin de permettre à l'opérateur de détecter toute variation de ceux-ci.

De nombreux problèmes ergonomiques, liés aux dispositifs de signalisation, furent soulevés. Ces problèmes concernaient par exemple les types de cadrans à utiliser, les alarmes /DE KEYSER, 1980 ; DRANSART, 1983 ; DANIELLOU, 1986/, les graduations ou le codage coloré, mais également la structuration et la hiérarchisation de la présentation des informations sur les panneaux synoptiques et les pupitres de commande.

Les panneaux synoptiques présentaient l'avantage non négligeable de fournir aux opérateurs une vue d'ensemble des installations. Cependant, encombrants, difficiles à modifier, ces panneaux synoptiques sont progressivement remplacés par des écrans de visualisation.

I.3 - LES ECRANS DE VISUALISATION

A la fin des années 70, le développement des techniques basées sur les microprocesseurs a permis, en effet, l'automatisation poussée des procédés industriels et l'informatisation des salles de contrôle. Ce développement débouche sur une implantation croissante d'écrans de visualisation, alphanumériques ou graphiques.

Le procédé d'affichage le plus fréquemment utilisé est le tube cathodique, dont les aspects techniques ont souvent été analysés dans la littérature /WOODSON, CONOVER, 1978 ; CAKIR, HART, STEWART, 1980 ; DE KEYSER, 1980 ; GRIMM, 1984 cité dans JOHANNSEN, RIJNDORP, TAMURA, 1985/. D'autres types d'écran font leur apparition dans les salles de contrôle : les écrans à plasma et à cristaux liquides, appelés aussi écrans plats, décrits par FOLEY, VAN DAM /1982/, ZUCKERMAN /1984/ ou GRAF /1984/.

Ces écrans sont souvent associés à des imprimantes et des dispositifs d'entrée de données. Parmi ces dispositifs peuvent être cités : le clavier, le levier de commande, la souris, la boule roulante ou la tablette graphique. Ces dispositifs ont été étudiés et comparés par de nombreux auteurs tels CAKIR, HART, STEWART /1980/ et JANET /1982/. De plus, il convient de souligner qu'un réseau conversationnel via des téléphones, des interphones ou des contacts directs, relie généralement les différents opérateurs de l'équipe. D'après VAN DAELE /1988a/, ces différents supports permettent de nombreuses interactions dans l'utilisation de l'information. Ainsi, dans de nombreuses installations encore, les opérateurs sont en relation avec des rondiers chargés de recueillir des informations complémentaires aux informations instrumentées directement sur le procédé.

D'un point de vue ergonomique, il convient de noter que l'implantation de ce nouveau support d'information passe par des règles d'utilisation, résumées en détail dans /CAKIR, HART, STEWART, 1980/, visant en particulier à diminuer certains troubles d'ordres visuel, postural ou physiologique décrits par de nombreux auteurs tels MEYER, GRAMONI, KOROL, REY /1979/, MAYER, BARLIER /1981/, GRANDJEAN /1983/ ou CAZAMIAN /1987/.

D'un point de vue informationnel, les avantages des écrans de visualisation sont nombreux. L'utilisation d'écrans permet en effet une grande flexibilité du mode d'information, par la possibilité d'afficher des courbes, des graphiques, des caractères alphanumériques, etc. Les paramètres du procédé peuvent être facilement structurés, rassemblés par blocs, zones ou figures. De plus, chaque variable peut être prétraitée ou mémorisée dans le but d'afficher sa tendance par exemple.

Toutes ces caractéristiques techniques ou ergonomiques liées à l'utilisation des écrans de visualisation entraînent une modification du rôle et des activités de l'opérateur humain dans les salles de contrôle des procédés industriels automatisés. Ce point est plus particulièrement développé ci-dessous.

I.4 - CONSEQUENCE VIS-A-VIS DU ROLE ET DES ACTIVITES

DE L'OPERATEUR DANS LES SALLES DE CONTROLE

Suite à l'évolution technologique des procédés industriels, l'opérateur est de moins en moins impliqué dans des tâches de contrôle manuel. Par contre, il doit de plus en plus réaliser des tâches mentales complexes de résolution de problèmes /RASMUSSEN, 1980/. Exigeant un haut niveau de connaissance sur le procédé, ces tâches ont été regroupées par ROUSE /1983/ en quatre grandes classes :

- La première classe comprend les tâches de transition. Celles-ci correspondent aux changements de régime du procédé (arrêt, démarrage, changement de points de fonctionnement). Les vues proposées à l'opérateur doivent alors lui permettre d'effectuer des procédures pré-établies, de juger de leur bonne répercussion sur le procédé et de surveiller constamment la bonne évolution de celui-ci.
- La seconde classe est relative aux tâches de contrôle et de suivi de l'installation : l'opérateur doit pouvoir surveiller l'état du procédé, de façon à détecter et à anticiper l'apparition d'un évènement anormal, et optimiser, par des réglages fins, la production.
- La troisième classe intègre les tâches de détection de défaut et de diagnostic. Par l'apparition d'alarmes ou/et la possibilité d'observer une évolution anormale de certaines variables du procédé, l'opérateur doit pouvoir détecter les défauts et effectuer son diagnostic en conséquence. Il est alors nécessaire à l'interface de permettre une mise en évidence aisée des relations cause/effet entre les variables du procédé.
- Enfin, la dernière classe se compose de tâches de compensation ou de correction. Afin de rétablir le fonctionnement normal du procédé, l'interface doit aider l'opérateur à décider des actions à accomplir et à visualiser leurs effets sur le procédé.

Ainsi, il apparaît clairement que l'opérateur de contrôle de procédés industriels s'éloigne de ceux-ci pour se voir confier un rôle de superviseur.

Il a alors à sa disposition des outils informatiques lui présentant graphiquement les informations dont il a besoin pour effectuer ses différentes tâches. Le paragraphe suivant introduit donc la notion de présentation de l'information sur écran graphique.

II - LA PRESENTATION DE L'INFORMATION

SUR ECRAN GRAPHIQUE

Ce paragraphe est constitué de deux parties. La première partie explique le principe de constitution d'une vue graphique et la seconde partie présente les principales méthodes d'affichage proposées aux opérateurs dans les salles de contrôle.

II.1 - LE PRINCIPE DE CONSTITUTION DES VUES

L'interface graphique homme-machine comprend un ou plusieurs écrans de visualisation. Elle est constituée d'ensembles de vues, appelés également "synoptiques". Une vue, ou image, est composée de deux parties distinctes :

- la partie statique, ou fond de plan,
- la partie dynamique, ou partie animée.

II.1.1 - LA PARTIE STATIQUE

La partie statique d'une vue est constituée d'informations non modifiables, restant en permanence à l'écran. Son but est d'aider l'opérateur dans ses tâches de détection, identification, interprétation, mémorisation et utilisation des informations constituant la vue considérée. La partie statique peut donc être assimilée à une mémoire externe, ou annexe, de l'opérateur.

Afin d'illustrer ce principe, le tableau de la figure I-1 présente une classification des informations statiques, inspirée d'une étude de LEPLAT /1972/,

que nous avons adaptée à la démarche de création de la partie statique d'une vue graphique. La colonne la plus à gauche représente le but de la présentation de l'information statique selon LEPLAT. La deuxième colonne fournit des exemples de moyens de réalisation de ce but. La troisième tente de concrétiser ces moyens en termes d'objets graphiques. Enfin, la quatrième colonne donne des exemples d'affichages réalisant le but fixé.

La classification de LEPLAT prend en compte tout type d'information statique disponible en salle de contrôle, et relative aux panneaux synoptiques, pupitres de commande, manuels d'utilisation, abaqués, etc. Il apparaît, dans le tableau de la figure I-1, que l'ordinateur et l'écran graphique peuvent répondre, par leurs capacités de traitement, de mémorisation et d'affichage, à la plupart des besoins informationnels statiques moyennant, bien entendu, un aménagement clair et structuré de cette information graphique.

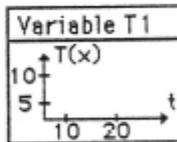
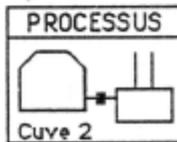
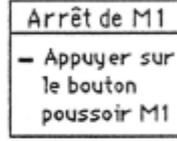
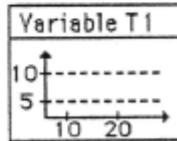
But selon LEPLAT	Exemples de moyens techniques utilisables	Moyens graphiques utilisables associés	Exemple de résultat graphique		
Structurer l'information	Diviser l'écran en zones, associer un titre à chaque zone	rectangles, vecteurs texte	 <p>ATELIER</p> <table border="1"> <tr> <td>Salle 1</td> <td>Salle 2</td> </tr> </table>	Salle 1	Salle 2
Salle 1	Salle 2				
Rappeler la signification de l'information présentée	Donner le nom de la variable, son unité, lui associer des graduations, des axes, un sens d'orientation ...	texte, vecteurs, zones colorées	 <p>Variable T1</p> <p>T(x)</p> <p>10 5</p> <p>10 20</p> <p>t</p>		
Donner des caractéristiques permanentes de champs de travail, ex : installations	Dessiner de façon schématisée l'installation, de manière à permettre à l'O.H. de reconstituer une image mentale de celle-ci	vecteurs, rectangles zones colorées, texte, arcs de cercle	 <p>PROCESSUS</p> <p>Cuve 2</p>		
Expliquer le fonctionnement d'un système: manuel, schéma, modes d'emploi	Fournir des pages d'infos alphanumériques accompagnées de schémas expliquant le fonctionnement du système	vecteurs, rectangles, zones colorées, texte arcs de cercle	 <p>Arrêt de M1</p> <p>- Appuyer sur le bouton poussoir M1</p>		
Aider à l'accomplissement d'opérations : tables, abaques, graphiques ...	Prévoir un pré-traitement de l'information directement par programme, avant affichage, afin d'éviter à l'opérateur des calculs ou des correspondances entre unités	inutile	inutile		
Documenter sur un pgm d'exécution : consignes, organigrammes	Présenter des seuils, d'alarmes ou de pré-alarmes, à ne pas dépasser	vecteurs, texte, zones colorées	 <p>Variable T1</p> <p>10 5</p> <p>10 20</p>		

Figure I-1 : classification des informations statiques adaptée selon LEPLAT /1972/

II.1.2 - LA PARTIE DYNAMIQUE

La partie dynamique d'une vue est constituée d'informations animées encore appelées, fonctions d'animation. Les informations dynamiques permettent de suivre les évolutions quantitatives et qualitatives des variables du procédé. Ainsi, elles peuvent exprimer des variations et des tendances au cours du temps.

Les logiciels de création et d'animation de synoptiques industriels, actuellement disponibles sur le marché, proposent différents types de fonctions dynamiques. Plusieurs fonctions parmi les plus classiques sont citées ci-dessous :

- le "symbole" qui représente graphiquement un composant physique du procédé, par exemple une vanne, un niveau d'eau, un robot ou un contact électrique ; ainsi, celui-ci peut apparaître et disparaître à l'écran et, selon les besoins de l'application, il peut également subir une rotation, une translation, se déplacer dans une zone prédéfinie ou changer de couleur.
- le "message" qui peut être utilisé pour avertir l'opérateur de l'apparition d'une alarme, ou pour le conseiller dans une action de correction d'une variable ; les modes d'affichage des caractères constituant un "message", et en particulier les attributs vidéo, la couleur, la taille des caractères, doivent pouvoir être modifiés suivant la gravité de la situation.
- le "bar-graph", ou "barre-graphe" qui permet la représentation de la valeur d'une variable analogique entre un seuil minimal et un seuil maximal.
- le "cadran" et "l'aiguille" qui correspondent graphiquement à un indicateur flêché et qui sont mobiles, respectivement en rotation et en translation suivant la valeur d'une variable ; comme pour le bargraph, l'indication de la valeur courante est donnée entre un seuil minimal et un seuil maximal.
- le "compteur" qui fournit la valeur numérique correspondant à la variable du processus qui lui est associée.
- la "courbe" qui permet de synthétiser l'historique d'une variable, ou l'interaction entre plusieurs variables.

Une remarque importante est que chaque information animée peut être associée à des informations statiques, rappelant son contexte d'utilisation ou/et sa signification. Par exemple, pour une fonction de type "courbe", il faut distinguer d'une part l'information graphique dynamique permettant l'affichage de points à l'écran en temps réel, et d'autre part, les informations graphiques statiques constituant son environnement telles que le nom de la variable, les axes, les graduations, les unités, etc.

Afin d'illustrer ces notions d'informations statiques et dynamiques, le paragraphe suivant expose, par des exemples de types de vues, certaines techniques utilisées pour synthétiser l'information à présenter aux opérateurs dans les salles de contrôle.

II.2 - LES METHODES TRADITIONNELLES D'AFFICHAGE

GRAPHIQUE DE L'INFORMATION

Les vues de l'interface graphique doivent apporter une aide aux opérateurs dans les différents contextes opérationnels du procédé. Dans ce but, elles utilisent plusieurs méthodes traditionnelles d'affichage, permettant une synthèse de l'information. Celles-ci peuvent être classifiées en cinq catégories :

- l'affichage analogique sans mémoire,
- l'affichage analogique avec mémoire,
- l'affichage par déformation,
- l'affichage par "modèles de fluence",
- l'affichage "synoptique".

Ces cinq catégories d'affichage sont présentées plus en détail maintenant.

II.2.1 - L'AFFICHAGE ANALOGIQUE SANS MEMOIRE

Une vue graphique, utilisant un affichage analogique sans mémoire, est constituée des fonctions graphiques "barre-graphe", "cadran", "compteur" ou "aiguille". Ce type d'affichage se limite à la présentation graphique de la valeur actuelle d'une variable.

Ainsi, un tel affichage peut être utile pour régler la mesure sur une valeur de consigne. De plus, il permet d'observer des tendances rapides, mais son utilisation pour des relevés précis demande une habitude importante /DANIELLOU, 1986/.

II.2.2 - L'AFFICHAGE ANALOGIQUE AVEC MEMOIRE

Ce type d'affichage utilise des fonctions de type "courbe" pour visualiser l'historique des variables. L'affichage analogique avec mémoire permet donc de suivre l'évolution de paramètres du processus, d'en prévoir la tendance et la vitesse de variation.

II.2.3 - L'AFFICHAGE PAR DEFORMATION

L'analyse du comportement des opérateurs montre que ceux-ci discriminent très rapidement des états anormaux du processus en se référant à des "patterns", prenant très souvent l'allure de figures se détachant sur un fond /DE KEYSER, 1980/. L'affichage par déformation semble donc adapté à la surveillance d'un ensemble restreint de variables et à la détection d'un événement anormal par comparaison à un "pattern".

Une vue synthétique regroupant un ensemble restreint de variables, souvent les plus significatives de l'état de bon fonctionnement du procédé, exploite ce résultat. Le principe de cette vue, appelée "vue étoile" a été défini par COEKIN /1968/ et utilisé dans plusieurs applications telles celles de WOODS, WISE, HANES /1981/ ou TABORIN, MILLOT /1988b/.

La figure I-2 présente un exemple de "vue étoile" comportant sept variables, en situation normale (a) et anormale (b) de fonctionnement, utilisée par TABORIN et MILLOT. La valeur de chaque variable est représentée par un point, sur le rayon, dont la position est modifiée en ligne en fonction de l'évolution temporelle de l'amplitude de la variable.

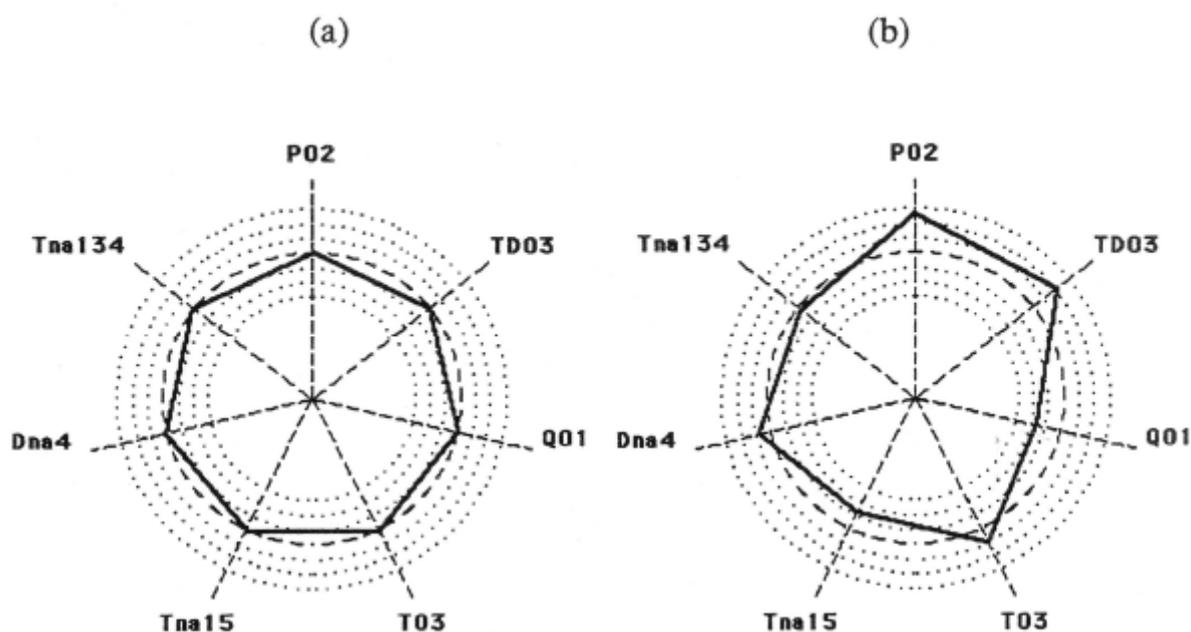


Figure I-2 : Représentation en "étoile"
 (a) en situation normale de fonctionnement
 (b) en situation anormale de fonctionnement

Des variantes de la vue "étoile" sont actuellement étudiées /BERINGER, 1987/. Plusieurs d'entre elles sont présentées d'une manière schématique, figure I-3. Chacune des 8 variables des "étoiles" (a), (b) et (c) est associée à une valeur de consigne représentée par deux traits parallèles. Ainsi, une augmentation de la valeur d'une variable entraîne une déformation de son trait intérieur correspondant, figures (a) et (c), alors qu'une diminution a pour effet une déformation du trait extérieur, figure (b). "L'étoile" (d), quant à elle, utilise un affichage de type histogramme pour indiquer une diminution ou une augmentation de la valeur de la variable. Dans ce cas de figure, trois variables sont au-dessus de la valeur de consigne qui est représentée par le côté du polygone régulier. La déviation symbolisée par l'histogramme se superpose donc au polygone.

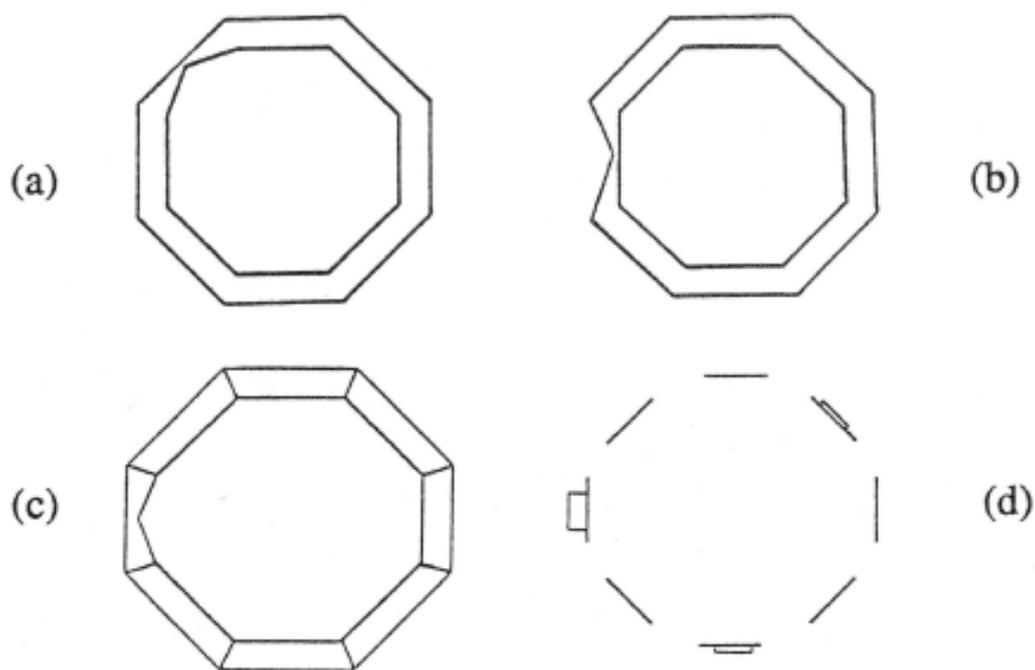


Figure I-3 : Exemples de variantes de la vue "étoile"

Une autre méthode d'affichage par déformation originale a été proposée : la méthode des visages de Chernoff. Le principe général de cette méthode est de représenter des variables d'un système par la bouche, le nez, les yeux, les sourcils, etc. On obtient alors des physionomies faciles à comparer à condition que les paramètres ne soient pas trop nombreux /DIDAY, LEMAIRE, POUGET, TESTU, 1982/. La figure I-4 présente des exemples de physionomies, tirées de /JACOB, EGETH, BEVAN, 1976/. Cette méthode a fait l'objet de plusieurs études telles /JACOB, EGETH, BEVAN, 1976 ou BROWN, 1985/. Celles-ci consistent en la comparaison de plusieurs méthodes graphiques dans des tâches d'analyses de données. La première étude a montré une supériorité sensible des visages de Chernoff sur un ensemble de formes polygonales et un ensemble de données alphanumériques. De même, la seconde étude a conclu à une efficacité supérieure des visages de Chernoff sur trois autres méthodes graphiques d'affichage.

Cependant, en contrôle de procédé, la méthode des visages de Chernoff semble posséder plusieurs inconvénients dus à son originalité et son éloignement dans la représentation physique du procédé. Elle risque donc d'être rejetée par les opérateurs.

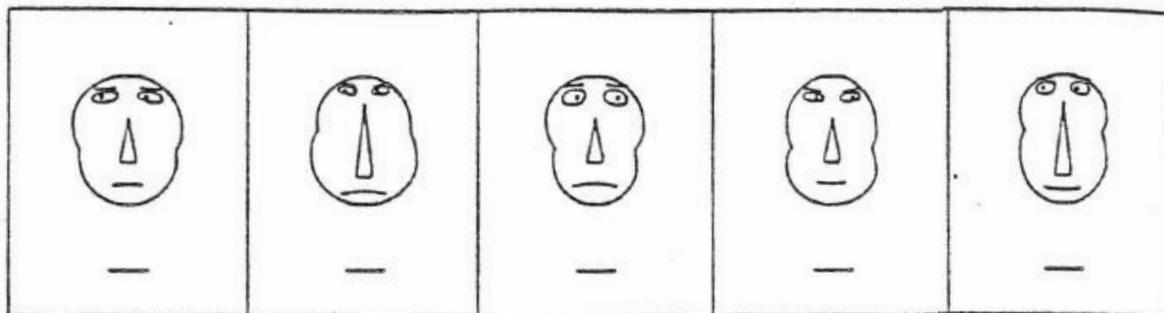


Figure I-4 : Exemples de visages de Chernoff.

II.2.4 - L’AFFICHAGE PAR MODELES DE FLUENCE

Cet affichage fait appel à des symboles fonctionnels introduits par LIND. Le symbolisme de LIND consiste à décrire un processus selon ses lois de fonctionnement en le décomposant en forme de masse et d'énergie d'une part, de transfert et de stockage d'autre part. Ce symbolisme est expliqué en détail dans /LIND, 1981/ et /LIND, 1982/. Il utilise principalement les symboles présentés en figure I-5, et divisés en deux classes. La première est relative au transfert et au stockage de masse alors que la seconde représente le transfert et le stockage de l'énergie. Ainsi il est possible par exemple de symboliser un débit de fluide ou une accumulation de matière dans un réservoir.

	Masse	Energie
Transfert		
Stockage		

Figure I-5 : Les symboles fonctionnels introduits par LIND.

Une vue graphique utilisant l'affichage par modèles de fluence est montrée en figure I-6. Cette vue est utilisée dans une démarche de comparaison d'interfaces de conduite lors d'essais en simulation incidentelle dans une centrale thermohydraulique. Elle représente un des circuits du réacteur de la centrale /SIEBERT, SICART, THEBAULT, 1988/.

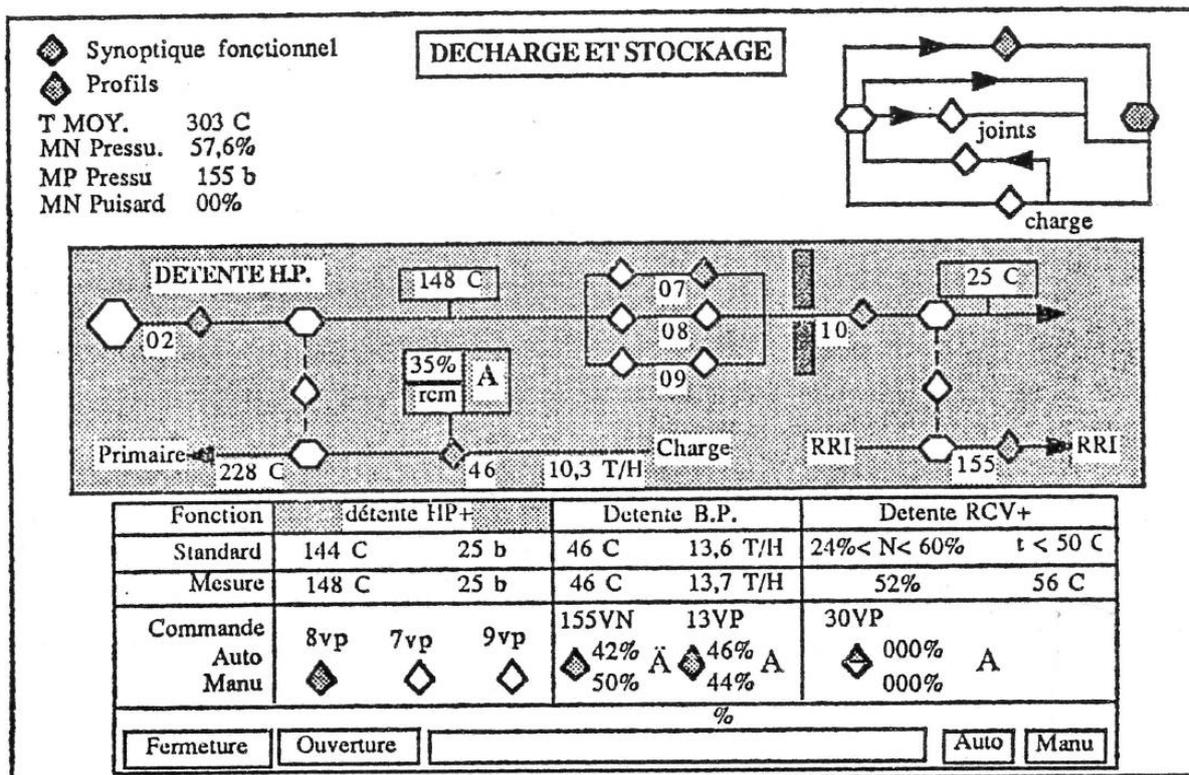


Figure I-6 : Exemple d'affichage par modèles de fluence /SIEBERT, SICART, THEBAULT, 1988/

La méthode de LIND permet une détection et une identification d'anomalies, basées sur une localisation géographique de celles-ci /DE KEYSER, 1980/. En effet, ce type d'affichage fournit à l'opérateur une représentation graphique proche du procédé physique tout en permettant de suivre les changements d'état fonctionnels du procédé.

II.2.5 - L'AFFICHAGE "SYNOPTIQUE"

Ce type d'affichage fournit à l'opérateur une représentation physique et concrète du procédé ou d'une partie de celui-ci. Un affichage "synoptique" peut, par exemple, présenter d'une manière plus ou moins réaliste les conduits de gaz d'une installation, le circuit de refroidissement d'une centrale nucléaire ou les activités d'un robot sur une chaîne de montage (cf. figures I-7 et I-8).

Les vues (a) /SIEBERT, SICART, THEBAULT, 1988/ et (b) /TABORIN, MILLOT, 1988b/ de la figure I-7 fournissent deux exemples d'affichage

"synoptique". La vue de la figure I-8) /SFERCA, 1987/ est une variante originale où l'installation a été dessinée en trois dimensions.

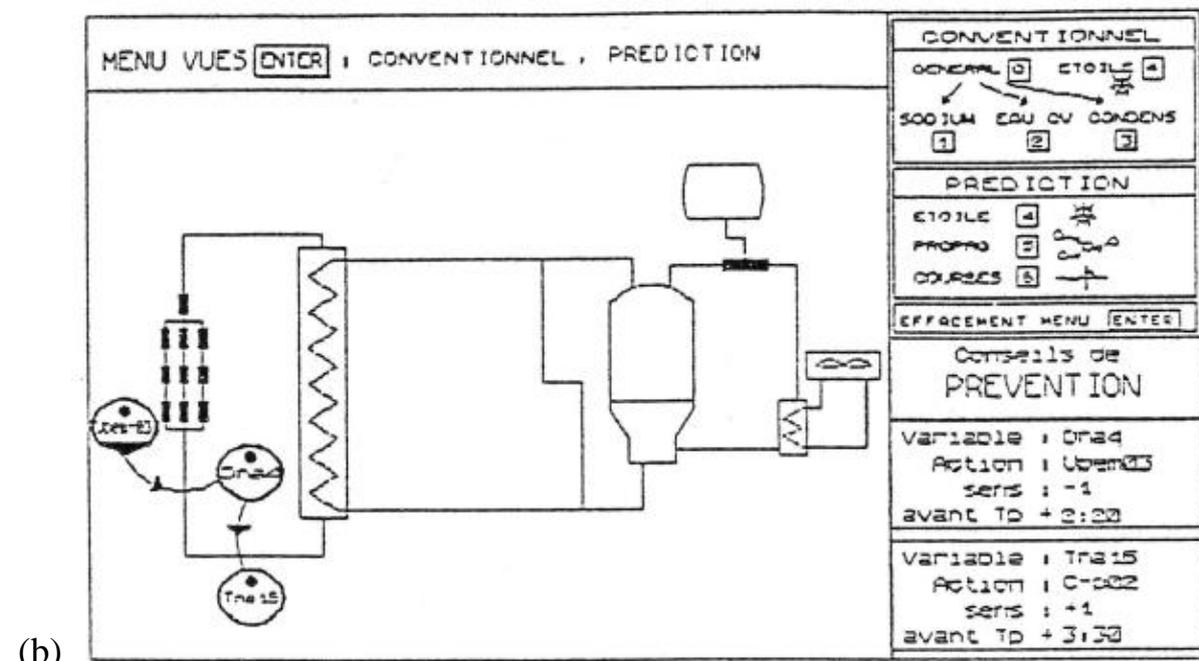
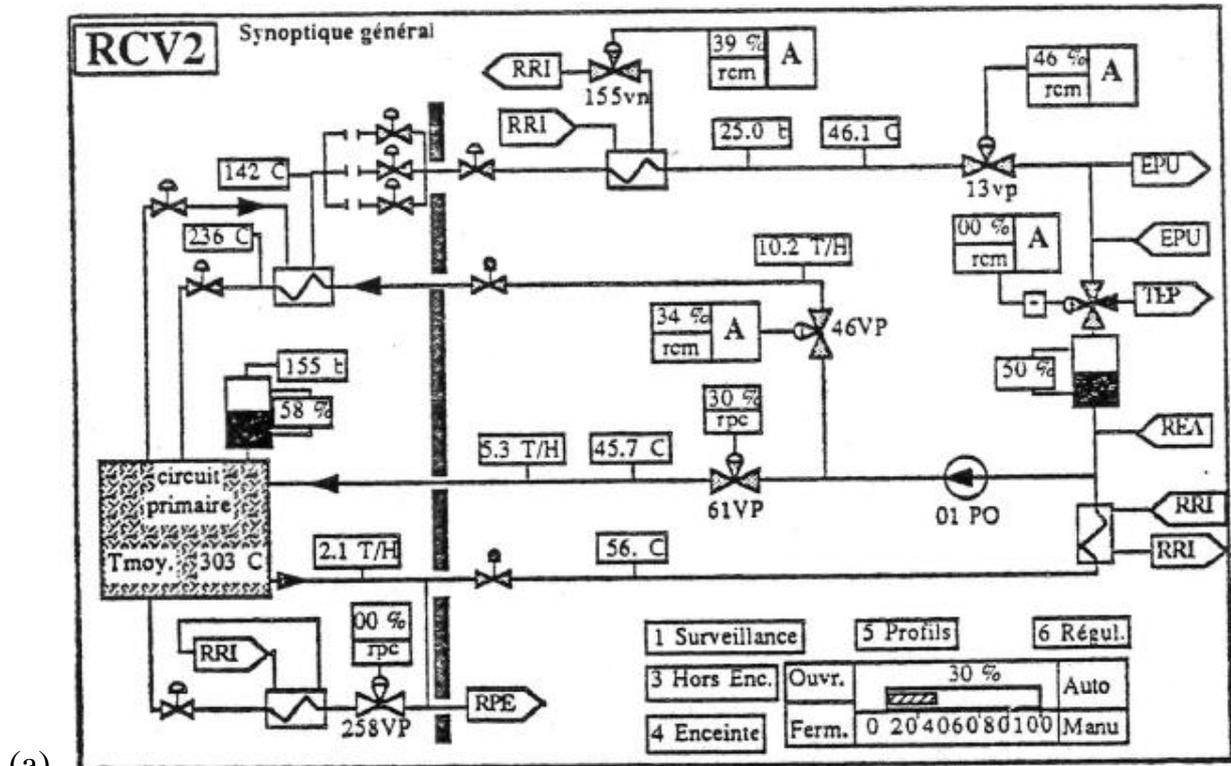


Figure I-7 : Exemples de représentation "synoptique"

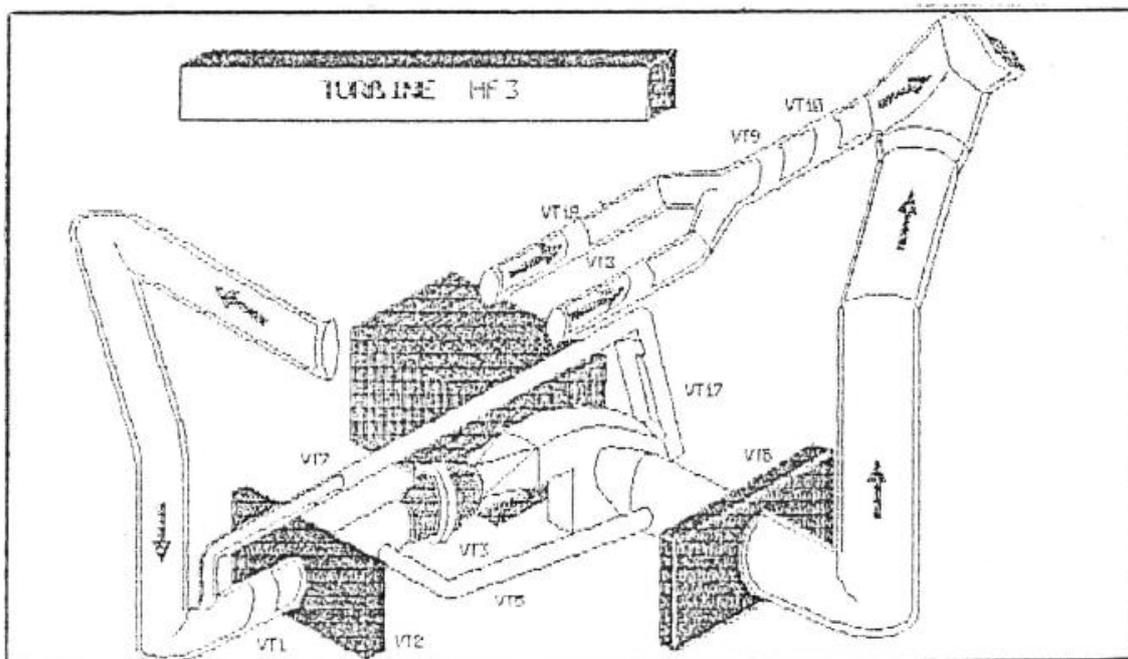


Figure I-8 : Exemple de représentation "synoptique"

Cet affichage fournit à l'opérateur une image réaliste du procédé ou d'une partie de celui-ci. De plus, il donne des informations sur les interactions entre les différentes variables.

II.2.6 - CONCLUSION SUR LES METHODES D'AFFICHAGE

SPECIFIQUES

Les méthodes traditionnelles d'affichage ont été classifiées en cinq catégories. Toutefois, il faut signaler qu'une même image peut utiliser plusieurs de ces méthodes, combinées entre elles. Un exemple combinant un affichage par modèles de fluence et un affichage analogique sans mémoire (des barre-graphes en l'occurrence) est présenté dans /CHARWAT, 1985/. De plus, il convient d'ajouter, à ces méthodes traditionnelles, d'autres méthodes spécifiques à certaines applications comme le montre l'exemple de la figure I-9 concernant l'interface graphique du système de surveillance vibratoire d'une machine tournante, dans une centrale électrique /DE RAEDT, OPDENACKER, D'ANS, 1987/. Ainsi, cette vue symbolise le mouvement d'un axe. Ce mouvement est décrit par la première harmonique d'un capteur de vibration dans le plan des capteurs représenté par une ellipse.

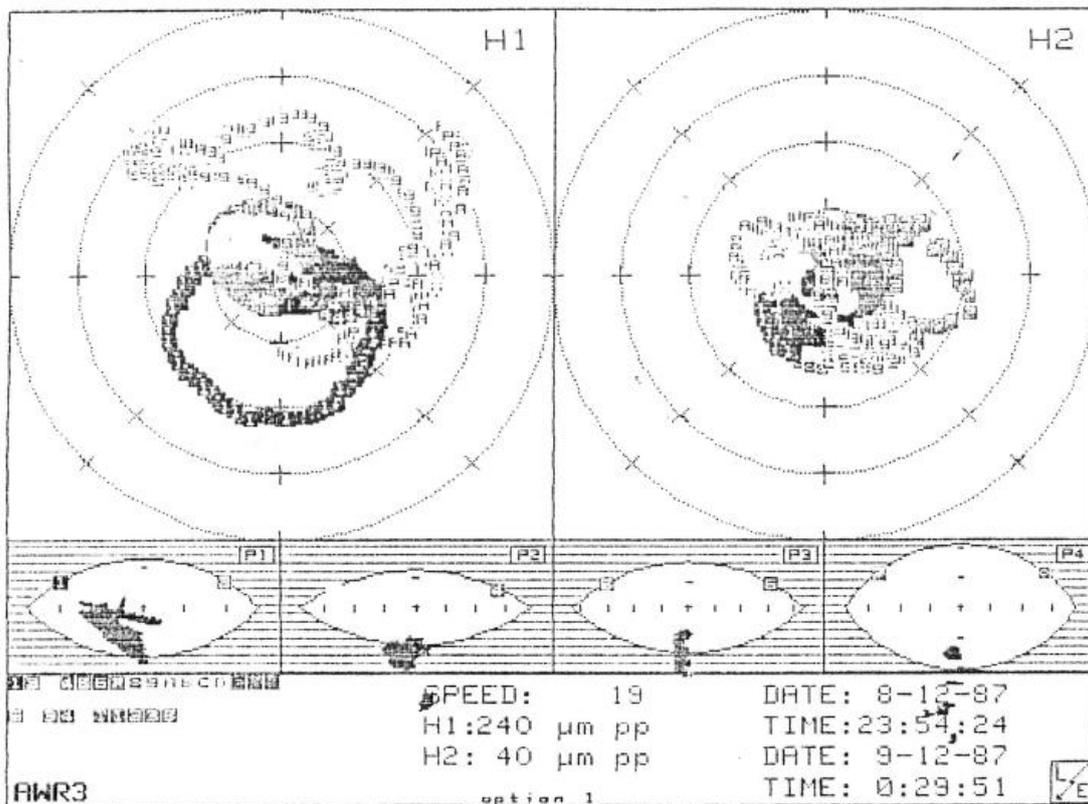


Figure I-9 : Exemple d'affichage spécifique aux besoins d'une application

Il est clair que chacune des méthodes d'affichage recensées possède ses propres caractéristiques informationnelles ou ergonomiques, les rendant plus ou moins bien adaptées aux tâches de l'opérateur dans les différents contextes opérationnels du procédé. Ainsi, une méthode d'affichage mal utilisée peut par exemple provoquer une mauvaise détection de défaut ou/et un diagnostic incorrect. En conséquence, lors de la conduite de procédés industriels, des erreurs provoquées par un support d'information mal adapté peuvent amener l'opérateur à rejeter celui-ci. Des problèmes de ce type sont considérés dans le paragraphe suivant.

III - LES REACTIONS DE L'OPERATEUR HUMAIN FACE AUX VUES DE L'INTERFACE GRAPHIQUE HOMME-MACHINE

Devant les vues graphiques qui lui sont proposées, l'opérateur peut réagir de trois façons différentes : il peut les adopter sans restriction, les rejeter globalement ou encore demander certaines modifications ou des vues complémentaires après avoir constaté l'absence de certaines informations.

Suite à ces réactions, le concepteur peut alors penser que le jugement de l'opérateur est un critère suffisant pour la validation des vues. Cependant la réalité n'est pas aussi simple, car l'opérateur peut être amené à adopter une vue pour d'autres raisons que des critères purement ergonomiques et en particulier utiliser la vue à des fins différentes des objectifs pour lesquels elle a été conçue.

De ce fait, il convient d'analyser ces trois types de réactions, et leurs conséquences. A cet effet, l'analyse s'inspire d'une étude sur les supports d'information de DE KEYSER, DECORTIS, HOUSIAUX et VAN DAELE /1987/.

III.1 - L'ADOPTION D'UN SOUS-ENSEMBLE DE VUES

Dans le cas le plus favorable, où les vues répondent parfaitement aux besoins informationnels de l'opérateur, celui-ci peut les adopter sans restriction.

Il existe cependant des cas beaucoup moins favorables où des sous-ensembles de vues sont adoptés bien que leur utilisation provoque une apparition de stress, de tension nerveuse ou de fatigue visuelle /CAKIR, HART, STEWART, 1980 ; GRANDJEAN, 1983 ; CAZAMIAN, 1987/ pouvant entraîner une augmentation de la charge de travail. La conception des vues est alors en cause et il importe souvent de reconsidérer les éléments suivants, liés à la facilité d'accès à l'information et à la lisibilité d'une vue /GRZESIAK, 1987/ :

- la charge informationnelle de l'écran,
- la répartition des informations sur l'écran,
- l'utilisation des couleurs,
- le dosage des informations alphanumériques et numériques,
- le choix des symboles,
- les méthodes d'animation de l'image,
- etc.

En effet, des écrans mal conçus peuvent entraîner des erreurs humaines provoquant une perte de fiabilité et de productivité du système homme-machine. Il existe dans la littérature de nombreuses classifications et études de l'erreur humaine, telles celles de /DE KEYSER, 1980 ; LEPLAT, 1985 ; RASMUSSEN, VICENTE, 1987/. De celles-ci peuvent être tirées quelques erreurs fréquentes provoquées par des écrans mal conçus :

- l'erreur de détection d'une information en raison par exemple d'une surcharge informationnelle de l'écran ; ainsi, des variables importantes peuvent passer inaperçues parmi un grand nombre d'informations présentes à ce moment sur l'écran ;
- l'erreur d'identification d'une information pouvant être provoquée par une mauvaise structuration de l'écran,
- l'erreur d'évaluation d'une valeur due à des échelles trop complexes ou inexistantes.

Ces erreurs peuvent se combiner entre elles pour provoquer d'autres erreurs telles qu'une erreur dans le choix de l'action à effectuer, dans le séquençage de l'action, ou l'omission d'une tâche, etc. La baisse de productivité provoquée par ces erreurs humaines rend alors nécessaire la correction des vues graphiques.

Un autre cas fréquemment rencontré est celui où l'opérateur adopte un sous-ensemble de vues tout en "détournant sa signification". Il utilise alors les vues à une fin différente de celle imaginée par le concepteur, si une information est manquante ou insuffisamment précoce /VAN DAELE, 1988a/. L'expérience que l'opérateur a du procédé d'une part, celle qu'il a des moyens informatiques mis à sa disposition d'autre part, peuvent l'aider à affiner le détournement de signification de l'information. Pour remédier à cette situation une analyse de l'activité et des performances de l'opérateur doit conduire à la correction de ce sous-ensemble de vues dans le but de l'adapter aux besoins informationnels de celui-ci.

Le dernier cas d'adoption est associé à l'apparition d'erreurs "diaboliques", provoquées par des erreurs de représentation mentale de l'installation. Ainsi, l'opérateur croit avoir une bonne représentation de l'installation et persévère dans son erreur. A ce propos, une étude explique que, d'après des analyses découlant de l'accident de Three Miles Island, une erreur de ce type fut la cause déterminante de la catastrophe /CARNINO, IDEE, LARCHIER-BOULANGER, MORLAT, 1986/. Il convient de noter que les erreurs de ce type sont souvent mises en évidence après un incident, heureusement pas toujours aussi grave que celui de Three Miles Island, et conduisent à des corrections de sous-ensembles de vues.

III.2 - LE REJET D'UN SOUS-ENSEMBLE DE VUES

En salle de contrôle, il arrive que certains supports d'information soient sous-employés ou même rejetés. Trois cas sont considérés.

Une première cause de rejet d'un sous-ensemble de vues peut être l'inutilité des vues ou la redondance de celles-ci par rapport à d'autres supports d'information. A ce sujet, dans une étude de terrain concernant une salle de contrôle de coulée continue en sidérurgie, VAN DAELE /1988b/ montre que parmi sept écrans de visualisation proposant chacun un sous-ensemble de vues, l'un d'entre eux regroupe 90,7% des prises d'information sur écran. Celui-ci répond, en effet, à la majeure partie des besoins informationnels des opérateurs qui, en conséquence, délaissent les autres écrans.

Un second type de rejet d'un sous-ensemble de vues peut se produire lorsque l'opérateur a la possibilité de détourner l'information d'autres supports. Un tel cas est décrit par HOUSIAUX /1988/ : dans un centre néo-natal, les infirmières délaissent systématiquement un écran de visualisation au profit d'un tableau électronique fournissant toutes les informations utiles. Ce cas de rejet met l'accent sur une mauvaise conception des vues sur lesquelles l'information est mal présentée ou/et est insuffisante par rapport aux besoins réels des opérateurs.

Enfin, dans le dernier cas, l'opérateur rejette la vue parce qu'elle est soit mal présentée, soit inadaptée aux besoins de la tâche /NOTTE, 1986/, mais il n'a pas, comme dans le cas précédent, la possibilité de détourner l'information d'autres supports. Une telle situation est donc source d'erreurs humaines et passe nécessairement par une correction des vues.

III.3 - L'ABSENCE CONSTATEE D'UN SOUS-ENSEMBLE

DE VUES

Pour effectuer certaines de ses tâches, l'opérateur peut nécessiter des informations qui ne sont pas disponibles sur les vues de l'interface. Afin d'illustrer cette remarque, deux cas, où l'absence d'un sous-ensemble de vues est constatée par l'opérateur, sont considérés ci-dessous.

Dans le premier cas, l'absence peut être compensée par la possibilité de détourner la signification de l'information d'autres supports. Ainsi, un autre sous-ensemble de vues est adopté à des fins non prévues à l'origine par le concepteur. Ce cas a été étudié dans le paragraphe sur l'adoption d'un sous-ensemble de vues.

Dans le deuxième cas, l'absence constatée ne peut pas être compensée par des informations détournées, et l'opérateur est dans l'impossibilité d'accomplir certaines de ses tâches. La réintégration des vues absentes s'avère donc nécessaire. Cette absence résulte de lacunes dans l'évaluation des besoins informationnels de l'opérateur lors de l'analyse préalable de ses tâches.

En conséquence, l'analyse de ces différents cas met l'accent sur la nécessité d'établir une démarche ergonomique pour la conception des vues de l'interface graphique homme-machine. Ce point est abordé dans le paragraphe suivant.

IV - UNE DEMARCHE ERGONOMIQUE DE CONCEPTION DE

L'INTERFACE GRAPHIQUE HOMME-MACHINE

La démarche proposée pour la conception de l'interface graphique homme-machine est une synthèse des études de FASSOTTE /1986/ et MILLOT, WILLAEYS /1987/. Elle peut s'intégrer dans la démarche plus générale, de conception de la salle de contrôle, étudiée par VITTET /1981/, FORSTER /1984/ cité dans /DE KEYSER, 1987/ ou DANIELLOU /1986 ; 1988/.

IV.1 - PRINCIPE DE LA DEMARCHE

La démarche se décompose en sept phases principales, figure I-10.

La première phase a pour but la sélection de l'ensemble des données, nécessaires à la conduite du procédé, parmi toutes les données disponibles. Cet ensemble constitue les besoins informationnels de l'opérateur. Il résulte d'une analyse des tâches humaines suivant les différents contextes opérationnels du procédé, ou sur une analyse de l'activité future probable /DANIELLOU, 1986/ si le procédé est seulement en cours de conception.

Ainsi par exemple, dans une tâche de diagnostic d'un équipement spécifique, l'opérateur a besoin d'une information particulière qui n'est utile que pour un type de panne déterminé. Cette information est alors sélectionnée et associée à son contexte d'utilisation.

La seconde phase consiste à définir le cadre de composition des images en tenant compte des contraintes imposées par les limites logicielles et matérielles du support graphique choisi pour l'application.

Puis, la troisième phase permet d'obtenir le cahier des charges du synoptique. Le synoptique désiré est alors constitué de "squelettes d'images" déduites à partir des décompositions structurelle et fonctionnelle des besoins informationnels. Par exemple, une des vues fournit une représentation concrète d'un circuit de refroidissement, une autre vue affiche la valeur d'une température et de deux pressions.

La quatrième phase définit le mode de présentation des informations graphiques pour chacune des images du synoptique. Ainsi, les fonctions d'animation sont choisies, positionnées à l'écran, associées à un environnement statique et un codage coloré, etc. Par exemple, une fonction permettant le tracé d'une courbe est positionnée au centre de l'écran, associée à un titre, à des graduations et à des axes. De plus, la couleur du tracé est verte si la variable est en fonctionnement normal ou rouge si elle est en alarme.

La cinquième phase consiste en la création graphique des images au moyen, par exemple, d'un éditeur de vues graphiques animées.

Ensuite, une évaluation ergonomique vise à s'assurer que les vues graphiques créées répondent aux besoins de l'opérateur. Elle consiste en deux phases, l'une

"statique" et l'autre "dynamique". La phase d'évaluation "statique" des vues a pour objectif de vérifier que celles-ci respectent des règles d'ergonomie de présentation d'information à l'écran. Ces règles concernent la lisibilité des informations affichées, leur structuration sur l'écran, l'utilisation des couleurs, la cohérence entre les images, etc.

La phase d'évaluation "dynamique" est effectuée sur site ou/et en simulation. Son objectif principal est de vérifier que la structure et le contenu de chaque image répond aux besoins informationnels de l'opérateur lors de l'exécution de ses tâches et selon les différents contextes du procédé. A cet effet des méthodes d'évaluation qualitatives basées sur l'analyse des activités de l'opérateur sont généralement utilisées, et peuvent être complétées par des méthodes quantitatives d'évaluation de la performance du système homme-machine et de la charge de travail de l'opérateur /TABORIN, 1989/. Cette phase peut conduire à une restructuration des images, voire une refonte globale du synoptique.

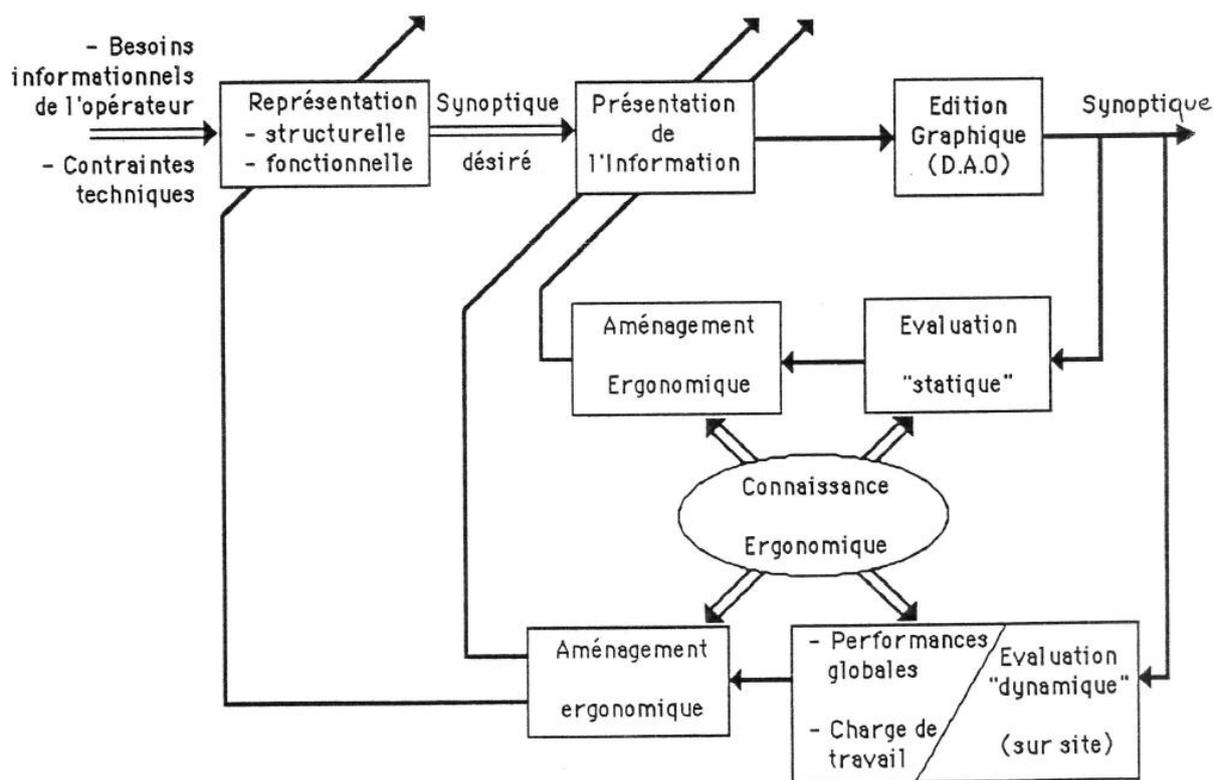


Figure I-10 : Démarche de conception de l'interface graphique homme-machine, adaptée de MILLOT, WILLAEYS /1987/

L'intérêt de cette démarche réside dans la prise en compte des facteurs humains, dans la boucle même de conception des vues, préconisée par de

nombreux auteurs tels DANIELLOU /1985/ ou DE KEYSER /1987/. Cette prise en compte est représentée particulièrement par les phases d'évaluation "statique" et "dynamique".

Mais, il convient d'ajouter que la tendance actuelle de certains concepteurs visant à préconiser les écrans comme unique support d'information doit être envisagée avec prudence. En effet, dans le système d'information utilisé par l'opérateur, une place particulière doit être réservée aux communications verbales et à leur utilité fonctionnelle /VAN DAELE, 1988a/.

Afin d'approfondir les notions d'évaluations "statique" et "dynamique", les moyens qu'elles mettent en œuvre sont détaillés successivement ci-dessous.

IV.2 - L'EVALUATION "STATIQUE" DES VUES

L'évaluation "statique" des vues de l'interface graphique homme-machine entraîne leur amélioration par le concepteur si elles ne répondent pas à des règles de présentation d'information à l'écran.

Il existe actuellement trois méthodes d'évaluation "statique" basées sur une expertise dans ce domaine.

La première méthode consiste en l'intervention d'un expert en ergonomie. Celle-ci semble actuellement sous-employée. En effet, une analyse de réalisations industrielles récentes en France /MAIRE et BRUMENT, 1988 citée dans DANIELLOU, 1988/ met en évidence que le recours à un ergonomiste ne concerne qu'une faible proportion des projets industriels analysés. Ainsi, lorsqu'un ergonomiste est consulté, c'est souvent à une étape avancée des études de détail, et principalement sur des questions touchant à l'aménagement physique de la salle de contrôle (mobilier, éclairage, etc).

Il faut souligner que son intervention peut devenir répétitive et longue lors d'une phase d'évaluation et d'amélioration d'une bibliothèque comprenant plusieurs milliers de vues graphiques.

La seconde méthode est basée sur l'utilisation de guides d'ergonomie. D'après DE KEYSER /1987/, les guides ont montré leur efficacité pour l'amélioration des conditions de travail en mettant les principes ergonomiques élémentaires à la portée du plus grand nombre. Cependant, un guide peut s'avérer insuffisant dans la

mesure où il n'inculque pas immédiatement et naturellement au lecteur des démarches ergonomiques rigoureuses de conception et d'amélioration des vues graphiques.

Enfin, la troisième méthode consiste en une approche "Intelligence Artificielle". Dans ce but, SYNOP, un système expert pour l'aide à l'évaluation "statique" d'interfaces graphiques homme-machine est en cours de validation. L'originalité de ce système consiste en l'introduction, dans ses bases de connaissances, de règles ergonomiques de présentation d'information permettant d'évaluer et de modifier automatiquement des vues graphiques.

SYNOP fait l'objet d'une description détaillée dans le troisième chapitre de ce mémoire.

IV.3 - L'EVALUATION "DYNAMIQUE" DES VUES

L'évaluation "dynamique" des vues graphiques est réalisée par une analyse de tâche sur site, ou à partir d'une simulation de tâche. Elle s'opère selon des méthodes très différentes. En effet, elle peut commencer par une présentation des images ou de leurs ébauches aux opérateurs en vue d'une première évaluation de leur rapidité d'interprétation de l'information ou de la pertinence des abréviations et des noms de variables /COCKRILL SAMBRE, 1984 ; FASSOTTE, 1986/. Elle est susceptible de déboucher sur une correction des vues.

Puis, l'analyse peut également s'effectuer en temps réel sur le site. L'ergonome chargé d'analyser la tâche se trouve dans la salle de contrôle, parmi les opérateurs. Il peut alors les observer, puis les questionner sur la manière dont ils utilisent les vues afin de résoudre un problème donné. L'ergonome recueille alors des "verbalisations", qualifiées de "simultanées" si elles comprennent des explications fournies en même temps que le déroulement du travail, et de "consécutives" si elles répondent à des questions complémentaires posées à la fin d'une session de travail /VALENTIN, LUCONGSANG, 1987/. Une variante de ces méthodes d'analyse consiste à dépouiller des enregistrements audiovisuels des activités des opérateurs dans les salles de contrôle. Cette méthode exige des moyens importants et est difficile à mettre en œuvre. Cependant, elle est efficace en ce qui concerne la quantité des connaissances recueillies /BOY, FALLER, SALLANTIN, 1988/.

Mais, l'analyse peut aussi s'effectuer par l'étude de données relatives à des observations instrumentées telles que des mesures sur l'environnement et le poste de travail, sur l'état physiologique (fatigue, santé), psychologique (stress, motivation) ou/et cognitif de l'opérateur, influant sur ses performances et sa charge de travail. Une observation instrumentée particulière, celle des directions du regard de l'opérateur, est particulièrement intéressante pour étudier la manière dont il scrute l'écran et localise les informations. Dans ce but, plusieurs expériences, telles celles de SPERANDIO, BOUJU /1983/ ou CHAMMAM /1987/ sont menées. Celles-ci mettent en œuvre un oculomètre relié à un ordinateur chargé de mémoriser et de traiter les données relatives au déplacement du regard de l'opérateur.

L'analyse de la tâche permet d'étudier la manière et la fréquence d'utilisation des supports d'information mis à la disposition de l'opérateur /DE KEYSER, DECORTIS, HOUSIAUX, VAN DAELE, 1987/, mais également les différences de comportement et de performance entre les opérateurs /DE KEYSER, PIETTE, 1970/, ainsi que la perception par l'opérateur de l'évolution temporelle du procédé /DORNER, 1987 ; DE KEYSER, 1988/.

Une approche complémentaire à l'analyse de tâche, basée sur "l'expérience de l'analyste", peut être citée, dans laquelle l'ergonome essaie de se mettre, temporairement, à la place de l'opérateur. Toutefois, cette technique doit être considérée avec précaution car il n'est pas concevable de demander à l'analyste de posséder une image mentale complète du procédé. Par contre, cette technique est envisageable pour des tâches faciles ou pour tester l'ergonomie d'utilisation d'une interface n'exigeant pas de connaissances spécifiques.

L'analyse de tâche peut également s'appuyer sur des données objectives enregistrées par l'ordinateur lors des différentes tâches de l'opérateur. Ces données correspondent à des commandes transmises au procédé, à des appels de vues ou des calculs d'écart par rapport à des valeurs de consigne, etc. Ces données sont exploitables ensuite pour déterminer une chronologie de l'évolution des performances globales du système homme-machine /MILLOT, TABORIN, KAMOUN, WILLAEYS, 1986/ qui peut être mise en relation avec les performances de l'opérateur notamment ses temps de réaction, ses taux de détection de défauts, et ses erreurs.

En outre, l'évaluation de la charge de travail de l'opérateur soit en différé, par des méthodes questionnaires /COOPER, HARPER, 1969 ; GERTMAN, BLACKMAN, BANKS, PETERSEN, 1982/ soit en temps réel au moyen d'un modèle observateur de l'opérateur dans les différents contextes du procédé /MILLOT, KAMOUN, 1988/, permet de compléter ces données et de mettre en évidence les types d'activités qui contribuent à une surcharge de travail et les interfaces homme-machine correspondantes.

Enfin, il faut signaler que des approches de modélisation et de simulation du comportement de l'opérateur humain sont à l'étude, depuis plusieurs années, à des fins de prédiction des performances humaines, dans une perspective d'ergonomie de conception des postes de travail /ROUSE, 1983 ; TESSIER, 1984 ; STASSEN, 1985 ; MILLOT, 1987/. Cependant, d'après MILLOT /1987/, les modèles développés restent encore spécifiques d'un type de tâche ou de procédé donné.

V - CONCLUSION

Ce chapitre a exposé les problèmes liés à l'interface graphique homme-machine dans les salles de contrôle de procédés industriels automatisés.

Après un résumé de l'évolution des supports d'information vers l'utilisation croissante d'écrans graphiques, les images actuellement proposées aux opérateurs ont été présentées. Cinq méthodes traditionnelles d'affichage ont alors été décrites : les affichages analogiques sans mémoire, avec mémoire, par déformation, par modèles de fluence et "synoptique".

L'étude des différentes réactions de l'opérateur humain, face à l'interface graphique que lui propose le concepteur, a permis ensuite de mettre en évidence plusieurs erreurs fréquentes de conception des images.

Afin d'éviter de telles erreurs, une démarche ergonomique de conception a été proposée dans la dernière partie de ce chapitre. Cette démarche est basée sur deux approches d'évaluation ergonomique de l'interface graphique, une approche "statique" visant à améliorer la présentation de l'information, et une approche "dynamique" dont l'objectif est de vérifier que la structure et le contenu de chacune des vues répond aux besoins informationnels des opérateurs dans les différents contextes opérationnels du procédé.

Le chapitre suivant propose un relevé de concepts ergonomiques, sous la forme de recommandations, susceptibles d'être utilisées lors de ces deux phases d'évaluation, "statique" et "dynamique".

CHAPITRE II :

CONCEPTS ERGONOMIQUES POUR **L'AMENAGEMENT DE L'INTERFACE** **GRAPHIQUE HOMME-MACHINE**

INTRODUCTION

Le chapitre précédent a proposé une démarche ergonomique de conception d'interface graphique homme-machine intégrant deux phases d'évaluation. La première est "dynamique" et vise à vérifier que les informations sélectionnées et décomposées en différentes images s'adaptent aux besoins des opérateurs dans les différents contextes du procédé. La seconde phase est appelée "statique" en ce sens qu'elle s'attache à améliorer la présentation de l'information sur chaque vue de l'écran.

L'évaluation de l'interface graphique a longtemps été considérée comme un art plutôt qu'une science, reposant sur des opinions ou jugements individuels subjectifs, plutôt que sur l'application systématique de connaissances. Cependant, grâce aux études entreprises depuis une vingtaine d'années sur les supports d'information, une évaluation peut désormais s'effectuer à partir de concepts et de règles ergonomiques bien établis, ayant démontré leur efficacité lors de leur mise en pratique en laboratoire et sur le terrain.

Ce chapitre effectue une synthèse bibliographique de ces connaissances ergonomiques générales, adaptées aux deux phases de l'évaluation, "statique" et "dynamique", de l'interface graphique en salle de contrôle de procédés industriels automatisés.

Cette synthèse ne prétend pas être unique. En effet, les possibilités de classification de telles connaissances sont multiples, de nombreux concepts et règles étant étroitement liés. De plus, les connaissances ergonomiques évoluent, puisque, d'après SCAPIN /1986/, chaque progrès technique fait surgir de nouveaux problèmes ergonomiques par rapport aux techniques précédentes. Par exemple, en ergonomie du logiciel, la tendance est actuellement à l'utilisation des îcones, des menus déroulants, du multi-fenêtrage, etc., et les études ergonomiques découlant de l'apparition de ces nouveaux moyens d'affichage pourront remettre en cause ou compléter certaines règles. Malgré ces contraintes, notre objectif est de recenser les connaissances générales ou particulières susceptibles d'être utilisées lors des phases d'évaluation d'une interface graphique.

Dans ce but, ce chapitre est constitué de trois parties.

La première partie étudie les limites cognitives de l'opérateur humain en salle de contrôle de procédé industriel, ainsi que sa démarche de résolution d'un problème.

La seconde partie présente des connaissances ergonomiques générales concernant l'interface graphique homme-machine, par exemple sur la pertinence de l'information ou les temps de réponse. Ces connaissances sont utilisables lors de l'aménagement "dynamique" de l'interface.

La troisième partie, quant à elle, regroupe des connaissances ergonomiques de présentation d'information à l'écran concernant par exemple les couleurs ou les caractères. Ces connaissances relèvent de l'aménagement "statique" des images graphiques proposées aux opérateurs dans les salles de contrôle de procédés automatisés.

I - LIMITES ET DEMARCHES DE L'OPERATEUR

EN SALLE DE CONTROLE

Dans chacun des contextes opérationnels du procédé, l'opérateur doit effectuer différentes tâches. Les performances de l'opérateur sont alors liées à de nombreux paramètres tels que son état cognitif, psychologique et émotionnel, et son état physiologique. De plus, l'opérateur exécutant une tâche dispose d'une certaine capacité de travail, limitée, différente suivant les individus et susceptible de varier en fonction de son état /MILLOT, 1987/. Cette notion de capacité de travail limitée correspond, dans le cas de tâches mentales, à la notion de "canal unique à capacité limitée", admise par de nombreux auteurs tels DUPAS /1973/, DE KEYSER /1980/ ou SPERANDIO /1988/ et qui suppose que les informations acquises par les capteurs humains sont centralisées dans un unique "volume" cérébral limité, appelé canal, pour y être traitées. Ainsi les informations non utiles à la tâche ou les perturbations issues de l'environnement utilisent une partie de ce canal et, donc, réduisent la capacité disponible pour la tâche.

En contrôle de procédé, pour accomplir une tâche, l'opérateur ne dispose généralement pas d'une vue directe sur le processus et sur le résultat de ses actions. Ainsi, à l'aide des outils mis à sa disposition, il doit se représenter mentalement le fonctionnement à distance du procédé et des différentes variables qui le composent. Lorsque le procédé est en fonctionnement normal, il doit surveiller des variables caractéristiques pour détecter un éventuel défaut ou un signe de dysfonctionnement. Lorsque le procédé est en fonctionnement anormal découlant d'un dysfonctionnement, l'opérateur doit identifier l'état du procédé, diagnostiquer le défaut et définir une procédure de reprise. Les moyens mis à sa disposition doivent donc l'aider à se forger un modèle de conduite du procédé, basé sur une représentation mentale de son fonctionnement et des différentes tâches à accomplir. OCHANINE /1971/ parle, à cet égard, d'image opérative ou opératoire. Ce modèle de conduite s'affine avec l'expérience qu'acquiert l'opérateur au fur et à mesure de ses différentes tâches, lui permettant ainsi d'augmenter ses performances /LEPLAT, 1985/.

L'image opérative correspond parfaitement aux trois modes de comportement, de l'opérateur effectuant une tâche, recensés par RASMUSSEN /1983/:

- le comportement "tactique" (*skill-based-behaviour*) est basé sur des actions quasi-réflexes visant à corriger l'événement perçu ;
- le comportement "basé sur les règles" (*rule-based-behaviour*) est utilisé par l'opérateur lorsqu'il se trouve face à une situation connue. Dans ce cas, il applique une procédure prédéfinie mémorisée dans sa mémoire à long terme et correspondant au modèle fonctionnel de son procédé qu'il s'est forgé par apprentissage.
- Enfin, le comportement "stratégique" (*knowledge-based-behaviour*) correspond à des situations inhabituelles qui l'obligent à mener un raisonnement sur le processus.

Ces trois modes de comportement s'intègrent dans la démarche de résolution de problème suivie par l'opérateur en salle de contrôle, illustrée par le modèle qualitatif de RASMUSSEN /1980/, désormais couramment cité en Automatique Humaine. Ce modèle comprend quatre étapes séquentielles de traitement d'information.

La première étape concerne la détection d'un événement anormal. La seconde étape a pour but l'évaluation de la situation de façon à identifier l'état du procédé. Puis, la troisième étape permet la définition d'une stratégie de correction. Enfin, la dernière étape concerne l'exécution des actions.

Ainsi, à partir de ces caractéristiques de l'opérateur humain en salle de contrôle, il est possible de tirer plusieurs concepts généraux concernant l'ergonomie de l'interface graphique mise à sa disposition.

D'abord, il est fondamental que celle-ci ne présente à l'opérateur que des informations pertinentes, nécessaires à ses tâches de conduite. De même, l'interface doit lui fournir des informations permettant de prévoir l'état du procédé afin d'intervenir plus finement et rapidement sur celui-ci. En outre, pour limiter ses erreurs, il est nécessaire que les entrées de l'opérateur soient contrôlées. De plus, dans le but de faciliter l'apprentissage des tâches, et de l'interface en général, il semble souhaitable que celle-ci prenne en compte le degré d'expérience et de connaissance de l'opérateur.

Ces concepts généraux relèvent particulièrement de l'aménagement et de l'évaluation "dynamiques" de l'interface graphique homme-machine et seront plus détaillés dans la deuxième partie de ce chapitre.

De plus, afin de ne pas réduire la capacité de travail de l'opérateur et, ainsi, de faciliter chacune de ses tâches, il importe que les informations soient clairement codées et présentées, organisées et structurées sur l'écran, facilement perceptibles et interprétables.

Ces concepts en rapport avec l'aménagement et l'évaluation "statiques" de vues graphiques seront développés dans la troisième partie de ce chapitre.

II - CONCEPTS GENERAUX ORIENTES VERS

L'AMENAGEMENT "DYNAMIQUE"

L'aménagement "dynamique" de l'interface graphique homme-machine a pour objectif de structurer l'imagerie en fonction des besoins de l'opérateur humain dans les différents contextes opérationnels du procédé.

Afin d'affiner chacune des vues, ce paragraphe propose des concepts généraux exprimés sous la forme de recommandations ergonomiques classées selon cinq thèmes principaux. Le premier thème concerne la pertinence de l'information par rapport au contexte de la tâche. Le second traite de l'information permettant de prévoir l'évolution de l'état du procédé. Le troisième thème est relatif au contrôle des entrées de l'opérateur. Puis, le quatrième exprime l'intérêt de la prise en compte par l'interface du degré d'expérience et de connaissance de l'opérateur en vue de faciliter ses tâches. Enfin, le cinquième thème étudie le problème des temps de réponse de l'interface.

II.1 - LA PERTINENCE DE L'INFORMATION

Il importe que l'interface graphique ne présente que des informations pertinentes, celles nécessaires à l'opérateur pour effectuer chacune de ses tâches. Ces informations sont sélectionnées à partir de l'analyse de tâche, étudiée dans le chapitre précédent.

Ainsi, présentée sans ambiguïté, chaque information doit alors être réellement utile, en rapport direct avec la situation réelle du point de fonctionnement. De plus, son appellation doit être conforme avec celle habituellement utilisée par les opérateurs, en veillant à éviter les erreurs de pertinence de forme, où les codes graphiques ou digitaux choisis pour traduire un contenu informationnel ne correspondent pas à l'utilisation par l'opérateur de cette information /FASSOTTE, 1986/.

En outre, selon l'hypothèse du canal unique à capacité limitée, il faut éliminer les informations excédentaires, inutiles à la conduite et provoquant une surcharge mentale de l'opérateur /WANNER, 1987/ notamment en ce qui concerne les alarmes, par exemple lorsque celles-ci ne sont pas hiérarchisées et que l'opérateur est contraint d'effectuer un effort mental pour identifier la variable dont a découlé un enchaînement d'alarmes.

Une erreur fréquente des concepteurs, en effet, est de présenter un maximum d'informations, afin d'utiliser toutes les potentialités du matériel, ou pour être sûr de n'avoir rien omis /NOTTE, 1986/.

De même, il faut souligner que la pertinence de l'information permet à l'opérateur d'assurer la maîtrise de son activité. Dans ce but, VITTET /1981/ a

proposé des recommandations pouvant s'adapter au problème de l'aménagement et de l'évaluation "dynamiques" de l'interface graphique :

- Donner à l'opérateur une perception globale de l'installation et de son fonctionnement à l'aide d'informations fiables. Celles-ci ne doivent pas nécessiter de raisonnement pour retrouver les données pertinentes.
- Fournir à l'opérateur des informations sur l'évolution de l'installation et en particulier des indications de changement d'état, telles des alarmes. L'opérateur doit alors pouvoir décider en connaissance de cause des actions appropriées.
- Fournir à l'opérateur des informations permettant le contrôle des résultats de ses actions de manière rapide, fiable et dépourvue d'ambiguïté.
- Enfin, aider l'opérateur en mettant à sa disposition des outils adaptés aux modes opératoires réellement utilisés, conçus en fonction d'objectifs précis. A ce propos, il convient de souligner que la tendance actuelle est d'assister les opérateurs par des systèmes d'aide à la décision basés sur des techniques d'intelligence artificielle /TABORIN, 1989/.

De plus, il est important de permettre à l'opérateur d'évoluer parmi les niveaux d'abstraction du procédé afin de résoudre un problème donné /GOODSTEIN, 1982/. En effet, l'opérateur appréhende le procédé à différents niveaux d'abstraction selon le problème à résoudre. En effet, au niveau le plus haut, l'opérateur raisonne sur des concepts généraux liés au but du système. Au(x) niveau(x) intermédiaire(s), il fait intervenir les processus physiques et les fonctions propres à des composantes élémentaires ou à des sous-systèmes. Enfin, au niveau le plus bas, l'opérateur considère la structure de l'installation ainsi que les liens entre les composants.

La figure II-1 donne un exemple de description hiérarchisée d'un processus principal en plusieurs sous-processus, selon trois niveaux d'arborescence.

Ainsi, l'interface graphique doit faciliter, par une arborescence et un enchaînement adéquats des vues, l'accomplissements des différentes tâches de l'opérateur.

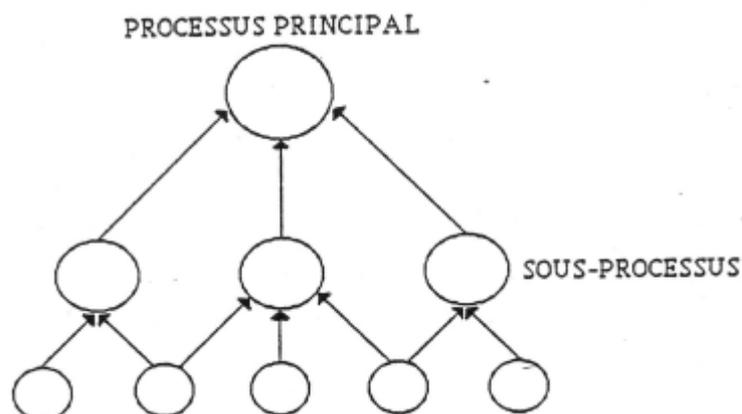


Figure II-1 : La description hiérarchisée d'un processus

Parmi les informations pertinentes fournies à l'opérateur, certaines doivent lui permettre de prévoir l'état de fonctionnement du procédé. Ce point est soulevé ci-dessous.

II.2 - LES INFORMATIONS PERMETTANT LA PREVISION

L'opérateur doit pouvoir prévoir l'évolution d'un système à contrôler à l'aide de son modèle interne de représentation. Dans ce but, il doit disposer d'informations sur l'état du système et sur le sens et l'amplitude de ses variations /WANNER, 1987/.

Les opérations de conduite reposent souvent sur de telles prévisions d'évolution du procédé et sont la conséquence d'opérations de comparaison entre prévision et observation. De plus, une étude montre l'amélioration des performances des opérateurs lorsqu'ils disposent d'un affichage prédictif même lorsque la prédiction n'est pas parfaite /VAN DER VELDT, VAN DEN BOOMGAARD, 1986/.

Il faut donc permettre à l'opérateur d'effectuer ces opérations de comparaison pour les variables les plus significatives de l'état du procédé. Un exemple d'application est la représentation sur une même vue de l'historique d'une variable et d'une courbe représentant son évolution prédite /TABORIN, MILLOT, 1988b/.

Cependant, d'après TANG et MILLOT /1988/, s'il est clair qu'une aide à la prévision peut être très prometteuse, sa mise en œuvre se heurte toutefois à

plusieurs difficultés. Celles-ci concernent principalement la modélisation du procédé, la simulation en temps réel du modèle construit et, enfin, la sélection et la présentation des informations pertinentes en fonction de l'activité de l'opérateur.

Le problème du contrôle des entrées de l'opérateur est maintenant étudié.

II.3 - LE CONTROLE DES ENTREES DE L'OPERATEUR

"Les gens font des erreurs, donc rendons le système insensible à ces erreurs". Cette suggestion de NORMAN /1983/ résume parfaitement la nécessité de limiter au maximum les erreurs d'utilisation de l'interface graphique homme-machine.

Il importe en premier lieu de simplifier au maximum les entrées. En effet, elles ne doivent pas entraîner une augmentation de la charge mentale de l'opérateur par des manipulations difficiles ou fastidieuses. Ensuite, leur vérification automatique permet de détecter certaines erreurs, de format ou de contenu. Il est par exemple possible de tester l'appartenance d'une entrée de l'opérateur à un ensemble d'entrées possibles.

Ce contrôle des entrées de l'opérateur peut ainsi être effectué à un premier niveau relatif à l'utilisation des commandes de l'interface, mais il peut également être effectué à un niveau plus élevé, concernant les actions à effectuer sur le procédé. A ce sujet, des recherches sont actuellement menées sur des interfaces "tolérantes aux erreurs humaines", intégrant des connaissances sur les tâches à effectuer par l'opérateur et avertissant celui-ci de ses erreurs /BEKA BE NGUEMA, 1988/.

Dans tous les cas, l'opérateur doit être informé de ses erreurs ou des données manquantes. D'après SCAPIN /1986/, il devrait également être autorisé à effectuer des corrections avant qu'une autre transaction ne débute. De plus, il faut s'assurer de la réversibilité de toutes les séquences d'action et permettre la récupération des erreurs /VITTET, 1981/.

Cette minimisation des erreurs de l'opérateur entraîne une augmentation de la fiabilité du système homme-machine.

II.4 - LA PRISE EN COMPTE DU DEGRE D'EXPERIENCE

ET DE CONNAISSANCE DE L'OPERATEUR

D'après SCAPIN /1986/, l'utilisation de l'interface homme-machine évolue en fonction du niveau d'expérience de l'opérateur et de sa connaissance des tâches à accomplir d'une part, et de l'interface graphique d'autre part.

Il importe donc que l'interface prenne en compte de tels paramètres en offrant des niveaux d'utilisation en fonction des niveaux d'expérience et de connaissance des tâches et de l'interface. ULICH /1986/ parle, à ce propos, de tolérance du système informatique, décrite comme la possibilité d'arriver à un résultat par des chemins différents, respectant ainsi des styles cognitifs particuliers, ou des variations de stratégies dues à des changements de l'environnement.

En ergonomie du logiciel, VALENTIN et LUCONGSANG /1987/ proposent un dialogue avec le système utilisant cinq niveaux correspondant à l'expérience de l'opérateur, ce niveau étant généralement sélectionné par l'opérateur. Ainsi au niveau de "base", l'opérateur est guidé par des exemples. Au niveau "novice", il est guidé par des menus, avec la possibilité d'utiliser un sous-ensemble des commandes les plus générales et les plus simples. Au niveau "intermédiaire", l'opérateur a accès à un langage de commande avec guidage syntaxique et sémantique. Au niveau "expert", il a la maîtrise de l'ensemble des commandes et de leurs interactions. Il a également la possibilité d'utiliser des enchainements et des macro-commandes. Enfin, au niveau "maître", l'opérateur a la connaissance des limites du système et la possibilité de créer de nouveaux objets ou de nouvelles fonctions.

La prise en compte par l'interface du niveau d'expérience et de connaissance de l'opérateur doit faciliter son apprentissage des tâches et de l'interface en général. Il peut également faciliter l'accomplissement de tâches non fréquentes par le rappel des procédures à accomplir à partir directement du support d'information.

II.5 - LES TEMPS DE REPONSE DE L'INTERFACE

D'après WANNER /1987/, le cerveau ressent en général fortement l'absence d'information et cherche à en recueillir par tous ses capteurs disponibles. En plus du contrôle des résultats de ses actions (considéré en I.1), un cas de figure soulève particulièrement ce problème du besoin de perception d'information de l'opérateur humain en salle de contrôle, celui pour lequel les temps de réponse de l'interface sont importants.

Le temps de réponse peut être considéré comme le temps qui s'écoule entre la dernière commande lancée par l'opérateur telle un appel de vue graphique, un changement de valeur d'une variable du processus ou une demande d'aide, et l'apparition de la première entité informationnelle nouvelle sur l'écran.

MILLER /1968/ défend la nécessité de temps de réponse courts en raison, en particulier, des caractéristiques de la communication interpersonnelle. En effet, une personne s'adressant à une autre personne s'attend généralement à une réponse de sa part dans un délai de 2 à 4 secondes après la fin de sa question. Un effort doit donc être fait pour garder les temps de réponse dans des limites acceptables, dans la mesure où ces temps de réponse affectent l'attitude de l'opérateur vis-à-vis du système informatique /SCAPIN, 1986/.

Dans ce but, il est important, d'abord, de toujours renseigner l'opérateur sur la chronologie des tâches à accomplir par le calculateur avant que l'opérateur ne "reprenne la main". Une technique classique est l'affichage de libellés associés à la tâche en cours et aux tâches restant à accomplir. Il est envisageable d'afficher également les libellés associés aux tâches déjà accomplies, dans la mesure où cette procédure ne provoque pas une surcharge de l'écran. Ainsi, les temps de réponse sont diminués puisque chaque tâche accomplie par le calculateur provoque l'affichage d'informations nouvelles.

Parallèlement à la technique énoncée ci-dessus, il peut être utile de considérer certains travaux en ergonomie du logiciel, visant à agrémente l'attente de l'opérateur pendant une tâche de l'ordinateur /MYERS, 1984 ; 1985/. Plusieurs solutions ont été proposées à cet effet comme par exemple, un symbole représentant une abeille (the "*busy bee*") se déplaçant aléatoirement sur l'écran ou des indicateurs animés (sablier, cadran ...) indiquant le temps qui reste avant de "reprendre la main". D'après MYERS, l'utilisation de ces différentes techniques

entraîne une augmentation du niveau de satisfaction de l'opérateur, suite à l'utilisation de l'interface.

II.6 - CONCLUSION SUR LES CONCEPTS GENERAUX

ORIENTES VERS L'AMENAGEMENT "DYNAMIQUE"

A partir des concepts généraux relevés dans la première partie de ce chapitre, des recommandations ergonomiques, devant être pris en compte lors de l'aménagement des vues graphiques, ont été exprimées. L'application de ces concepts peut ensuite être progressivement affinée grâce aux résultats fournis par les analyses de tâche ou de simulation de tâche. En effet, ces résultats permettent d'étudier dans quelle mesure l'interface graphique homme-machine aide l'opérateur dans les différents contextes du procédé. Ils fournissent ainsi des informations sur les améliorations à apporter à l'interface.

La prise en compte de ces concepts généraux contribue à augmenter les performances globales de l'opérateur et à diminuer sa charge de travail grâce à une meilleure utilisation des supports graphiques d'information.

Après avoir sélectionné et structuré sur différentes vues les informations nécessaires aux tâches de l'opérateur, la manière de présenter ces informations est fondamentale. Elle dépend de concepts généraux et de règles ergonomiques détaillés dans le paragraphe suivant.

III- CONCEPTS ERGONOMIQUES POUR L'AMENAGEMENT

"STATIQUE" DE VUES GRAPHIQUES

Ce paragraphe a pour objectif de contribuer à l'aménagement "statique" de vues graphiques. Ainsi, il consiste en l'énoncé de concepts ergonomiques illustrés d'exemples sous forme de règles concrètes de présentation d'information graphique.

Ces concepts sont partagés en quatre thèmes :

- le codage de l'information,
- l'organisation et la structuration de l'information,
- la simplification des vues,
- la perception et l'interprétation de l'information.

III.1 - LE CODAGE DE L'INFORMATION

Le codage de l'information a pour objectif de faire baisser la charge mentale de l'opérateur en lui présentant l'information selon une densité moins importante, et en l'informant sur l'importance fonctionnelle des données /DE KEYSER, 1980/. Toutefois, la définition du codage nécessite la prise en compte de problèmes d'identification et de compréhension rapides, ainsi que de mémorisation de l'information codée.

Les principales techniques de codage utilisées ont été classées selon quatre types : alphanumérique, coloré, par attribut video et, enfin, symbolique se distinguant par la forme ou la taille des symboles utilisés.

III.1.1 - LE CODAGE ALPHANUMERIQUE

Le codage alphanumérique est le codage le plus fréquemment rencontré. Il permet une capacité pratiquement illimitée de combinaisons de caractères. Quelques exemples de codages alphanumériques de noms de variables sont fournis en figure II-2.

Ces exemples, pour la plupart médiocres, mettent en évidence la difficulté de constitution d'un codage alphanumérique. Afin de réduire les risques de codage inadapté, il est nécessaire de se conformer aux stéréotypes de l'opérateur, au contexte de la tâche, à des règles du langage naturel et à la possibilité de rendre l'information facilement lisible, repérable ou apprenable.

INFORMATION	EXEMPLES DE CODAGE DE CELLE-CI
Le pourcentage de remplissage d'une cuve	V% Pourcentage-remp poure CUVE %CUVE pr PRC
La température dans un conduit	T1 47-1 1TC TDC1 celsius-1 LA-TEMPERATURE-CONDUIT_1
La commande d'impression de la liste des alarmes principales	IMPRIMER IMPR Im I LALA LISal IMPRAL Sortir-INFO lisalprinc Alarmes-SORTIE
L'unité : seconde	sec secondes ss TEMPO Secnd

Figure II-2 : Exemples possibles de codages alphanumériques d'une information

III.1.2 - LE CODAGE COLORE

Des études ont montré que les opérateurs se sentent plus en confiance en utilisant des écrans couleur et qu'ils jugent leurs tâches plus faciles /CHRIST, 1975/. Cependant, l'efficacité de la couleur et ses effets sur les performances humaines sont hautement dépendantes de la tâche à accomplir /CHRIST, CORSO, 1983/.

III.1.2.1 - L'INFLUENCE DE LA TACHE SUR

L'EFFICACITE DU CODAGE COLORE

La littérature ergonomique recommande, pour un codage, un nombre maximal de couleurs différentes variant de 4 à 10. Ce nombre dépend des caractéristiques de la tâche. Cependant, il faut noter qu'il dépend également du degré de complexité de présentation de l'information et de la densité d'affichage.

Le tableau de la figure II-3 résume les articles de synthèse bibliographique de CAIL /1986/ et de LURIA, NERI, JACOBSEN /1986/ en proposant, pour certaines caractéristiques de tâche ou d'affichage, des nombres maximaux recommandés. Ainsi, le tableau II-3-(a) propose des nombres maximaux de couleurs dépendants

de la caractéristique de la tâche alors que le tableau II-3-(b) recommande des nombres maximaux en fonction de la complexité de l'affichage.

(a)

CARACTERISTIQUE DE LA TACHE	NOMBRE MAXIMAL RECOMMANDE
Rechercher et identifier une information	8-9
Attirer l'attention	4 Couleurs standards + Autres couleurs pour utilisation éventuelle
Représenter quantitativement une information	2-3 : le nombre d'états différents doit être très faible

(b)

CARACTERISTIQUE DE L'AFFICHAGE	NOMBRE MAXIMAL RECOMMANDE
Affichage de faible densité	8-9
Affichage de densité moyenne	
- 30 items	7
- 40 à 50 items	6
Affichage très dense	5

Figure II-3 : Nombre maximal de couleurs recommandé en fonction

(a) : de la tâche

(b) : de la complexité de l'affichage.

Le nombre optimal de couleurs à utiliser dans une vue graphique est donc un compromis entre l'exigence de la tâche et les caractéristiques de l'affichage.

Cependant, les couleurs sélectionnées doivent respecter des stéréotypes de perception présentés ci-dessous.

III.1.2.2 - LES STEREOTYPES DE PERCEPTION

DES COULEURS

Il existe des stéréotypes de perception, par l'opérateur, de certaines couleurs. Ainsi, SALLIO /1983/ propose de prendre en compte pour un affichage graphique les codages colorés visibles sur la figure II-4. Ces codages entraînent des effets perçus différents, et sont valables sur de grandes plages uniformes et sur support papier /PONJAERT, LAMICHE, LAROUBINE, TETARD, 1982 cité dans SALLIO, 1983/.

COULEUR	EFFETS PERCUS
rouge	excitant, force vitale activée
bleu	calmant
jaune	stimulant
vert	stabilité
magenta	métamorphose, passage
blanc	positif
noir	négation

Figure II-4 : Les effets perçus par l'opérateur, en fonction de la couleur /PONJAERT, LAMICHE, LAROUBINE, TETARD, 1982, cité dans SALLIO, 1983/.

De même, il peut être intéressant de remarquer que ces stéréotypes relèvent d'une utilisation par des opérateurs humains de culture occidentale. D'après les théories de FISCHER /1985/, la sensibilité individuelle aux couleurs, les goûts, les valeurs symboliques constituent un langage social, dont les codes et les idéologies dépendent de l'évolution des structures sociales. Un tel codage coloré serait donc sans doute différemment perçu dans certaines autres parties du globe.

En règle générale, et pour une utilisation par des opérateurs humains de culture occidentale, les trois associations suivantes doivent être respectées :

ROUGE -> Danger, alarme

JAUNE -> Attention

VERT -> Normal, stabilité

Cependant, il peut surgir des problèmes inhérents à l'utilisation de ces codages. Un premier exemple nous est fourni dans /COCKRILL-SAMBRE, 1984/. Cette étude ergonomique montre que la signification du codage rouge/vert peut être perçue de manière différente selon le type d'opérateur. En effet, pour un opérateur chargé de la maintenance, la couleur verte symbolisant la machine sous tension est synonyme de danger, alors que pour l'opérateur de conduite, cette couleur représente souvent un fonctionnement normal.

Un deuxième exemple réside dans les différences de normalisation de présentation de l'information, suivant les entreprises. Ainsi, une vanne ouverte peut être rouge selon une normalisation et verte selon une autre normalisation.

De plus, il faut considérer des exigences perceptives visuelles liées à l'utilisation de contrastes colorés. Ce problème est étudié ci-dessous.

III.1.2.3 - LE PROBLEME DES CONTRASTES COLORES

Certains contrastes colorés sont susceptibles de provoquer une gêne visuelle chez l'opérateur. Dans la littérature, l'exemple le plus couramment cité est l'association des couleurs rouge et bleue pouvant provoquer un effet de "battement", puisque l'oeil essaie de focaliser sur les deux couleurs en même temps /LONG, 1984 cité dans CAIL, 1986/.

En ce qui concerne les combinaisons de couleurs entre un caractère ou un symbole, et le fond de plan, BRUCE et FOSTER /1982 cités dans CAIL, 1986/ suggèrent celles données en figure II-5.

COULEUR DE CARACTERE OU DE SYMBOLE	COULEUR DE FOND	
	A UTILISER	A EVITER
blanc	magenta, rouge, bleu,vert	jaune
jaune	magenta, rouge	blanc, cyan
vert	jaune,blanc	cyan,bleu
magenta	bleu,blanc,cyan,vert	rouge
rouge	blanc,jaune,cyan	magenta,bleu
bleu	blanc,cyan,vert	rouge
cyan	rouge,bleu	vert,jaune

Figure II-5 : Combinaisons de couleurs à utiliser ou à éviter

A ces suggestions, il est nécessaire d'ajouter les conclusions d'une expérience de SALLIO /1983/, ayant pour objectif de mettre en évidence des variations dans l'efficacité de l'utilisation de la couleur sur certains écrans videotextes. Pour évaluer l'effet de la lisibilité des contrastes colorés, SALLIO a étudié la mémorisation par les opérateurs des textes et des couleurs, ainsi que leur perception des informations affichées ; ainsi :

- Il faut généralement éviter les textes sur un fond noir.
- La lisibilité des contrastes colorés est très souvent liée aux contrastes sombre/clair ou clair/sombre. Des caractères clairs (blanc, jaune, vert, cyan) sur fond clair ne sont jamais très efficaces et, très souvent, des caractères sombres (magenta, rouge, bleu, noir) sur fond clair sont plus efficaces que leurs opposés clairs sur fond sombre.
- Il est nécessaire de bien identifier le contexte afin que les combinaisons des couleurs choisies renforcent le type d'information à communiquer.

Toutefois, l'utilisation du codage coloré doit être considérée avec attention puisqu'environ 8% des hommes et 0.4% des femmes ont des problèmes de perception des couleurs /VALENTIN, LUCONGSANG, 1987/. Ainsi, certaines recommandations concernant les contrastes colorés peuvent s'avérer inefficaces lorsque l'acuité visuelle de l'opérateur n'est pas parfaite.

III.1.3 - LE CODAGE PAR ATTRIBUT VIDEO

Les trois principaux codages par attribut vidéo sont les codages par intensité, inversion vidéo et clignotement. Ceux-ci ont pour objectif la mise en évidence d'informations importantes. Cependant, ils doivent être utilisés avec discernement afin de ne pas augmenter la charge mentale de l'opérateur.

Quelques recommandations peuvent être données à cet effet /CAKIR, HART, STEWART, 1980 ; Mc CORMICK, SANDERS, 1985 ; SCAPIN, 1986/ :

- L'intensité ne doit pas concerner plus de 10% de l'affichage et ne doit pas prendre plus de deux niveaux : normal et élevé.
- il ne faut utiliser l'inversion vidéo que pour les informations les plus importantes, car, en grande quantité, elle augmente le scintillement de l'écran et peut provoquer un effet d'éblouissement.
- la fréquence optimale du clignotement se situe entre 3 et 5 Hz. Le clignotement provoque un désagrément lors de la lecture et risque de fatiguer l'opérateur. Il faut donc réserver ce codage pour des informations très importantes. DANIELLOU /1986/ propose son usage exclusivement pour les messages d'alarmes non acquittées.

III.1.4 - LE CODAGE SYMBOLIQUE PAR DISTINCTION

DE FORME OU DE TAILLE

Le codage symbolique par distinction de forme est efficace pour la recherche visuelle et l'identification. Toutefois, le nombre de codes utilisables est limité. En effet, le nombre recommandé de symboles différents est de cinq au maximum /Mc CORMICK, SANDERS, 1985/.

Le tableau de la figure II-6 propose un ensemble de configurations symboliques faciles à distinguer, donnant en particulier d'excellents résultats sur écran radar /WOODSON, CONOVER, 1978/. Cependant, certaines associations, susceptibles de provoquer une confusion, sont à éviter, telles 11 et 3, 13 et 8, 12 et 5, 12 et 7.

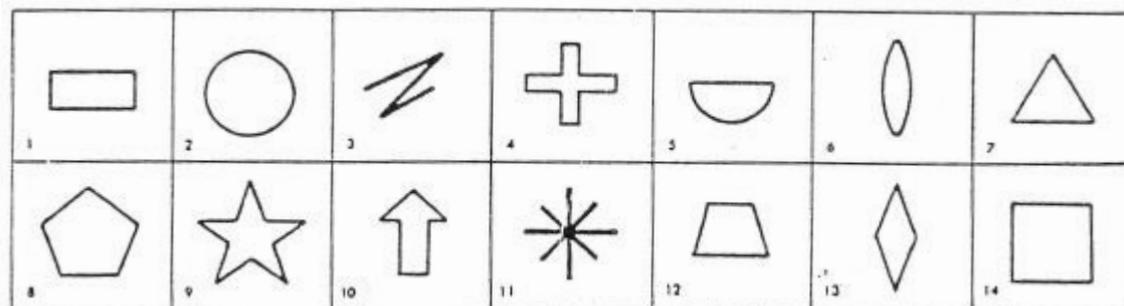


Figure II-6 : Ensemble de configurations symboliques faciles à distinguer.

Le codage symbolique par distinction de taille peut, quant à lui, être utilisé lorsqu'une information doit être affichée proportionnellement aux dimensions réelles des variables considérées. L'œil ne pouvant saisir des variations faibles, il pourra être utile de limiter à trois environ le nombre de tailles possibles, ou d'afficher la valeur réelle des dimensions représentées /CAKIR, HART, STEWART, 1980/.

III.1.5 - AUTRES TYPES DE CODAGE

D'autres types de codage peuvent être cités :

- Le codage par marquage : il est possible d'utiliser le soulignement, le coffrage, le fléchage pour attirer l'attention, mais aussi des indicateurs tels qu'un astérisque, un gros point, un tiret ou une croix par exemple /SCHNEIDERMAN, 1984/. Ce codage peut être assimilé à un codage symbolique par forme.
- Le codage par son : une variété de signaux de différentes fréquences peut coder des informations requérant une attention spéciale /SCAPIN, 1986/.
- Le codage par angle d'inclinaison : celui-ci concerne des indicateurs de direction, d'angle ou de position (ex : le cadran). Le nombre conseillé de niveaux de discrimination est de 12 d'après Mc CORMICK et SANDERS /1985/.

- Le codage par texture de trait : un exemple d'application est l'utilisation de textures de trait pour mieux différencier les seuils de consigne, d'alarme, ou/et de pré-alarme, associés à une courbe.
- Le codage par grisé ou/et remplissage (différents niveaux de gris et différents styles de hachures) : ce codage peut être un substitut de la couleur. Il est cependant moins efficace et quatre niveaux au maximum sont conseillés /VALENTIN, LUCONGSANG, 1987/.

Appliqués avec discernement, tous les codages présentés peuvent aider l'opérateur dans ses différentes tâches. Cependant, afin de faciliter leur utilisation, il est nécessaire que leur signification puisse être rappelée ou expliquée à tout moment à l'opérateur. Une solution possible à cet effet est de créer des pages d'aide ou des fenêtres explicatives, que l'opérateur peut appeler à chaque instant.

Après cette description des différents types de codage, la notion d'organisation et de structuration de l'information est présentée.

III.2 - L'ORGANISATION ET LA STRUCTURATION DE L'INFORMATION

Dans le but de favoriser l'identification, la compréhension, la mémorisation ou encore la hiérarchisation des informations, il est utile de structurer l'écran et d'organiser les données selon des formats d'affichage. En effet, d'après MITCHELL et MILLER /1983/, même des données pertinentes peuvent accroître la charge mentale de l'opérateur si elles ne sont pas présentées sous une forme utilisable.

Les notions de format d'écran et de présentation des données sont décrites ci-après.

III.2.1 - LE FORMAT D'ECRAN

Plusieurs auteurs ont mis en pratique la suggestion de MILLER /1968/ de tirer avantage des dispositions humaines à localiser l'information spatialement. Plusieurs structurations d'écran selon un format prédéfini sont proposées en figure II-7. Chacun de ces écrans est divisé en plusieurs zones distinctes, permettant d'organiser l'information spatialement. Cependant, les structurations proposées en (a), (b), (c) et (d) mettent en évidence le problème de la limitation surfacique de l'écran. La structuration de KOWAL /1986/, figure II-7-(e), utilisant le multifenêtrage, permet de résoudre en partie ce problème. Le multifenêtrage fait partie des tendances actuelles en matière de conception d'interface graphique homme-machine.

Quelle que soit la technique utilisée, la notion de format d'écran permet à l'opérateur de chercher l'information selon des automatismes de lecture /DE KEYSER, 1980/, augmentant de ce fait ses performances.

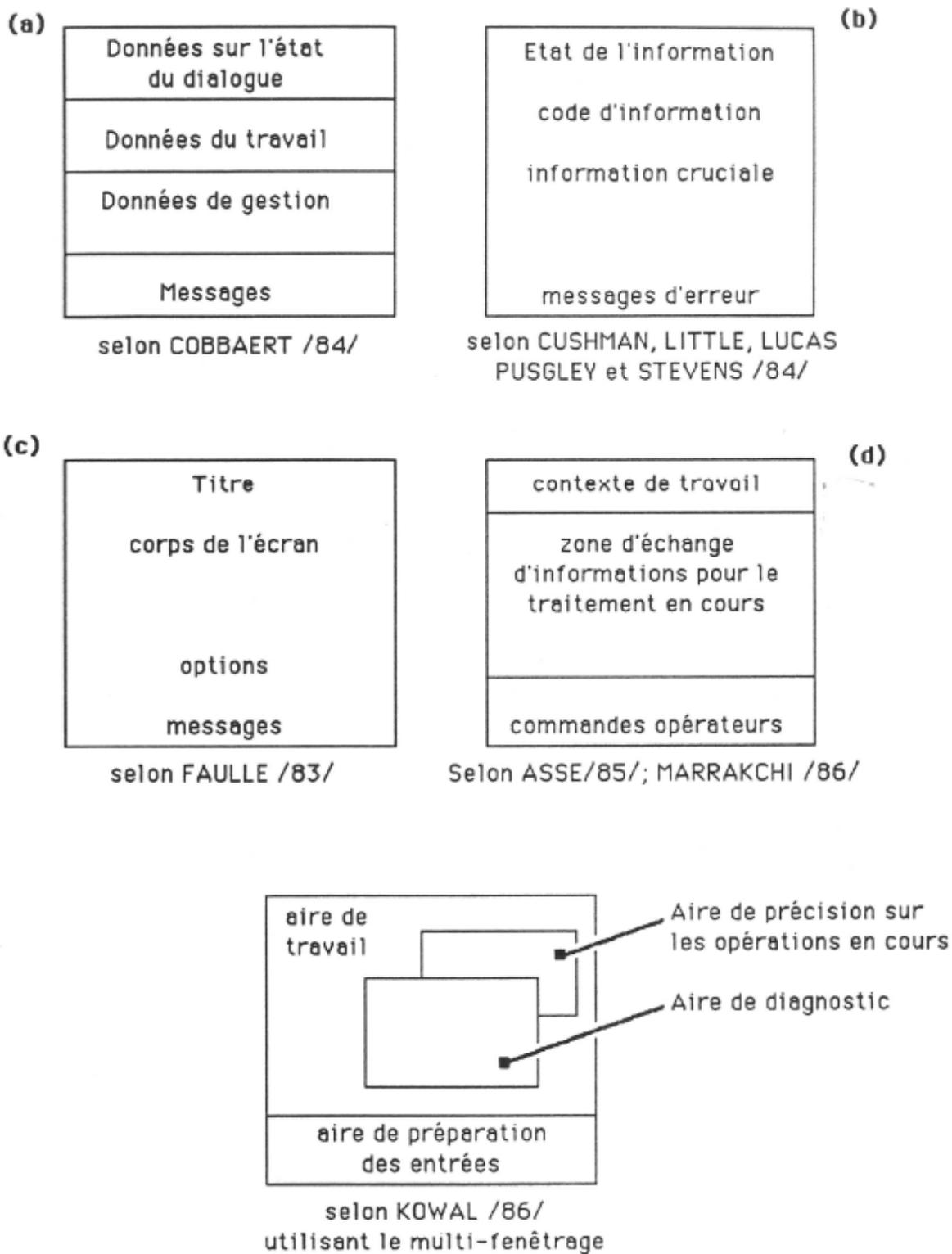


Figure II-7 : Quelques formats d'affichage parmi les plus récents.

III.2.2 - LE FORMAT DE PRESENTATION

DES DONNEES

Le format est la structure qui caractérise la présentation des informations. Facilitant la perception de l'information, il peut être aussi important que le contenu /STEWART, 1980/. Il importe donc d'organiser les données, également, selon des formats de présentation.

Plusieurs techniques très différentes, de format de présentation des données, peuvent être citées :

- La constitution de blocs de données entourés de cadres /COCKRILL-SAMBRE, 1984/ ou d'espaces, justifiés à gauche (données alphanumériques), à droite (données numériques entières) ou alignés sur le point décimal (données numériques réelles) /CAIL, 1986/.
- Le choix d'une courbe, à la place de tableaux numériques, associée à des axes, des graduations, des repères, des unités.
- L'utilisation de la couleur permettant de différencier les classes d'information et de guider l'opérateur d'une zone à une autre (voir paragraphe III.1.2.3 sur les codages colorés).
- L'association d'un titre à un ensemble de données.
- La transformation d'une donnée alphanumérique longue et compliquée en blocs de 3 ou 4 unités. Par exemple, ACGL190537 peut être transformée en ACGL-190-537.
- Le groupement des items et données en interrelation /STEWART, 1976/. A ce sujet, un exemple de bon et de mauvais format de données est proposé par STEWART, illustrant plusieurs des techniques décrites ci-dessus, figure II-8. Ainsi, sur l'écran (b), la présentation est plus aérée que sur l'écran (a), des informations sont regroupées et alignées, etc.

(a)

```

PART NUMBER FILE SUB-FILE MISC BKTS
SUPPLIER J. BLOGGS & SON, ROTHERHAM
PART 0926431X DESCRIPTION LH BRONZE STUD BRACKET
GROUP B CLASS R STATUS NOT YET ALLOCATED
SUB-ACCOUNT 92 BUDGET GROUP 2413
QUANTITY UNIT DOZENS DEPRECIATION PERIOD 15 ACTION
DATE OF ADDITION 1/12/75 ADDED BY F. BRIGGS DES 9
DATE LAST AMENDED 14/5/75 AMENDED BY PROC 11 R. SMITH
DATE OF DELETION
COMPONENTS NONE
SUB ASSEMBLIES NONE
    
```

PART NUMBER FILE:	MISCELLANEOUS BRACKETS		
PART: 0926431X	LH BRONZE STUD BRACKET		
GROUP: B	BUDGET GROUP:	2413	
CLASS: R	SUB-ACCOUNT:	92	
UNITS: DOZENS	DEPRECIATION PERIOD:	15	
ACTION ---	PRODUCT STATUS:	NOT YET ALLOCATED	
ADDITION DATE:	1 DEC 75 F. BRIGGS DES 9		
LAST AMENDED:	14 MAY 75 R. SMITH PROC 11		
DELETION DATE:	NONE		
MAIN SUPPLIER:	J. BLOGGS & SON, ROTHERHAM		

(b)

Figure II-8 : Exemples de mauvais (a) et bon (b) format de données
/STEWART, 1976/

De plus, pour les données les plus importantes, il importe de respecter une règle d'organisation spatiale présentée ci-dessous.

III.2.3 - L'ORGANISATION SPATIALE DE DONNEES

IMPORTANTES

Les données les plus importantes ou les plus fréquemment consultées doivent se trouver dans les zones les plus souvent scrutées par les opérateurs. Ces zones, figure II-9, ont été mises en évidence lors de plusieurs expériences, telles celle de SPERANDIO et BOUJU /1983/ qui ont étudié la fréquence des fixations oculaires lors de l'exploration visuelle d'un tableau numérique sur écran cathodique.

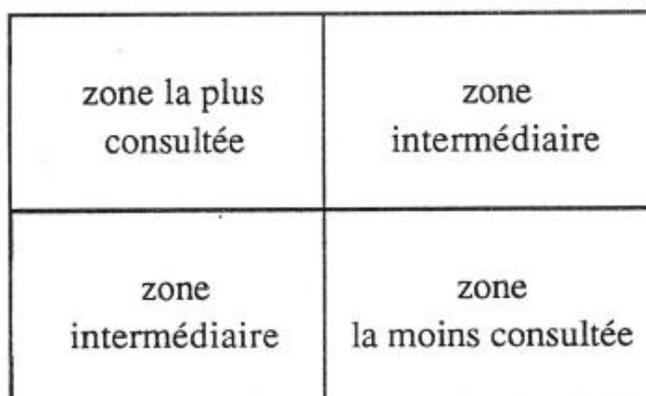


Figure II-9 : Partitionnement de l'écran selon quatre zones stratégiques

Deux stratégies découlent de ce résultat :

- Placer les données les plus importantes en haut à gauche, ou dans la partie centrale si l'écran est peu chargé /DANIELLOU, 1986/.
- Placer, en contrepartie, les données les moins importantes en bas à droite.

Cette règle d'organisation spatiale, les notions de format d'écran et de présentation des données, mettent en avant le souci d'homogénéiser et de standardiser spatialement l'information. Pour compléter, il existe d'autres règles d'homogénéité et de standardisation présentées dans le paragraphe suivant.

III.2.4 - AUTRES REGLES D'HOMOGENEITE ET DE STANDARDISATION DE L'INFORMATION

Les conventions choisies doivent être les mêmes pour toutes les vues de l'interface graphique. Une homogénéité et une standardisation dans la manière de présenter l'information permettent, en effet, d'éviter des risques de confusion, dans l'identification et l'interprétation des informations, et donc de faciliter les tâches de l'opérateur.

Ces conventions doivent respecter les stéréotypes répandus chez les opérateurs /DANIELLOU, 1986/, tout en restant conformes aux standards adoptés dans l'unité de production.

A titre d'exemple, plusieurs conventions très différentes peuvent être proposées sous forme de règles :

- Il faut utiliser une seule abréviation ou appellation, pour une même variable, dans toutes les vues graphiques.
- Il faut respecter l'orthographe des mots affichés. Une faute peut perturber l'opérateur.
- Les sens de variation des informations doivent respecter les stéréotypes directionnels habituellement utilisés dans la population /AFNOR, 1986/, figure II-10.

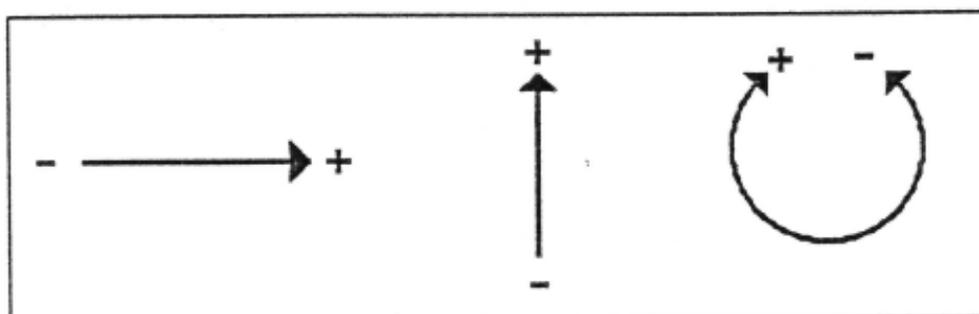


Figure II-10 : Les stéréotypes directionnels des sens de variation

- Pour des variables animées ayant la même unité et la même plage de variation, les mêmes échelles doivent être utilisées, figure II-11.

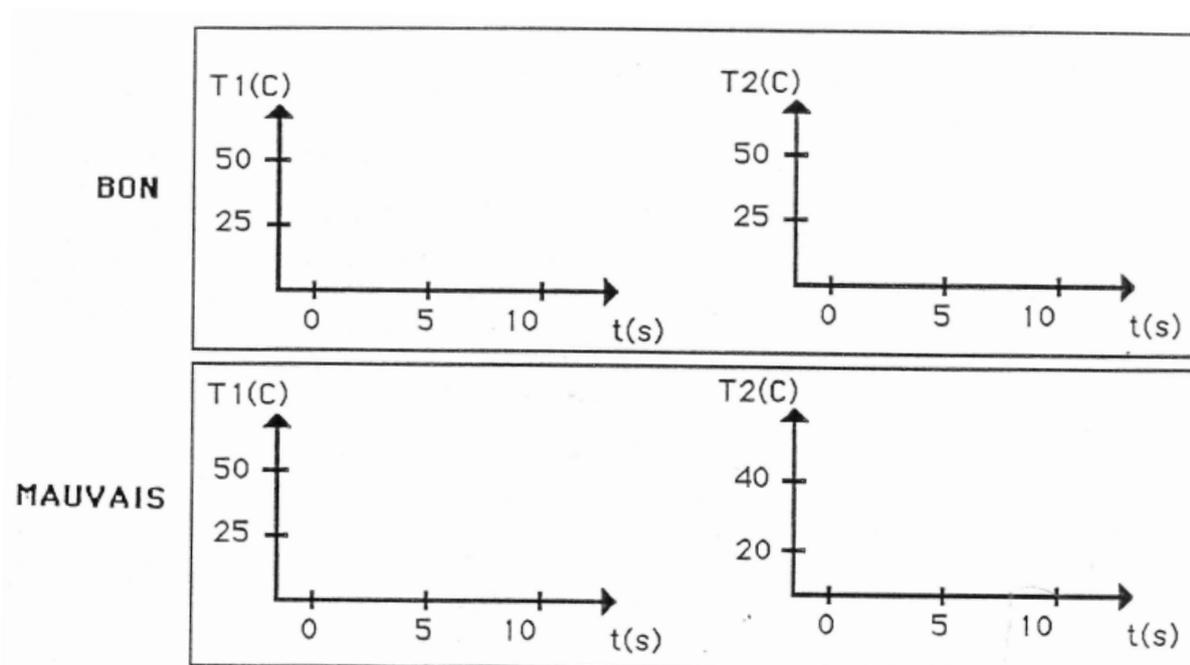


Figure II-11 : Exemples de bonne et mauvaise présentation de fonctions animées ayant la même unité et la même plage de variation

De plus, certaines recommandations relatives à l'ergonomie des commandes logicielles de l'interface, inspirées de /SCAPIN, 1986/, peuvent être citées :

- chaque commande doit être utilisée de façon homogène et standardisée d'une fonctionnalité à une autre.
- Les noms des commandes doivent souligner leur différence de fonction. Par exemple, deux commandes ne devraient pas être dénommées respectivement "AFFICHER-ALARMES" et "VOIR-ALARMES" quand l'une permet d'éditer la liste des alarmes sur imprimante et l'autre de l'éditer sur écran.
- Les valeurs associées aux commandes doivent également être standardisées. Par exemple, si 1 représente "oui" et 0 représente "non", alors cette représentation doit être maintenue tout au long des dialogues.
- Les valeurs associées aux commandes ne doivent pas être en conflit avec les conventions habituelles, comme 3 pour "oui" et 5 pour "non".

La prise en compte de ces règles d'homogénéité et de standardisation de l'information, ainsi que de celles de format d'écran et de présentation des données, est fondamentale. En effet, en plus de faciliter les tâches de l'opérateur, elle peut contribuer à un apprentissage plus rapide de l'utilisation des fonctionnalités de l'interface homme-machine, à une diminution des erreurs de l'opérateur et donc à l'augmentation de ses performances.

Des méthodes de simplification des vues sont maintenant proposées.

III.3 - LA SIMPLIFICATION ET L'ALLEGEMENT DES VUES

PAR LA DIMINUTION DE LA DENSITE D'INFORMATION

Un affichage très dense conduit à des confusions, augmente le taux d'erreur, accroît le temps nécessaire pour localiser une information sur l'écran et peut provoquer des problèmes visuels chez l'opérateur /CAIL, 1986/.

Il faut donc veiller à simplifier et alléger au maximum les vues, tout en préservant évidemment le degré de pertinence de l'information. Un compromis est, en effet, nécessaire entre la clarté des présentations de la vue et son contenu informationnel.

Il convient alors d'étudier en détail le critère d'évaluation ergonomique d'une vue que représente l'étude de sa densité d'information. Cette densité peut être partagée en deux catégories, la densité surfacique et la densité cognitive.

III.3.1 - LA DENSITE SURFACIQUE

La densité surfacique peut être définie comme la surface occupée par l'information graphique par rapport à la capacité de contenance de l'écran définie par la hauteur, en pixels, par rapport à la largeur, en pixels.

Il est alors possible de faire une première distinction entre la densité surfacique statique, la densité surfacique dynamique et la densité surfacique totale (statique + dynamique).

De plus, en adoptant la notation d'une étude de TULLIS /1983/ concernant les affichages alphanumériques monochromatiques structurés, il est possible également de distinguer la densité globale (par rapport à la surface totale de l'écran) de la densité locale (par rapport à une zone de l'écran, par exemple une fenêtre). En résumé, lors de l'évaluation ergonomique d'un affichage graphique, six densités surfaciques peuvent être considérées, la densité statique globale, dynamique globale et totale globale. De même, pour chacune des zones stratégiques de l'écran (voir II-3), les densités statique locale, dynamique locale et totale globale peuvent être évaluées.

III.3.2 - LA DENSITE COGNITIVE

La densité cognitive peut être définie comme la quantité d'information présentée à l'opérateur sur une partie de l'écran. Comme pour la densité surfacique, lors de l'évaluation ergonomique d'un affichage graphique, six densités cognitives peuvent être considérées : statique, dynamique et totale globales, ainsi que statique, dynamique et totale locales.

Cette densité cognitive est difficilement définissable ou quantifiable. En effet, un opérateur peut dire d'un écran, par exemple, qu'il comprend beaucoup, peu ou trop d'information à assimiler. Cette constatation est alors effectuée par rapport à un seuil subjectif personnel considéré comme optimal par l'opérateur.

Ce seuil subjectif optimal est un compromis entre de nombreux paramètres tels :

- la densité surfacique globale,
- les besoins informationnels du contexte de la tâche,
- l'opérateur : état fonctionnel, expérience ...
- la manière dont ces informations sont réparties à l'écran,
- Les choix de présentation des informations statique et dynamique. Par exemple, la densité cognitive de 10 courbes dans une même vue ne sera pas la même que celle de 5 cadrans associés à 5 messages, ou que celle de 10 compteurs.

Dans le but de diminuer la densité cognitive d'une vue et de l'amener vers une densité optimale, proposer une règle générale du type : "*Il ne faut pas plus de 10 fonctions animées environ dans une même vue* ", peut paraître insuffisant, puisque chaque vue graphique représente un cas particulier. En fait, c'est surtout par l'application d'une série de concepts généraux visant, par exemple, à éliminer les informations redondantes, les détails inutiles (donc la densité surfacique) qu'il est possible de simplifier et d'alléger une vue graphique.

De tels concepts sont maintenant proposés.

III.3.3 - CONCEPTS VISANT A DIMINUER LA DENSITE

D'INFORMATION D'UNE VUE GRAPHIQUE

CUSHMAN, LITTLE, LUCAS, PUGSLEY et STEVENS /1984/ proposent plusieurs stratégies pour diminuer la densité d'information d'une vue, associant étroitement les notions complémentaires d'aménagements "statique" et "dynamique" :

- Développer une hiérarchie des besoins en information et afficher seulement les informations de première nécessité. Les autres informations pourront alors être disponibles sur d'autres pages-écrans.
- Utiliser des codages pour mettre plus de données sur l'écran sans perdre d'espace. L'inconvénient de cette stratégie est toutefois le risque d'augmentation de la difficulté de la tâche.
- Employer des courbes pour afficher les données variant au cours du temps.
- Mettre en œuvre des affichages de couleurs différentes, permettant l'identification de blocs d'information.

De la première stratégie peut découler une redécomposition structurelle et fonctionnelle des besoins informationnels de l'opérateur, entraînant des modifications dans l'affichage afin de ne présenter que les informations de première nécessité. Une restructuration de l'image découle des deux stratégies suivantes. En effet, l'utilisation d'un codage permet de simplifier la vue alors qu'une courbe peut avantageusement remplacer un tableau de données numériques. Quant à la quatrième stratégie, elle peut simplement nécessiter un changement de couleur de certaines informations statiques ou/et dynamiques, si la distinction entre plusieurs blocs d'information est jugée difficile par l'opérateur.

D'autres stratégies, en rapport direct avec la densité surfacique, peuvent être proposées :

- Eviter la notion de sophistication. Une erreur souvent commise est effectivement de séduire par des recherches graphiques trop poussées, par une utilisation trop importante des possibilités techniques d'affichage telles l'inversion vidéo, le clignotement ou les pavés colorés /KOLSKI, GRZESIAK, MILLOT, 1988/. Par exemple, un symbole animé (ex : robot manipulateur, vanne) représenté dans ses moindres détails surcharge l'écran par ses objets graphiques constitutifs. De plus, il peut distraire l'opérateur par son esthétique. De même, une information statique (ex : un titre) mise en évidence par une surface colorée, une grande taille de caractères ou un clignotement peut être considérée comme une erreur de conception. En effet, cette mise en évidence provoque une augmentation des densités surfacique et cognitive. De plus, l'accent est mis sur l'information statique au détriment de l'information dynamique.

Il faut donc éviter le détail inutile qui encombre l'écran et rend l'information moins compréhensible. Par exemple, les représentations graphiques doivent être schématisées au maximum.

- Trouver un compromis dans les "tailles" des informations statiques et dynamiques. Une taille trop importante peut altérer inutilement la densité et surcharger l'image. Par contre, une taille insuffisante peut entraîner un défaut de perception ou de détection de l'information.
- Eviter dans la mesure du possible les surfaces colorées. En effet, celles-ci surchargent l'image et peuvent attirer inutilement l'attention de l'opérateur.

De plus, elles sont susceptibles de provoquer de mauvais contrastes. Les surfaces colorées doivent donc être utilisées avec précaution.

Ces derniers points contribuent largement à la simplification et l'allègement des vues graphiques, par la diminution de la densité d'information.

D'autres concepts et règles visant à faciliter la perception et l'interprétation de l'information sont maintenant proposées.

II.4 : AUTRES CONCEPTS ET REGLES VISANT A FACILITER

LA PERCEPTION ET L'INTERPRETATION DE

L'INFORMATION

Afin de faciliter la perception et l'interprétation de l'information, il est nécessaire d'appliquer d'autres concepts et règles ergonomiques de présentation d'information graphique. Ceux-ci ont été rassemblés selon trois thèmes principaux :

- la lisibilité des caractères,
- l'interprétation des fonctions animées de type analogique,
- les règles spécifiques à chaque type de fonction.

II.4.1 - LA LISIBILITE DES CARACTERES

La lisibilité des caractères dépend non seulement de la clarté du contenu informationnel, mais également des caractéristiques physiques utilisées par ces entités graphiques. Des recommandations concernant ces caractéristiques sont proposées dans le tableau de la figure II-12, résumant une littérature riche dans ce domaine. Par exemple, afin d'accroître la lisibilité d'un texte, ce tableau recommande une largeur de caractère comprise entre 50% et 70% de la hauteur.

CARACTERISTIQUE PHYSIQUE	RECOMMANDATION ERGONOMIQUE
inclinaison	0° : conseillée jusque 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	caractères non sophistiqués ex : HR56 : Bon HR56 : 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
luminosités des caractères et du fond	réglables

Figure II-12 : Recommandations ergonomiques concernant les caractéristiques physiques des caractères

Mais, la lisibilité d'un affichage alphanumérique impose également l'absence de confusion entre les caractères. La figure II-13 montre à ce propos les lettres et chiffres les plus souvent confondus dans un affichage visuel. Certains d'entre eux représentent 50% ou plus des cas de confusion tels I et 1, 2 reconnu comme Z, et B reconnu comme R, S ou 8. Il faut donc veiller à les distinguer nettement sur les différentes vues graphiques et éviter ces associations dans les données alphanumériques.

CONFUSION BILATERALE	CONFUSION UNILATERALE
O et Q	C reconnu comme G
T et Y	D reconnu comme B
S et 5	H reconnu comme M ou N
I et l	J et T reconnus comme I
X et K	K reconnu comme R
I et l	2 reconnu comme Z
l et 1	B reconnu comme R, S ou 8

Figure II-13 = Caractères alphanumériques couramment confondus d'après CAKIR, HART et STEWART /1980/.

De plus, l'emploi des majuscules est particulièrement recommandé pour les messages, titres et indications, permettant ainsi une mise en évidence et une identification plus faciles.

II.4.2 - L'INTERPRETATION DES FONCTIONS ANIMEES

DE TYPE ANALOGIQUE

L'interprétation de l'état d'une variable du processus, représentée par une fonction animée de type analogique (courbe, barre-graphe, compteur, cadran, aiguille, etc.), doit se faire facilement et sans ambiguïté.

La fonction animée et son environnement statique associé doivent donc se distinguer des autres informations de l'écran. Cet environnement statique doit comprendre un label, par exemple un titre ou un nom de variable, et suivant le type de fonction, un ou deux axes associé(s) à un sens d'orientation, une unité, des graduations, des repères, une légende, des couleurs et un quadrillage éventuel des coordonnées.

Le tableau de la figure II-14 fournit un aperçu de règles ergonomiques susceptibles d'être appliquées sur l'environnement statique d'une fonction de type analogique. Ces règles sont inspirées de /WOODSON, CONOVER, 1978 ; GRANDJEAN, 1983 ; Mc CORMICK, SANDERS, 1985 et AFNOR, 1986/.

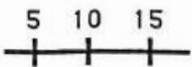
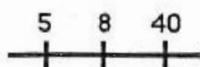
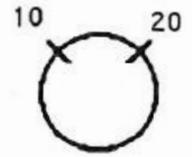
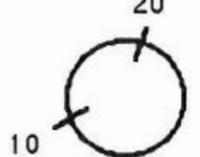
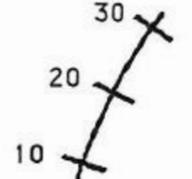
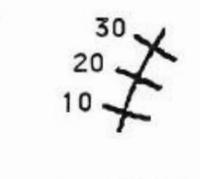
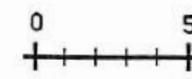
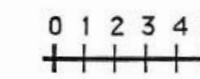
REGLE ERGONOMIQUE	EXEMPLE		REMARQUE
	CONSEILLE	A EVITER	
Il faut éviter des échelles irrégulières			exception faite des échelles logarithmiques
Les chiffres doivent être disposés symétriquement sur un cadran			Cette règle est spécifique au cadran
Certaines progressions numériques sont recommandées	BON : 1 2 3 4 5 5 10 15 20 10 20 30 40	MEDIOCRE : 3 6 9 12 1.25 2.5 5 7.5	
Il faut éviter une trop grande proximité entre les nombres d'une graduation			Il faut parfois trouver un compromis taille/espacement
Seuls les traits les plus grands des repères doivent comporter des graduations			
Pour un même axe : graduations, repères, sens et unités doivent être de même couleur			

Figure II-14 : Exemples de règles ergonomiques applicables aux fonctions de type analogique.

L'application de telles règles contribue à faciliter l'interprétation des fonctions animées de type analogique. Les exemples de règles fournis, ainsi que les recommandations proposées dans le paragraphe II.4.1, concernant la lisibilité des caractères, montrent l'existence de règles spécifiques à chaque type de fonction animée.

III.4.3 - REGLES SPECIFIQUES A CHAQUE TYPE DE FONCTION ANIMEE

Chaque fonction animée est un cas particulier, utilisant ses propres entités graphiques pour transmettre une information selon un mode de présentation prédéfinie. Chaque fonction animée doit donc être évaluée selon des règles de présentation d'information qui lui sont spécifiques.

Le tableau de la figure II-15 fournit quelques exemples de règles ergonomiques spécifiques à certaines fonctions. Ainsi, pour chaque type de fonction, il existe des règles ergonomiques qui leur sont propres.

TYPE DE FONCTION	EXEMPLES DE REGLES ERGONOMIQUES SPECIFIQUES
apparition de symbole	Chaque symbole doit être de taille suffisamment importante pour que son apparition puisse être perçue par l'opérateur
barre-graphe	La graduation d'un barre-graphe doit être de même couleur que le fond de celui-ci /WOODSON, CONOVER,78/
compteur	Il ne faut pas de zéro inutile dans la partie gauche /WOODSON, CONOVER, 78/
message	Il doit être court et concis /SCAPIN, 86/

Figure II-15 : Exemples de règles ergonomiques spécifiques.

Il convient d'accorder une grande attention à l'application de ces règles ergonomiques spécifiques puisque chacune d'entre elles tend à faciliter la perception et l'interprétation de l'information contenue dans les vues de l'interface graphique homme-machine.

En contrôle de procédé, il importe d'aider au maximum l'opérateur dans ses différentes tâches. Chaque détail dans la présentation de l'information a alors son importance.

IV - CONCLUSION

Ce chapitre a d'abord présenté brièvement les limites de l'opérateur humain dans les salles de contrôle de procédés industriels automatisés, ainsi que sa démarche de résolution d'un problème. Plusieurs concepts ergonomiques généraux, utilisables pour l'aménagement des vues de l'interface graphique, ont été mis en évidence dans cette première partie et développés dans la suite de ce mémoire. Ces concepts sont partagés en deux catégories.

La première catégorie de concepts regroupe des connaissances orientées vers l'évaluation et l'aménagement "dynamiques" de l'interface graphique homme-machine, visant à fournir à l'opérateur les informations graphiques, regroupées sur plusieurs images, dont il a besoin pour effectuer ses différentes tâches. Ainsi, après avoir présenté des concepts relatifs à la pertinence de l'information graphique, cette étude a souligné l'importance de fournir à l'opérateur l'information permettant la prévision. Ensuite, le problème du contrôle des entrées a été soulevé, ainsi que celui de la prise en compte, par l'interface, du degré d'expérience et de connaissance de l'opérateur. Enfin, lorsque l'interface fournit des temps de réponse importants, certaines techniques visant à agrémente l'attente de l'opérateur ont été présentées.

La seconde catégorie de concepts regroupe des connaissances ergonomiques relatives à l'évaluation et à l'aménagement "statiques" des vues de l'interface, tendant à optimiser la manière de présenter l'information, d'un point de vue graphique. Dans ce but, différentes méthodes de codage de l'information ont d'abord été classifiées en quatre catégories principales : les codages alphanumérique, coloré, par attribut vidéo et symbolique par distinction de forme ou de taille. Pour chacun de ces codages, des recommandations ergonomiques ont été fournies. Ensuite, afin de faciliter l'organisation et la structuration de l'information, des règles concernant le format d'écran, ainsi que le format de

présentation des données, ont été proposées. De même, des concepts et des règles visant à simplifier et alléger les vues graphiques ont été rassemblés. Enfin, cette étude s'est orientée vers la perception et l'interprétation de l'information. Dans cette partie, des recommandations ergonomiques concernant la lisibilité des caractères, l'interprétation des fonctions animées de type analogique, et la spécificité de chaque type de fonction animée, ont été proposées.

Les connaissances ergonomiques orientées vers l'évaluation "dynamique" sont exprimées sous la forme de concepts généraux concernant l'interface, tel le concept suivant, "*Il faut éviter les informations inutiles*". Par contre, les connaissances en matière de présentation d'information sont, pour la plupart, formalisables sous forme de règles concrètes de manipulation d'objets graphiques à l'écran, par exemple "*La largeur des caractères d'un texte doit être comprise entre 50% et 70% de sa hauteur*". Ces connaissances sont donc parfaitement adaptées à leur intégration dans la base de connaissance d'un système expert.

Le chapitre suivant est consacré à la réalisation et la validation d'un tel système expert, appelé SYNOP, contribuant à l'évaluation "statique" de vues graphiques, à partir de règles de présentation d'information à l'écran.

CHAPITRE III :

LE SYSTEME EXPERT SYNOP D'AIDE A L'EVALUATION STATIQUE DE SYNOPTIQUES INDUSTRIELS

INTRODUCTION

Le chapitre précédent a présenté les connaissances ergonomiques utilisées lors des évaluations "dynamique" et "statique" d'une interface graphique homme-machine. Ce troisième chapitre, quant à lui, est plus particulièrement consacré à l'utilisation de règles de présentation graphique d'information par le système expert SYNOP d'évaluation "statique" d'interfaces graphiques. Développé au L.A.I.H., SYNOP est écrit en langage LISP et est interfacé avec un progiciel de création et d'animation de vues graphiques répondant à la norme graphique G.K.S.

SYNOP intègre dans ses bases des connaissances ergonomiques "statiques" de présentation d'information. Les connaissances sont formalisées en règles de production exploitables par le moteur d'inférence du système.

Le système expert SYNOP fait l'objet de ce troisième chapitre composé de trois parties :

La première partie présente la structure de la chaîne logicielle intégrant le système expert SYNOP.

La deuxième partie explique le mécanisme d'évaluation statique d'une vue graphique à partir de règles de présentation d'information.

Enfin, la troisième partie décrit les interfaces utilisateur et expert de SYNOP. Cette description est d'abord illustrée par la présentation de pages-écrans fournies par l'interface utilisateur lors d'un traitement d'évaluation "statique" d'une vue. Ensuite, les fonctionnalités de l'interface de mise à jour des connaissances, et les travaux visant à résoudre les problèmes ergonomiques liés à la manipulation des règles, sont présentés.

I - LA STRUCTURE DE LA CHAÎNE LOGICIELLE INTEGRANT

LE SYSTEME EXPERT SYNOP

SYNOP comprend un module d'évaluation "statique" de vues graphiques dont l'objectif est d'évaluer et de corriger des ébauches de vues selon des règles ergonomiques rangées dans sa base de connaissance, figure III-1. Les ébauches de

vues sont réalisées au moyen d'un éditeur graphique et stockées sous forme de fichiers graphiques.

Une interface entre l'éditeur graphique et le module d'évaluation interprète les fichiers en un réseau sémantique d'objets descriptifs de la vue, à des fins d'évaluation ergonomique et de correction par le module d'évaluation. Les vues ainsi corrigées sont ensuite recodées par l'interface sous forme de fichiers graphiques, elles peuvent être alors affichées sur l'écran au moyen de l'éditeur.

SYNOP dispose de deux interfaces homme-machine gérées par un superviseur : une interface utilisateur permettant au concepteur des vues de lancer et de contrôler le module d'évaluation de vues, et une interface expert destinée à l'introduction et à la mise à jour des règles ergonomiques, dans la base de connaissance, par l'ingénieur cognicien. La base de connaissance est structurée d'une part en plusieurs "sous-bases" de connaissance regroupant chacune des règles relatives à un même thème ergonomique, et d'autre part en plusieurs "sous-bases" de métaconnaissance contenant des critères de sélection des "sous-bases" de connaissance.

Enfin, dans la version actuelle de SYNOP, l'éditeur graphique utilisé est le progiciel IMAGIN. Il convient de noter que la chaîne logicielle peut intégrer un autre éditeur graphique, moyennant une adaptation de l'interface reliant celui-ci à SYNOP.

La suite de ce chapitre détaille successivement le module d'évaluation statique de vues et les interfaces.

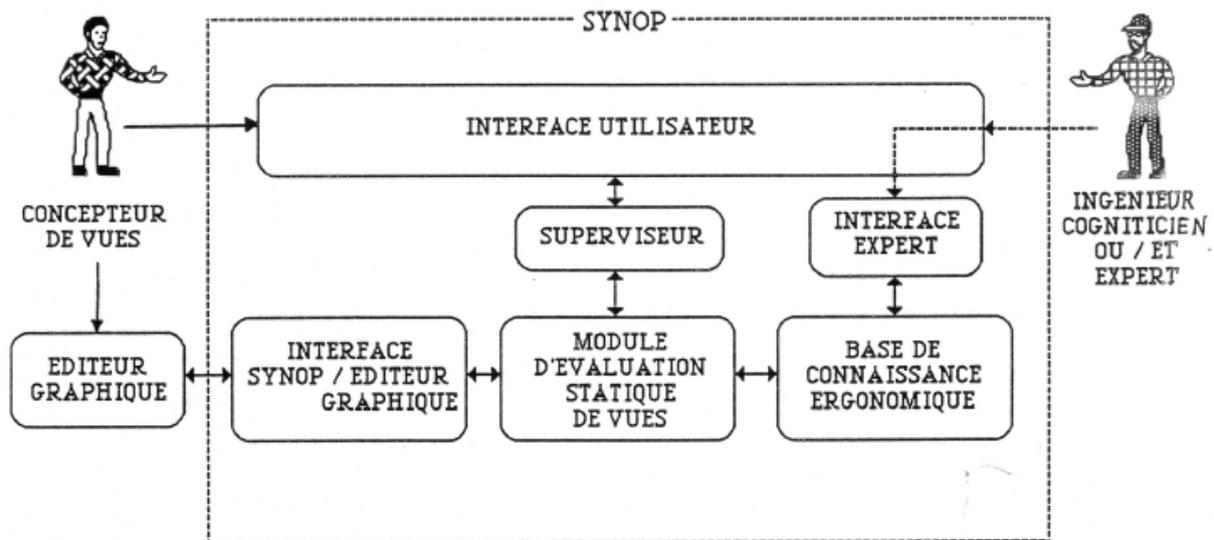


Figure III-1 : La structure de la chaîne logicielle SYNOP

II - LE MODULE D'EVALUATION "STATIQUE" DE VUES GRAPHIQUES

Le principe d'évaluation et d'amélioration ergonomiques d'une vue graphique par SYNOP peut être décrit schématiquement par trois phases. La première phase consiste à interpréter les fichiers graphiques relatifs à la vue à traiter afin de créer un réseau sémantique d'objets structurés LISP. La seconde phase concerne l'évaluation ergonomique des objets du réseau. A cet effet, les règles contenues dans les "sous-bases" sélectionnées sont activées afin d'améliorer la présentation de la vue graphique. La troisième phase, enfin, permet de reconstituer les fichiers graphiques correspondant à la vue améliorée, de façon à pouvoir les afficher sur l'écran.

La figure III-2 fait apparaître la structure du module d'évaluation ergonomique ainsi que sa liaison avec le poste de création de vues graphiques, par l'intermédiaire de l'interface entre SYNOP et l'éditeur graphique. Le module de contrôle, présent sur cette figure, permet la sélection des bases de connaissances relatives à la vue à étudier, ainsi que l'inférence des règles ergonomiques appartenant à ces bases sélectionnées.

Les trois phases du principe d'évaluation et d'amélioration ergonomiques, sont décrites plus précisément dans les trois paragraphes suivants.

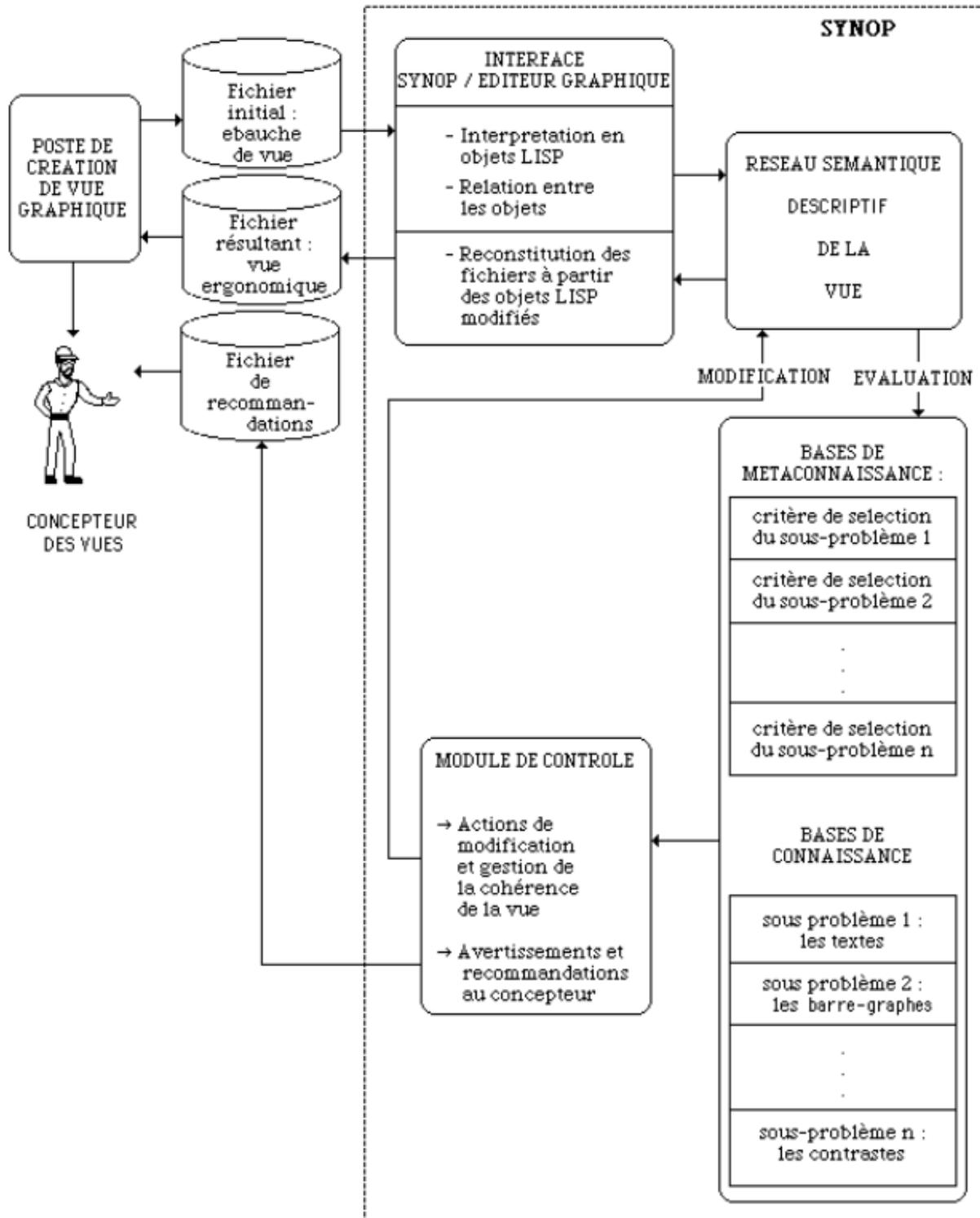


Figure III-2 : La structure d'évaluation statique de vues graphiques

II.1 - PHASE INITIALE D'INTERPRETATION DES

FICHIERS GRAPHIQUES EN RESEAU SEMANTIQUE

La première phase consiste à interpréter les informations statiques et dynamiques de la vue dans le but de créer un réseau sémantique d'objets LISP descriptifs de cette vue.

Ces informations sont centralisées dans des fichiers graphiques codés en binaire, qu'il convient de décoder.

II.1.1. - PRESENTATION GENERALE DES FICHIERS

BINAIRES A DECODER

Les fichiers graphiques sont créés automatiquement par le progiciel graphique IMAGIN. En fait, ce progiciel est un outil de supervision de procédé permettant non seulement l'édition et la configuration en temps différé des différentes vues constituant le synoptique, mais également l'animation en temps réel des variables représentées sur ces vues /SFERCA, 1987/. Il est donc destiné à être implanté sur un calculateur de surveillance de procédé. L'édition est effectuée à partir d'un module de dessin assisté par ordinateur, répondant à la norme G.K.S. /HOPGOOD, DUCE, GALLOP, SUTCLIFFE, 1986/. La configuration a pour but de chaîner d'une part les différentes vues du synoptique qu'elles composent, et d'autre part les différentes variables animées aux vues auxquelles elles appartiennent.

De ce fait, l'édition et la configuration des vues par le concepteur génère automatiquement plusieurs fichiers codés en binaire, selon une structure imposée par le progiciel. Ces fichiers sont ensuite traités par SYNOP.

La figure III-3 décrit la liste de ces fichiers, à partir de l'exemple très simple d'un synoptique appelé "CENTRALE" comprenant une seule vue dénommée "REACTEUR". Cette vue présente l'animation d'un barre-graphe et d'un symbole appelé "VANNE" qui lors de l'animation pourra apparaître et disparaître à l'écran. Ainsi, le fichier REACTEUR.RPG fournit les caractéristiques des primitives graphiques G.K.S. constituant le fond de plan de la vue, le fichier REACTEUR.ANI contient les informations relatives aux deux fonctions animées, ici le barre-graphe et la fonction d'apparition/disparition de symbole. De même, le

fichier VANNE.SMB décrit en termes de primitives graphiques G.K.S. le symbole VANNE.

De plus, la vue REACTEUR appartenant au synoptique appelé CENTRALE, deux fichiers supplémentaires sont créés. Le fichier CENTRALE.IMG intègre chaque nom de vue constituant le synoptique. Le fichier CENTRALE.SBL fournit la liste de tous les symboles utilisés dans les vues constituant le synoptique.

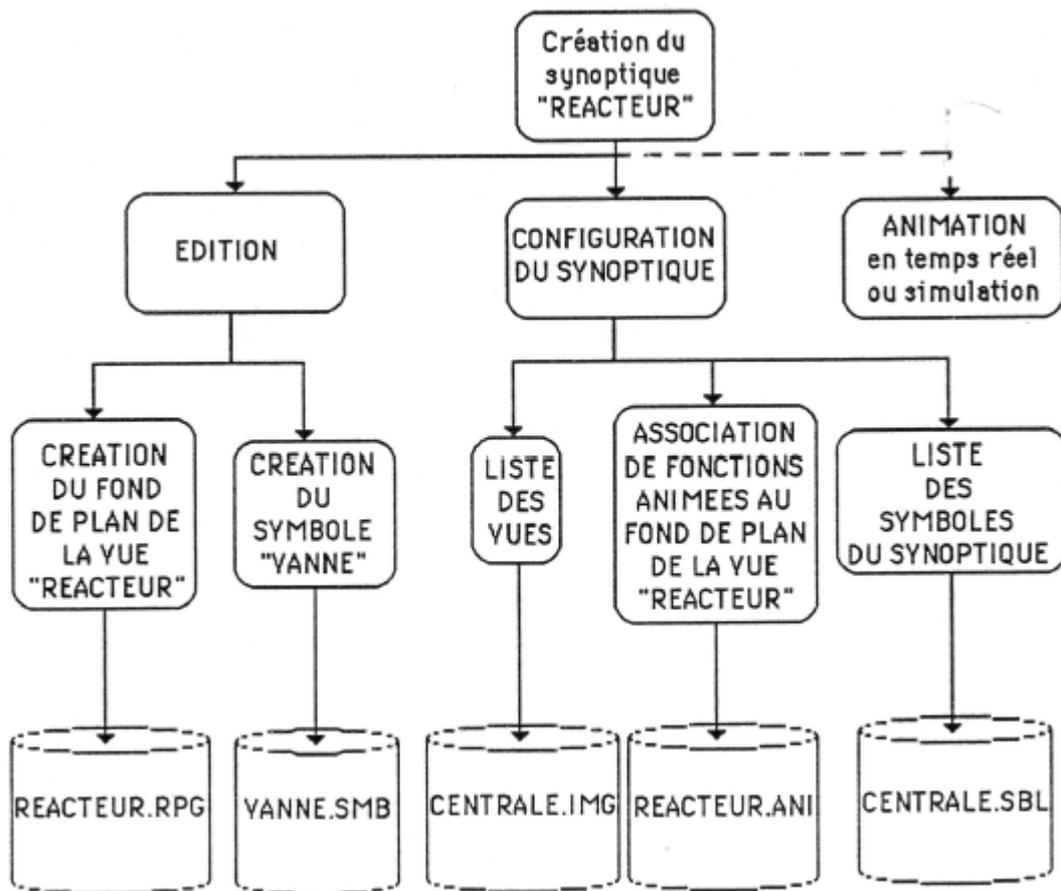


Figure III-3 : Les fichiers binaires générés automatiquement par IMAGIN lors des différentes phases de création des vues graphiques d'un synoptique

Ces fichiers sont décodés par l'interpréteur d'image intégré dans l'interface entre SYNOP et l'éditeur graphique, figure III-2. Le principe de l'interpréteur est présenté ci-dessous.

II.1.2 - L'INTERPRETEUR D'IMAGES

Le principe de l'interpréteur d'image, décrit à la figure III-4, consiste d'abord à lire les fichiers graphiques et à transférer leur contenu vers l'environnement de travail LISP. Puis, des objets structurés sont créés au fur et à mesure de la lecture du contenu de la mémoire, par instanciation d'objets prototypes LISP prédéfinis pour chaque type d'objet graphique possible. Ces objets prototypes ont été créés lors de la conception de SYNOP et rangés dans une bibliothèque.

La structure de ces objets structurés, inspirés de la notion de frame /MINSKY, 1975/ comprend le nom de l'objet, par exemple "texte7", et un ensemble d'attributs le caractérisant, tels que sa "couleur" ou sa "hauteur" de caractère. Chaque attribut est décrit par la facette "valeur" elle-même associée à une valeur, par exemple "rouge". Il convient de noter qu'il existe en Intelligence Artificielle de nombreux autres types de facettes /BONNET, 1984a/. Cependant, la facette "valeur" est suffisante pour décrire complètement un objet graphique.

La figure III-5 présente un exemple de création de l'objet "texte7" correspondant à une primitive graphique G.K.S., par instanciation de l'objet prototype "texte". De même, la figure III-6 donne un exemple de création d'une variable animée "barre-graphe2", par instanciation de l'objet prototype "barre-graphe".

Enfin, après cette phase de création, les liens entre les objets sont décrits de façon à affecter une valeur à des attributs de relations structurelles. Par exemple, les attributs "contenu-dans" et "en-contact" décrivent les liens de l'objet "texte7" avec l'objet "rectangle3", qui le contient, et avec le vecteur 12, figure III-5. Les objets graphiques de la vue ainsi reliés constituent un réseau sémantique /BONNET, 1984b/.

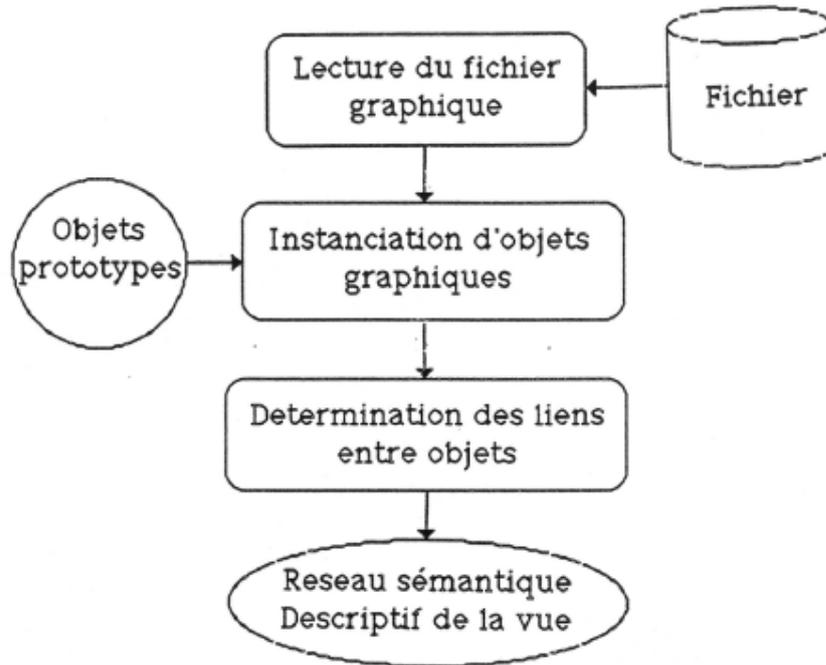


Figure III-4 : Fonctionnement global de l'interpréteur d'image
/GRZESIAK, 1987/

"texte"		"texte7"	
Une-sort-de	.type (caractères)	Une-sort-de	.valeur (texte)
Segment	.type (caractères)	Segment	.valeur (segment2)
Couleur	.type (caractères)	Couleur	.valeur (vert)
Primitive	.type (entier)	Primitive	.valeur (3)
Hauteur	.type (entier)	Hauteur	.valeur (22)
Largeur	.type (entier)	Largeur	.valeur (14)
Espacement	.type (entier)	Espacement	.valeur (2)
Direction	.type (entier)	Direction	.valeur (2)
X1	.type (entier)	X1	.valeur (192)
Y1	.type (entier)	Y1	.valeur (56)
Texte	.type (caractères)	Texte	.valeur (Vanne 14)
		Contenu-dans	.valeur (rectangle3)
		En-contact	.valeur (vecteur12)

(a) : objet prototype

(b) instanciation de l'objet prototype

Figure III-5 : Exemple d'instanciation d'une primitive graphique G.K.S.

"bargraph"		"bargraph2"	
Une-sort-de	.type (caractères)	Une-sort-de	.valeur (bargraph)
Code	.type (entier)	Code	.valeur (1)
Nb-param	.type (entier)	Nb-param	.valeur (8)
Nom-objet	.type (caractères)	Nom-table	valeur (BAR2)
Mot-table	.type (entier)	Mot-table	.valeur (22)
Vue	.type (caractères)	Vue	.valeur (REACTEUR)
Max-échelle	.type (entier)	Max-échelle	.valeur (20)
Direction	.type (entier)	Direction	.valeur (150)
X1	.type (entier)	X1	.valeur (16)
Y1	.type (entier)	Y1	.valeur (200)
Couleur-tracé	.type (caractères)	Couleur-tracé	.valeur (jaune)
Couleur-fond	.type (caractères)	Couleur-fond	.valeur (bleu)
Largeur	.type (entier)	Largeur	.valeur (78)
Hauteur	.type (entier)	Hauteur	.valeur (78)

(a) : objet prototype

(b) instantiation de l'objet prototype

Figure III-6 : Exemple d'instanciation d'une variable animée

Après cette première phase d'interprétation des informations statiques et dynamiques de la vue, le réseau sémantique d'objets LISP est prêt pour la seconde phase d'évaluation et d'amélioration.

II.2 - PHASE D'EVALUATION ET D'AMELIORATION

DE LA VUE

L'évaluation ergonomique est effectuée par inférence des règles contenues dans la base de connaissance de SYNOP. Afin de décrire cette phase, nous détaillons successivement le mode de représentation et d'exploitation des connaissances de SYNOP, et son mécanisme d'inférence.

II.2.1 - MODES DE REPRESENTATION ET

D'EXPLOITATION DES CONNAISSANCES

DANS SYNOP

Les connaissances ergonomiques sont représentées par des règles de production exploitées par un moteur d'inférence du premier ordre en chaînage avant /GRZESIAK, 1987/. Le mécanisme de traitement des connaissances est basé sur la séquence classique : définition de l'ensemble des règles applicables, choix d'une règle à appliquer, inférence de la règle et mise à jour /LAURIERE, 1982/.

Le formalisme des règles de production est du type :

SI condition ALORS Conclusion

La définition de l'ensemble des règles applicables, encore appelé ensemble de conflit, est obtenue en vérifiant, successivement pour chaque règle de la base, que la condition exprimée dans le membre gauche de la règle est satisfaite. Ensuite, une stratégie de choix est appliquée pour sélectionner une règle de l'ensemble de conflit, et celle-ci est activée. L'inférence de la règle permet d'en déduire que la conclusion exprimée dans le membre droit est satisfaite, et de mettre à jour en conséquence la mémoire de travail.

Plus précisément, chaque règle de production utilisée par SYNOP est exprimée de la façon suivante :

SI (P1 * P2 *...* Pn) ALORS C

La condition d'application de la règle est une combinaison logique des prémisses P_i , définie à partir de l'opérateur " * " qui peut prendre la valeur "ET" ou "OU". C est la conclusion à déduire lorsque la condition décrite par les prémisses se trouve réalisée. Lorsque la conclusion C est prémisses d'une autre règle, cette conclusion est appelée "sous-but" et la règle dont elle est conclusion est appelée règle "logique".

A chaque prémisses est associée une procédure, écrite en LISP, permettant d'en évaluer la valeur de vérité par des tests directs sur les objets graphiques du réseau sémantique descriptif de la vue. Deux exemples de procédures sont présentés, figure III-7. L'une permet d'évaluer si l'objet est de couleur rouge, la seconde teste si un symbole est placé à l'intérieur d'un rectangle. De même, à chaque conclusion

de règle est associée une procédure permettant d'effectuer une modification physique d'un ou plusieurs objets du réseau sémantique, ou, simplement, de fournir une recommandation ergonomique au concepteur.

```

; TESTE SI L'OBJET x EST DE COULEUR ROUGE. ;
(de z:cond:rouge (x)
  (if (equal (car (fget x 'couleur 'valeur)) 'rouge) t nil))

```

```

;
; TESTE SI UN SYMBOLE x2 SE TROUVE EN CONTACT A L'INTERIEUR D'UN RECTANGLE
; x1
;
(de z:cond:contact-interieur (x1 x2)
  ; x1 = RECTANGLE (SYMBOLE) / x2 = ZONE
  (let ( (ii 0) (listex ()) (listey ()) (nb 0) )
    (setq ox 0)
    (setq oy 0)
    (for (j 1 1 (1- (getprop 'symbole 'compteur)))
      (cond ((equal (implode (explode dessin))
                    (implode (explode (car (fget (concat "symbole" j)
                                                    'nom_fonc 'valeur)))))
              (setq ox (car (fget (concat "symbole" j) 'x1 'valeur)))
              (setq oy (car (fget (concat "symbole" j) 'y1 'valeur)))
              (setq j (getprop 'symbole 'compteur)))))
    ; CONSTRUCTION DE LA LISTE DES COORDONNEES DU RECTANGLE
    (for (i 1 1 2)
      (setq listex (append1 listex (fget x2 (concat "x" i) 'valeur)))
      (setq listex (append1 listex (list
                                    (1- (car (fget x2 (concat "x" i) 'valeur))))))
      (setq listex (append1 listex (list
                                    (1+ (car (fget x2 (concat "x" i) 'valeur))))))
      (setq listey (append1 listey (fget x2 (concat "y" i) 'valeur)))
      (setq listey (append1 listey (list
                                    (1- (car (fget x2 (concat "y" i) 'valeur))))))
      (setq listey (append1 listey (list
                                    (1+ (car (fget x2 (concat "y" i) 'valeur))))))
    ; JE CALCULE LA TAILLE DE L'INTERSECTION
    (for (i 1 1 2)
      (cond ((member (list (+ ox (car (fget x1 (concat "x" i) 'valeur)))) listex)
              (setq nb (1+ nb)))))
    ; SI L'INTERSECTION EST SUP A 2 POUR Xi OU Yi ALORS O.K. SINON NIL
    (cond ((equal nb 0)
            (for (i 1 1 2)
              (cond ((member (list
                              (+ oy (car (fget x1 (concat "y" i) 'valeur)))) listey)
                      (setq nb (1+ nb)))))
            (cond ((equal nb 0)
                    (t t)))
            (t t)))
  )
)
;***

```

Figure III-7 : Deux exemples de procédures LISP

Le mode de représentation adopté pour les règles de production, décrites ci-dessus, utilise le formalisme des objets structurés. Ainsi, une règle se décompose en plusieurs entités élémentaires de la connaissance représentées chacune par un objet ; il existe une entité pour la structure générale de la règle, une entité pour chacune de ses prémisses, et des entités pour exprimer les conclusions. Chacune des entités de la connaissance possède des attributs fixes, des attributs dynamiques et leurs valeurs correspondantes.

La figure III-8 donne un exemple de l'objet structuré "règle d'action RA3" décrivant la structure de la règle suivante :

SI	(à-droite-de	x1 x2)
ET SI	(trop-près-de	x1 x2)
ALORS	(écarter-vers-la-droite	x1)

Les sept premiers attributs de cet objet, figure III-8, sont fixes et ont été remplis lors de la création.

L'ordre de cette règle (nombre de variables manipulées) est égal à 2 et l'opérateur pour déterminer la condition d'application de la règle est l'opérateur "ET". Cette règle possède un "indice d'intérêt", égal à 5, qui indique l'intérêt subjectif d'appliquer cette règle. Cet indice compris entre 1 et 10, affecté à la règle lors de sa création par l'expert, permet de guider la stratégie de choix de la règle lors du cycle d'inférence. Par exemple, une règle d'indice 8 sera inférée avant une règle d'indice 4. De plus, la règle possède dans sa partie prémisse deux conditions, C1 et C5, représentées chacune par un objet structuré. De même, l'action A3 qui lui est associée correspond à un objet décrivant les caractéristiques de l'action à effectuer sur la variable x1.

Enfin, le dernier attribut est dynamique en ce sens que dans l'exemple considéré, il concerne les "substitutions-possibles" sous la forme de couples d'objets sur lesquels la règle est applicable. Cet attribut est rempli par SYNOP lors de la phase d'initialisation de l'ensemble de conflit, et il est éventuellement mis à jour suite à l'inférence d'une règle.

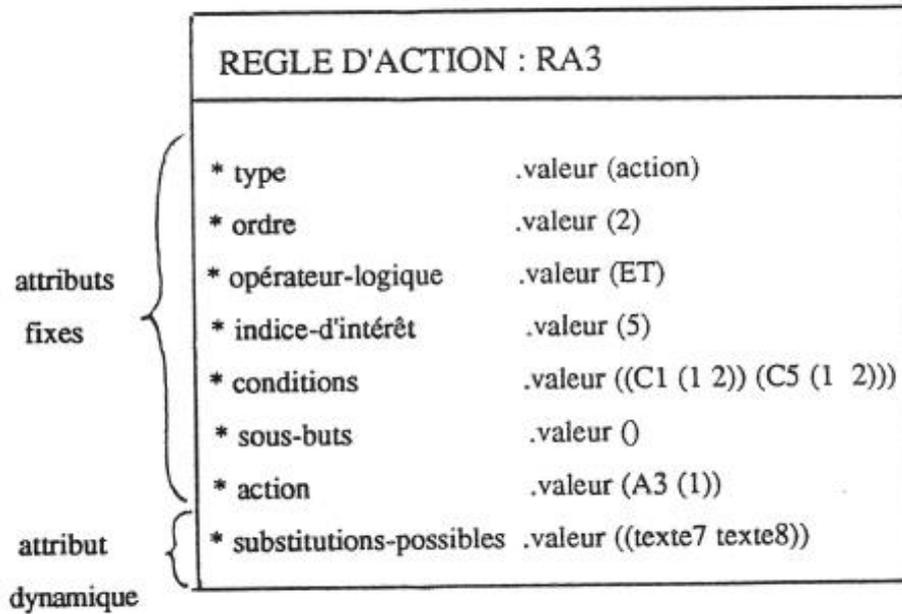


Figure III-8 : exemple de représentation d'un objet structuré "règle d'action"

A partir de la règle décrite précédemment, la figure III-9 donne un deuxième exemple de représentation d'un objet structuré, exprimant une condition et concernant la relation entre deux textes. Les cinq attributs fixes définissent le type de relation, les objets graphiques sur lesquels elle porte et leur nombre. La relation concernée est antisymétrique et est évaluée par la procédure "à-droite-de". De plus, cette condition est présente dans deux règles appelées "règle-action3" et "règle-action12". Les deux attributs dynamiques sont gérés par SYNOP lors de l'inférence des règles. Ainsi, l'attribut "ensemble-support" contient la liste des objets graphiques vérifiant la condition alors que l'attribut "nature", pouvant prendre pour valeur "stable" ou "instable", indique si la condition est affectée par les modifications inférées lors du cycle précédent du module de contrôle.

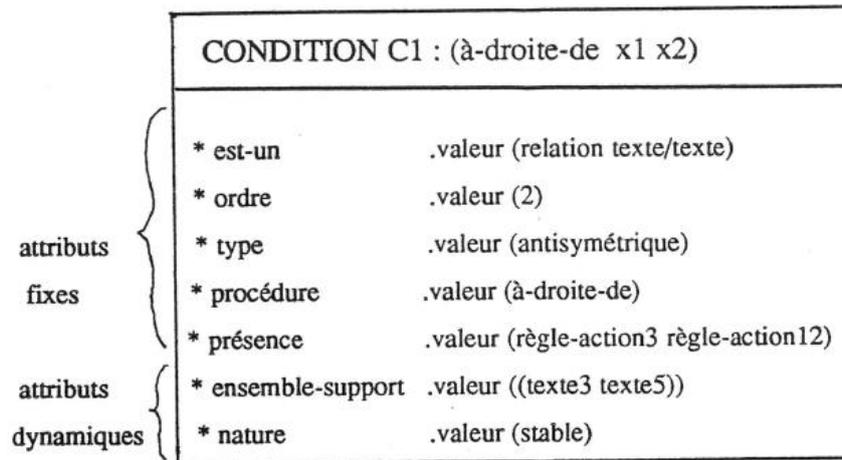


Figure III-9 : exemple de représentation d'un objet structuré "condition"

Après cette brève description de la représentation des connaissances dans SYNOP, le principe d'amélioration ergonomique de la vue est présenté ci-après.

II.2.2 - LE PRINCIPE D'EVALUATION ET D'AMELIORATION ERGONOMIQUES

L'évaluation des vues commence par une analyse globale des objets graphiques en vue de la sélection de "sous-bases" de connaissance contenues dans la base de connaissance ergonomique du système expert. Chacune de ces "sous-bases" est associée à un concept ou thème, et contient ainsi un ensemble de règles relatives chacune à l'étude d'un sous-problème ergonomique. Par exemple, une "sous-base", concernant l'ergonomie de présentation des barre-graphes, regroupe l'ensemble des règles relatives à ce sous-problème. De même, une autre "sous-base" peut concerner la lisibilité des caractères, les contrastes colorés, etc.

La sélection des "sous-bases" est effectuée par l'activation de critères de sélection sous la forme de métarègles appartenant aux "sous-bases" de métaconnaissance, figure III-2. Cette méthode permet de restreindre l'espace de travail, en limitant l'étape de sélection des règles activables à des ensembles de règles effectivement activables, et de réduire le temps de traitement en évitant de tester des règles inutiles /PITRAT, 1984/.

Une liste de métarègles actuellement utilisées dans les "sous-bases" de métaconnaissance de SYNOP est fournie en annexe. De plus, un exemple de

métarègle est donné ci-dessous. Dans cet exemple, x1 est une variable prenant pour valeur le nom de la vue traitée. Ainsi, s'il existe au moins un barre-graphe dans la vue x1, la sélection de bases traitant le problème de la présentation des barre-graphes est proposée à l'opérateur.

SI (il-existe-au-moins-un-barre-graphe-dans-la-vue x1)
 ALORS (sélectionner-la-base-sur-les-barre-graphes x1)

Puis, la vue est évaluée par inférence des règles d'action contenues dans chaque "sous-base" ainsi sélectionnée. Le lecteur trouvera en annexe une liste de règles actuellement existantes dans les "sous-bases" de connaissance de SYNOP. De plus, deux exemples simples de règles d'action conduisant à des modifications physiques d'objets graphiques sont présentées ci-dessous. La première règle permet de séparer deux textes parallèles x1 et x2 d'une distance égale à 100% de la hauteur de leurs caractères, si cette distance est initialement inférieure à cette valeur de référence. La seconde règle permet de changer la couleur d'un objet x1 si celui-ci est de couleur rouge, sans pour autant correspondre à une alarme.

SI (2-textes-non-séparés-distance-100%-hauteur x1 x2)
 ALORS (séparer-d'une-distance-de-100%-hauteur x1 x2)

SI (objet-de-couleur-rouge x1)
 et SI (objet-non-utilisé-pour-alarme x1)
 ALORS (changer-couleur-de-l'objet x1)

L'activation d'une règle d'action peut entraîner une modification automatique des caractéristiques d'objets statiques et animés de la vue nécessitant, éventuellement, la gestion de la cohérence de l'environnement des objets modifiés. Cette gestion de cohérence s'effectue par l'activation de règles d'action particulières appelées règles de cohérence. Par exemple, lorsqu'une règle d'action conduit à augmenter la hauteur d'un texte contenu dans un rectangle, il est possible que le texte agrandi touche ce rectangle. Une règle de cohérence doit alors agrandir celui-ci afin que l'environnement du texte modifié respecte des critères ergonomiques de clarté et de lisibilité.

Cependant, dans certains cas, une modification physique d'objets graphiques peut s'avérer difficile ou impossible, suite à l'activation d'une règle d'action. Dans ce cas, le système se contente de fournir à l'opérateur de conception des recommandations ergonomiques générales concernant la vue traitée. De telles règles peuvent s'avérer imprécises puisqu'elles utilisent des critères d'évaluation

subjectifs. Deux exemples de règles de ce type illustrent ce cas. La première règle recommande à l'opérateur de ne pas surcharger la vue x1 par des zones colorées lorsque la surface totale de ces zones est supérieure à un seuil subjectif prédéfini dans la règle. La seconde règle indique à l'opérateur qu'une chaîne alphanumérique x1 comprenant plus de 10 caractères risque d'être difficilement interprétable. Dans ce deuxième exemple, le nombre 10 a été fixé alors que 8, 9 ou 12 se serait peut-être avéré plus optimal selon le contexte d'utilisation de la vue.

SI	(aire-zones-colorées-grande	x1)
ALORS	(conseiller-à-l'opérateur-réduire-aire-zones-colorées	x1)
SI	(nombre-de-lettres-du-texte-supérieur-à-10	x1)
ET SI	(texte-comprend-au-moins-un-chiffre-entre-2-lettres	x1)
ALORS	(avertir-opérateur-texte-difficilement-interprétable	x1)

Après cette seconde phase d'évaluation et d'amélioration de la vue, le réseau sémantique modifié est recodé en fichiers binaires exploitables par l'éditeur graphique.

II.3 - PHASE DE RECONSTITUTION DES FICHIERS

GRAPHIQUES DE LA VUE AMELIOREE

Cette troisième phase concerne la reconstitution automatique de fichiers binaires G.K.S. issus du traitement expert, selon le principe inverse de la phase d'interprétation décrite dans le paragraphe II.1.2. Dans le présent contexte où SYNOP est connecté au progiciel IMAGIN, ces fichiers sont codés au format imposé par les modules d'édition et de configuration du progiciel. Ils sont donc immédiatement utilisables par le concepteur des vues.

De plus, le système expert fournit des fichiers de recommandations et d'explications permettant au concepteur de retoucher son synoptique d'après les conseils découlant de l'inférence des règles de recommandations, mais aussi de comprendre le raisonnement du système expert. En effet, ces fichiers créés progressivement lors de la phase précédente, fournissent à l'opérateur une trace écrite du traitement ergonomique de SYNOP.

Après cette troisième phase, le traitement ergonomique de SYNOP est terminé. Le concepteur peut alors quitter l'environnement logiciel du système expert afin d'améliorer son synoptique à l'aide de l'éditeur graphique, selon les recommandations fournies par SYNOP, ou relancer un traitement sur un autre synoptique ou une vue seulement. Tout dialogue avec le système expert s'effectue alors par l'intermédiaire de l'interface utilisateur.

L'interface utilisateur, ainsi que l'interface expert, sont maintenant détaillées.

III - LES INTERFACES UTILISATEUR ET EXPERT DE SYNOP

Les deux interfaces, utilisateur et expert, permettent le dialogue avec le système expert SYNOP. L'interface utilisateur est destinée au concepteur des vues graphiques pour lancer SYNOP et pour contrôler chacune des étapes du traitement. L'interface expert est destinée au cognicien pour la mise à jour de la base de connaissance ergonomique en coopération avec l'expert ergonome.

Ces deux interfaces utilisent le même écran alphanumérique, selon un dialogue établi à partir de menus hiérarchisés et proposant des options sélectionnables par le clavier.

L'initialisation de chacun des deux types de dialogues est faite à partir de la première vue écran sur laquelle les deux options sont proposées. Toutefois, l'accès au dialogue expert est verrouillé par un code spécifique à l'expert de façon à interdire à un opérateur non qualifié de modifier les règles.

Les modes d'utilisation de chaque interface sont proposés ci-après.

III.1 - MODES DE FONCTIONNEMENT DE

L'INTERFACE UTILISATEUR

Le séquençement des différents types de pages-écrans visualisées par le concepteur lors de l'évaluation "statique" d'une vue graphique est présenté sur la figure III-10. Les pages-écrans correspondantes sont présentées sur les figures III-11-(a) à III-12-(c). Les pages sont toutes structurées en trois zones : la zone de titre en haut, la zone affichant les choix possibles au centre, et la zone de commande en bas de l'écran.

Le menu global permet à l'opérateur d'accéder à la fonctionnalité d'expertise d'une vue, figure III-11-(a). Les principales fonctionnalités (de commande <0> à <2>) ainsi que les fonctionnalités supplémentaires peuvent être expliquées à l'opérateur s'il actionne la demande d'aide <a>. Après avoir sélectionné la fonctionnalité d'expertise sur une vue graphique, par la commande <2>, une page-écran d'entrée du nom de la vue à évaluer lui est présentée, figure III-11-(b).

Le traitement ergonomique commence alors par l'interprétation des fichiers binaires relatifs aux informations statiques et dynamiques de la vue. La page-écran correspondant à la partie statique est présentée sur la figure III-11-(c). Au fur et à mesure de ce traitement, l'étape en cours est affichée sur l'écran pour renseigner l'opérateur sur le déroulement global de l'interprétation. Ainsi, l'affichage de ces informations permet à l'opérateur d'en déduire les opérations qui restent avant de "reprendre la main". Après l'interprétation des fichiers, la phase de préétude de la vue, permettant la sélection et le chargement des "sous-bases" de connaissance, commence.

Lors de la phase de préétude de la vue, l'opérateur peut confirmer ou refuser le chargement des "sous-bases" de connaissance sélectionnées par SYNOP. L'opérateur peut refuser le chargement d'une "sous-base", par exemple s'il estime que la vue respecte les règles que cette "sous-base" contient. Dans l'exemple de la figure III-12-(a), le système expert a détecté la présence de textes dans la vue et propose à l'opérateur de charger des "sous-bases" de connaissance permettant de traiter le sous-problème de présentation des textes.

Pour chaque "sous-base" de connaissance sélectionnée, l'inférence d'une règle entraîne la présentation d'une page-écran du type de la figure III-12-(b). Cette page fournit à l'opérateur des explications sur le traitement : le nom de la règle inférée, le principe ergonomique appliqué et le nom de l'objet concerné par le traitement. Les caractéristiques complètes de l'objet concerné sont placées automatiquement par SYNOP dans le fichier de recommandation. Elles peuvent également être imprimées en temps réel sur imprimante ou sur un écran complémentaire.

Après la phase d'évaluation et d'amélioration, une page-écran, figure III-12-(c), indique que les fichiers relatifs aux parties statiques et dynamiques sont reconstitués. Chaque reconstitution terminée, le menu global est de nouveau présenté à l'opérateur, lui permettant soit de lancer une autre session sur d'autres vues, soit d'arrêter SYNOP.

Lorsque l'opérateur est le cognicien, il communique son code d'accès personnel, et le menu global lui permet d'accéder à l'interface expert. Celle-ci fait l'objet du paragraphe suivant.

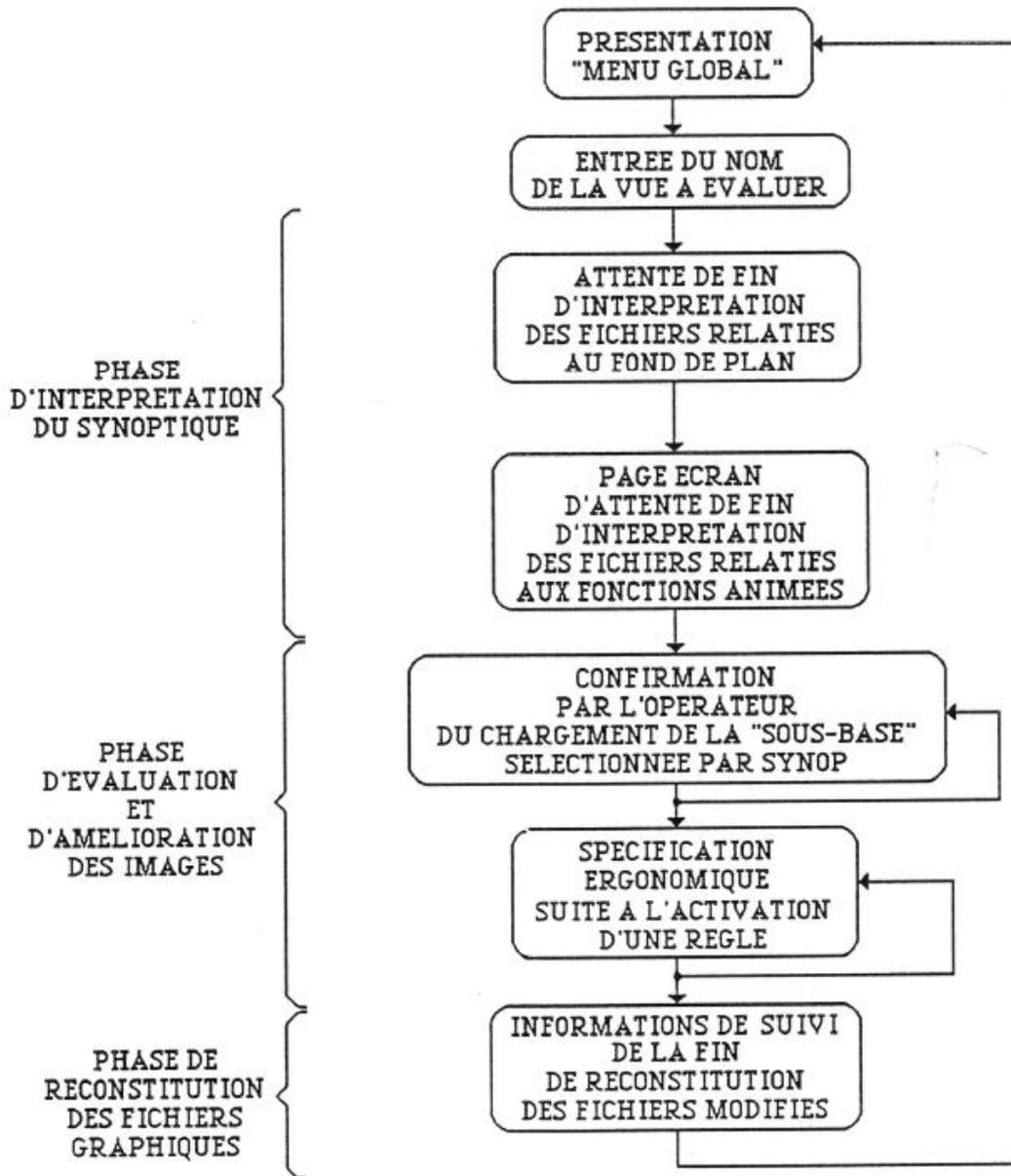


Figure III-10 : Séquence des différentes pages-écrans présentées à l'opérateur lors de l'évaluation d'une vue.

(a)

MENU GLOBAL	
* EXPERTISE SUR :	
- UN SYNOPTIQUE	<1>
- UNE VUE GRAPHIQUE	<2>
* SORTIE	<0>
CHOIX <0..2>	REDESSINER-CADRE <3>
REDIRECTION <4>	AIDE <a>

(b)

TRAITEMENT SUR UNE VUE GRAPHIQUE	
VUES DISPONIBLES :	
courbe3	etoile
salle2	salle3
propag	radio
usine	turbine
zone1	
ARRET <0>	AIDE <a>
NOM DE LA VUE <nom>	

(c)

Etoile INTERPRETATION DES FICHIERS IMAGIN : FOND DE PLAN	
* LECTURE DU FICHIER	fond de plan
* CREATION D'OBJETS	lisp
* INTERACTION ENTRE	les vecteurs
*	
*	
VEUILLEZ PATIENTER	

Figure III-11 : Exemples de pages-écrans

(a) menu global

(b) entrée du nom de la vue à évaluer

(c) attente de fin d'interprétation des fichiers relatifs au fond de plan

(a)

Etoile	SELECTION DE BASES DE CONNAISSANCE
Regle : r-act2	
IL EXISTE AU MOINS UN TEXTE DANS LA VUE. SYNOP DOIT-IL CHARGER LES BASES DE CONNAISSANCE SUR LES TEXTES ?	
CONFIRMATION DU CHARGEMENT <1> SINON <UNE TOUCHE> :	

(b)

Etoile	AMELIORATIONS SUIVANT DES REGLES SUR LES TEXTES
Regle : r-act3	
LA LARGEUR DES CARACTERES D'UN TEXTE DOIT ETRE COMPRISE ENTRE 70% ET 80% DE SA HAUTEUR. DANS LE CAS CONTRAIRE, SYNOP DONNE AU TEXTE LA LARGEUR ERGONOMIQUE MINIMALE :	
largeur = 0.70 * hauteur	
Objet concerné : texte7	
CONTINUER <UNE TOUCHE>	

(c)

Etoile	RECONSTITUTION DES FICHIERS MODIFIES
* FICHIERS RELATIFS AU FOND DE PLAN	
.	
VEUILLEZ PATIENTER	

Figure III-12 : Exemples de pages-écrans

- (a) confirmation du chargement de "sous-bases" de connaissance
- (b) affichage d'une spécification ergonomique suite à l'activation d'une règle
- (c) attente de fin de reconstitution des fichiers relatifs à la vue modifiée

III-2 - L'INTERFACE EXPERT DE MISE A JOUR DES REGLES

ERGONOMIQUES

L'interface expert permet de faire évoluer le système expert, ou de l'adapter à un environnement spécifique d'étude, par ajout de nouvelles connaissances ou/et par modification de celles déjà existantes. Par souci d'homogénéité, cette interface utilise les mêmes types de pages écrans que l'interface utilisateur.

L'enchaînement des pages-écrans présentées à l'opérateur lors de la mise à jour de la connaissance est décrit sur la figure III-13. Les pages écrans correspondantes sont présentées sur les figures III-14-(a) à III-16-(c). L'opérateur expert ou cogniticien y accède à partir du menu global, figure III-14-(a). Ses premières manipulations consistent en la gestion des "sous-bases" de connaissance ou de métaconnaissance.

III.2.1 - LA GESTION DES "SOUS-BASES" DE

CONNAISSANCE OU DE METACONNAISSANCE

L'opérateur choisit d'abord de mettre à jour, soit la métaconnaissance, soit la connaissance, figure III-14-(b). Il peut alors consulter les différentes "sous-bases" sélectionnables, figure III-14-(c). Qu'il ait choisi la connaissance ou la métaconnaissance, l'opérateur peut visualiser dix pages proposant chacune neuf bases relatives à un sous-problème particulier. A ce niveau, six fonctionnalités concernant la "sous-base" sélectionnée sont possibles.

La première fonctionnalité permet la création de cette "sous-base". Ainsi, les fichiers associés à celle-ci sont créés et initialisés au format requis par l'interface. Ces fichiers correspondent aux différentes entités, objets structurés et procédures, manipulées par le moteur d'inférence de SYNOP. De plus, un nom (par exemple : "LES COURBES"), entré par l'opérateur, lui est associé.

La seconde fournit à l'opérateur la possibilité de détruire ou de sauvegarder sous un autre nom chacun des fichiers de la "sous-base".

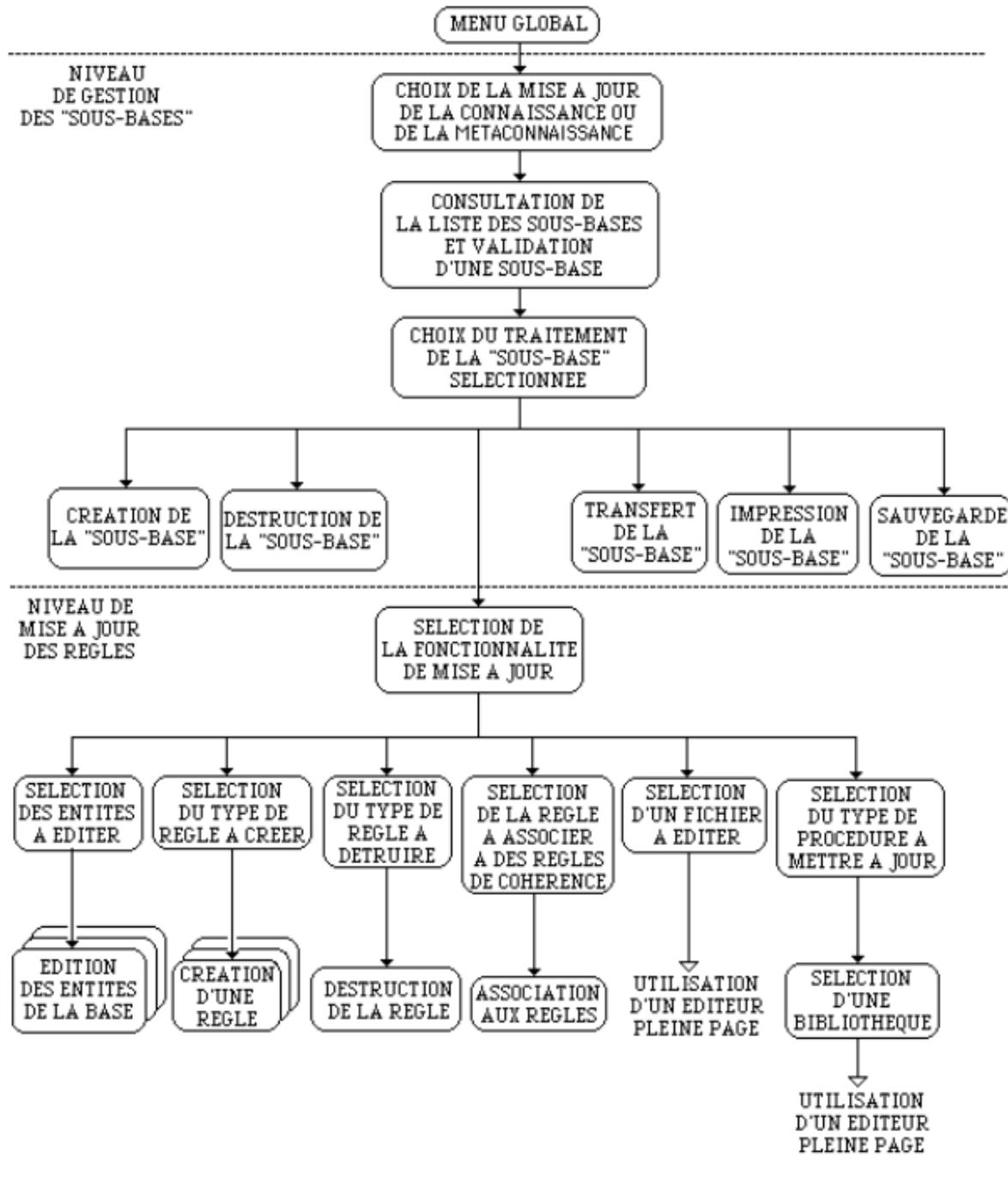


Figure III-13 : L'enchaînement des pages-écrans présentées à l'opérateur lors de la mise à jour de la connaissance

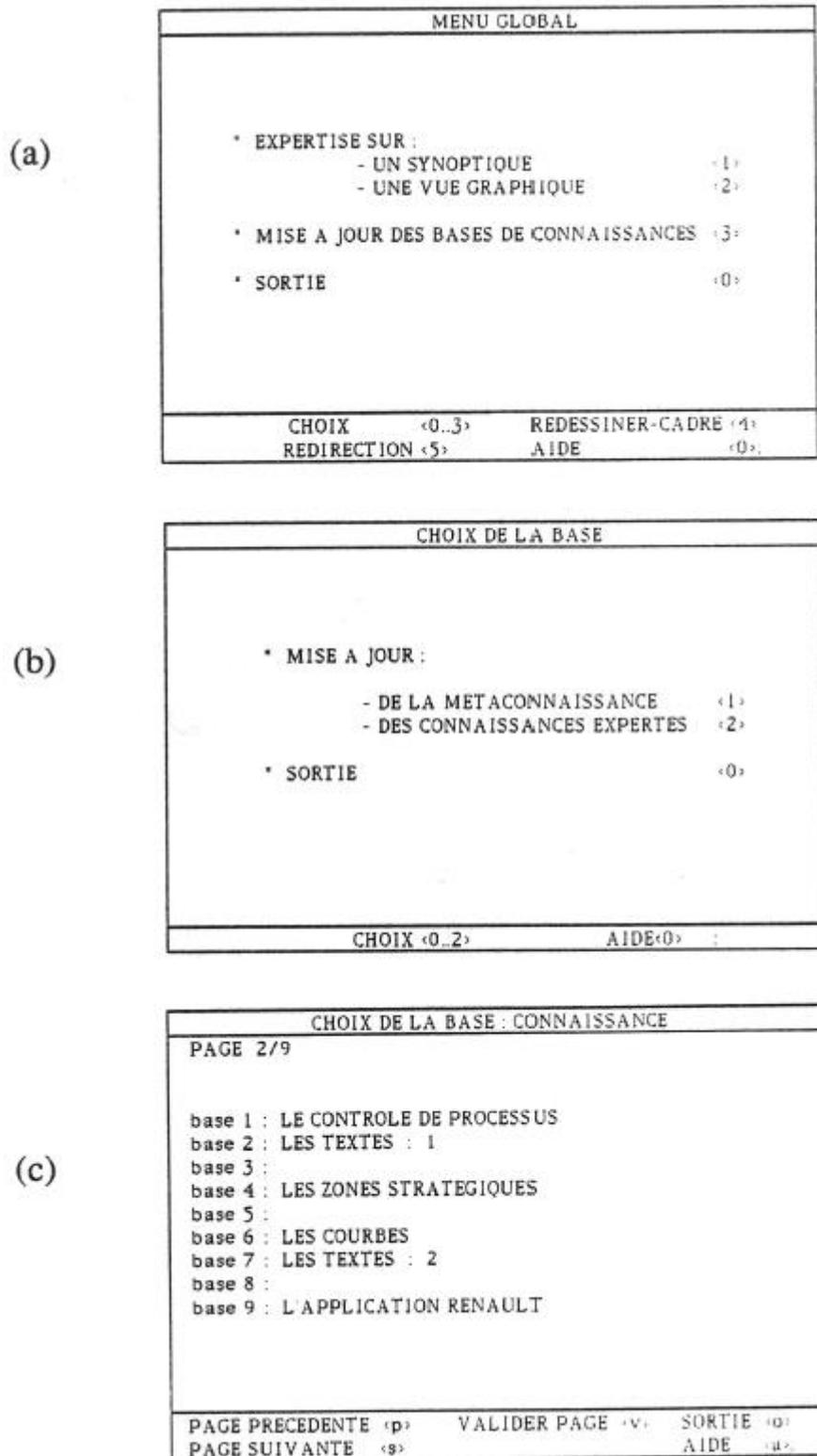


Figure III-14 : Exemples de pages-écrans

(a) : présentation du menu global

(b) : sélection de la connaissance ou de la métaconnaissance

(c) : consultation de la liste des "sous-bases"

La troisième fonctionnalité permet l'impression des fichiers de la "sous-base" sélectionnée. Ces fichiers sont réunis et commentés dans un fichier unique. Celui-ci est stocké en mémoire ou envoyé sur imprimante.

L'utilisation de la quatrième fonctionnalité entraîne le transfert de la "sous-base", d'un emplacement à un autre. Par exemple, la "sous-base" 28 peut être placée en 70. La nouvelle "sous-base" est alors renommée.

La cinquième fonctionnalité permet d'effectuer une sauvegarde de la "sous-base" et de placer celle-ci à un emplacement libre.

Enfin, la dernière fonctionnalité permet la mise à jour de la "sous-base" à un deuxième niveau de manipulation des règles de celle-ci, par exemple leur création, destruction ou édition. La mise à jour est présentée plus en détail dans le paragraphe suivant.

III.2.2 - LA MISE A JOUR DES REGLES D'UNE BASE

Les fonctionnalités de mise à jour des règles d'une "sous-base" sont proposées par un menu principal, figure III-15-(a). Au nombre de six, elles sont décrites successivement ci-dessous.

III.2.2.1 - L'EDITION DES ENTITES DE LA BASE

Cette fonctionnalité permet de visualiser les caractéristiques de tous les objets structurés de la connaissance, par exemple les conditions, les règles d'action, etc.

Un exemple de visualisation des caractéristiques de la troisième condition, parmi les quinze que comporte la "sous-base" 27, est fourni par la figure III-15-(b).

III.2.2.2 - LA CREATION D'UNE REGLE

Cette fonctionnalité permet la création de règles. La figure III-15-(c) montre le format d'introduction du libellé d'une règle. Dans ce cas particulier, les commandes de retour et d'appel d'aide ne peuvent pas être associées aux valeurs habituelles <0> et <a> puisque ces deux caractères peuvent être utilisés par l'opérateur pour écrire le libellé de la règle. L'ergonomie de l'interface est donc ici un compromis entre l'homogénéité de la présentation et les caractéristiques de la fonctionnalité.

Chaque entité entrée par l'opérateur est ensuite automatiquement contrôlée par l'interface, de telle manière qu'une règle ne puisse pas provoquer une erreur lors du traitement expert, suite à une faute d'inattention ou de manipulation pendant sa création : les formats d'introduction, par l'expert, du libellé et des variables sont testés. De même, chaque nom de procédure est comparé aux noms de celles déjà existantes dans les bibliothèques. Ainsi, lorsqu'une ou plusieurs procédures doivent être associées à la règle, par exemple "près-de" et "couleur-rouge", l'opérateur crée sa règle comme si les procédures étaient déjà créées. Ensuite, sur une autre page-écran, il a la possibilité de laisser, à l'informaticien chargé de la maintenance des règles, quelques instructions permettant de compléter les bibliothèques avec les nouvelles procédures LISP désirées et, donc, de rendre la règle opérationnelle, figure III-16-(a). Cette méthode permet à un expert seul de créer des règles, sans connaître le langage LISP. Le cognicien ou l'informaticien devra ensuite écrire les procédures en LISP, figure III-16-(c).

A chaque règle d'action, l'opérateur expert associe un "indice d'intérêt potentiel", compris entre 1 et 10. Cet indice permet de hiérarchiser l'importance des règles, et sera utilisé par le mécanisme d'inférence pour sélectionner la règle à appliquer parmi les règles candidates. De plus, toute règle se voit attribuer un commentaire ergonomique de justification, présenté à l'opérateur concepteur lors de l'inférence. La page-écran de la figure III-16-(a) illustre cette remarque.

Enfin, les fichiers relatifs à la "sous-base" sont mis à jour d'une manière transparente pour l'opérateur, suite à la création de la règle.

(a)

BASE 27	MENU MISE A JOUR
* EDITION DES ENTITES DE LA BASE	<1>
* TRAITEMENT SUR REGLE :	
- CREATION	<2>
- DESTRUCTION	<3>
- AJOUT DE LA COHERENCE	<4>
* EDITION D'UN FICHER DE LA BASE	<5>
* VISUALISATION / MISE A JOUR DES PROCEDURES	<6>
* RETOUR	<0>
CHOIX <0..6> REDESSINER-CADRE <7> AIDE <a> :	

(b)

BASE : 27	MENU EDITION
CONDITION 3	
; Elle teste si la largeur des caracteres d'un texte x1 est ; comprise entre 70% et 80% de sa hauteur.	
ordre	: 1
type	: monovariable
presence	: ra10 ra12
procedure	: largeur
EDITER UN OBJET <1..15> AIDE<a> RETOUR<0> :	

(c)

BASE : 27	CREATION D'UNE REGLE D'ACTION
NOMBRE DE CONDITIONS: 2	
NOMBRE DE SOUS BUTS: 1	
LIBELLE DE LA REGLE :	
si (pres-de x1 x2)	: condi
; et si (couleur-rouge	: condi
; et si	: s-but
; alors	
VALIDER UNE LIGNE <RETURN> QUITTER <ESC> AIDE <ctrl> :	

Figure III-15 : Exemples de pages écrans

- (a) : sélection d'une fonctionnalité de mise à jour des règles
- (b) : visualisation des caractéristiques d'un objet de la connaissance
- (c) : introduction du libellé d'une règle d'action

III.2.2.3 - LA DESTRUCTION D'UNE REGLE

Cette fonctionnalité autorise la destruction de règles de la base. Si la conclusion d'une règle est aussi la prémisse d'une autre règle, sa destruction est interdite par l'interface.

III.2.2.4 - L'AJOUT DE LA COHERENCE

Cette fonctionnalité permet d'associer à la partie "action", d'une règle d'action ou de cohérence, des règles de cohérence, définies dans le paragraphe II.2.2, permettant de sauvegarder l'environnement de l'image suite à la modification d'un objet graphique. Ces règles possédant le même format que les règles d'action doivent avoir été créées au préalable. Ainsi, ces règles de cohérence seront activables suite à l'activation de la règle d'action associée.

III.2.2.5 - L'EDITION D'UN FICHER DE LA BASE

Cette fonctionnalité autorise l'accès, par l'intermédiaire d'un éditeur pleine page, à chacun des fichiers de la "sous-base". Cet éditeur s'inspire de l'éditeur "pepe", écrit en LISP, fourni avec le système LE_LISP utilisé /CHAILLOUX, 1985/.

Cette fonctionnalité fournit à un opérateur expérimenté la possibilité d'effectuer des modifications d'attributs directement dans les fichiers.

III.2.2.6 - LA VISUALISATION/MISE A JOUR DES PROCEDURES

Cette fonctionnalité permet de visualiser et de mettre à jour les bibliothèques de procédures, définies dans le paragraphe II.2, figure III-7. Pour chaque type de procédure, deux types de fichiers, figure III-16-(c), peuvent être édités au moyen de l'éditeur pleine page cité dans le paragraphe précédent. Le premier type de fichier est plus spécialement réservé à l'expert, ou à tout opérateur non-

informaticien. Ce fichier fournit le nom et la description de chaque procédure existante.

Le second type de fichier est réservé à au cogniticien ou à l'informaticien chargé de mettre à jour les procédures. Ce fichier intègre les procédures écrites en LISP. Il possède un format prédéfini permettant sa lecture par le module de création de règle.

(a)

BASE 27		CREATION D'UNE REGLE D'ACTION	
CONDITION DE LA REGLE D'ACTION			
TYPE DE LA CONDITION :	monovariable	condition-type	: 1
VEUILLEZ COMMENTER LA CONDITION AFIN D'AIDER A LA CREATION, DANS UNE BIBLIOTHEQUE, DE LA PROCEDURE QUI LUI EST ASSOCIEE :			
COMMENTAIRE :	Cette condition teste si le texte		
	:		
	:		
	si (pres-de x1 x2) et si (couleur-rouge x1)		
	et si (couleur-bleu x2) alors (mauvais-contraste x1 x2)		
VALIDER UNE LIGNE <RETURN> QUITTER<ESC> AIDE<ctrl>A :			

(b)

BASE : 27		CREATION D'UNE REGLE D'ACTION	
ACTION DE LA REGLE D'ACTION			
TYPE	:	ACTION CONDUISANT A UNE MODIFICATION	
IIP	:	08	
COMMENTAIRE	:	UN OBJET DE COULEUR ROUGE PLACE A PROXIMI	

	si (pres-de x1 x2)		
	et si (couleur-rouge x1)		
	et si (couleur-bleu x2)		
	alors (mauvais-contraste x1 x2)		
VALIDER UNE LIGNE <RETURN> QUITTER <ESC> AIDE <ctrl>A :			

(c)

BASE : 27		PROCEDURES : ACTION	
FICHER - Liste des noms :		FICHER - Liste des procedures:	
* Fichier	: 01	* Fichier	: p01
*		*	
* Fichier	: 03	* Fichier	: p03
*		*	
* Fichier	: 05	* Fichier	: p05
*		*	
*		*	
*		*	
* Fichier	: 10	* Fichier	: p10
LECTURE/MISE-A-JOUR <01..015 ou p01..p015> SORTIE <0>			
AIDE <a> ...			

Figure III-16 : Exemples de pages écrans

- (a) : instructions de l'expert pour la création ultérieure de la procédure associée à une condition
- (b) : association d'un commentaire "ergonomique" à une règle
- (c) : sélection d'un fichier de procédures

III.3 - CONCLUSION SUR L'INTERFACE EXPERT

L'interface expert a été conçue de telle manière que l'importance soit donnée à la connaissance et non au format ou/et à la manière dont celle-ci est utilisée par SYNOP. Ainsi, cette interface décharge l'opérateur de tâches fastidieuses en évitant, par exemple, de lui faire écrire qu'une condition est utilisée également dans deux autres règles ou que "l'ordre" (nombre de variables concernées) de la règle concernée est de 3. De telles informations sont alors définies, calculées ou/et gérées automatiquement. Il est alors évident que seules de légères contraintes dans la sémantique proposée, contraintes doublées d'une gestion de la connaissance de chaque granule d'information rentré, permettent ce contrôle automatique.

III.3 - CONCEPTS ERGONOMIQUES AYANT GUIDE

LA CONCEPTION DES INTERFACES

La plupart des concepts énoncés dans le deuxième chapitre de ce mémoire s'appliquent à l'ergonomie des interfaces de SYNOP. La démarche adoptée ici consiste donc à commenter l'application éventuelle de ces concepts.

Comme dans le chapitre précédent, ces concepts sont partagés en deux catégories, les concepts "dynamiques" et les concepts "statiques".

III.3.1 - LES CONCEPTS "DYNAMIQUES"

Ce paragraphe explique les travaux visant à appliquer sur SYNOP les concepts ergonomiques "dynamiques" évoqués dans le chapitre précédent. Ils sont adaptés ici au cas particulier de conception d'une interface alphanumérique. Pour mémoire, ces concepts sont rappelés maintenant. Ils concernent successivement la pertinence de l'information, l'information permettant la prévision, le contrôle des entrées de l'opérateur, la prise en compte du degré d'expérience et de connaissance de l'opérateur, et, enfin, les temps de réponse de l'interface.

La pertinence de l'information : chaque page-écran est actuellement conçue de manière à ne présenter que l'information utile, relative au contexte d'utilisation de la fonctionnalité. Ainsi, toute information excédentaire ou jugée inutile pour

l'utilisateur est écartée. De même, les titres, phrases et commandes sont présentés de façon la plus concise possible afin d'être facilement interprétés par l'opérateur, et d'éviter au maximum l'emploi d'un langage informatique. Lorsque ce n'est pas possible, l'appel d'une page d'aide permet de renseigner l'utilisateur sur le terme ou le point jugé obscur.

L'information permettant la prévision : ce concept semble spécifique au contrôle de procédé. Cependant, il est intéressant de noter que lors de l'analyse globale des objets graphiques en vue de la sélection de "sous-bases" de connaissance (voir le paragraphe II-2), l'utilisateur visualise les thèmes d'évaluation sélectionnés progressivement par SYNOP, par exemple les messages clignotants, les barre-graphes puis les contrastes colorés. L'utilisateur peut ainsi prévoir les domaines d'étude de SYNOP et évaluer le temps global du traitement ergonomique. Il a alors le loisir d'accepter ou de refuser l'activation de chacune des sous-bases sélectionnées par SYNOP.

Le contrôle des entrées de l'opérateur : dans chacune des étapes des différents traitements de SYNOP, le contrôle des entrées de l'utilisateur est effectué de telle manière qu'une erreur de sa part ne puisse entraîner une erreur dans le raisonnement de SYNOP et un retour à l'environnement LISP. Chaque entrée est, en effet, associée à une gestion de sa cohérence.

La prise en compte du degré d'expérience et de connaissance de l'opérateur : des aides à l'opérateur sont actuellement disponibles lors de toutes les étapes des différents traitements de SYNOP. Ces aides se veulent les plus complètes possibles et tendent à contribuer à ce que SYNOP puisse être utilisable sans nécessiter de manuel d'utilisation. De plus, une extension des travaux actuels sur l'interface prévoit d'étudier la faisabilité d'aides prenant en compte le degré d'expérience et de connaissance de l'opérateur, et offrant plusieurs niveaux de consultation sélectionnables par l'opérateur.

Les temps de réponse de l'interface : l'utilisateur est toujours renseigné sur le traitement en cours par l'affichage du contexte de travail ou/et de l'indication de passage d'une étape à une autre lors d'un traitement important ou/et d'un message le priant de patienter lorsque le temps de réponse de l'interface est supérieur à quelques secondes. Par l'utilisation simultanée de ces techniques, l'opérateur perçoit donc en permanence de l'information.

III.3.2 - LES CONCEPTS "STATIQUES"

Pour mémoire, les concepts évoqués dans la deuxième partie du chapitre précédent sont rappelés. Ils concernent successivement le codage de l'information, l'organisation et la structuration de l'information, la simplification et l'allègement des vues, et, enfin, d'autres concepts et règles visant à faciliter la perception et l'interprétation de l'information.

Le codage de l'information : les informations présentées par l'interface utilisateur sont alphanumériques, en raison du terminal actuellement utilisé. Les points les plus importants concernant le codage de l'information sont les suivants. Chaque question posée à l'utilisateur est mise en valeur par inversion vidéo et chaque valeur de commande est représentée entre crochets. Par exemple, <0 .. 2> indique que les choix de l'opérateur sont : 0, 1 et 2. De plus, la commande <a> d'un menu est toujours associée à l'appel d'un ou plusieurs écrans d'aide, alors que la commande <0> est toujours associée à l'option de retour au menu hiérarchiquement supérieur.

L'organisation et la structuration de l'information : les points considérés dans cette partie sont le format d'écran et le format de présentation des données. Ainsi, le format d'écran consiste en trois zones principales /ASSE, 1985 ; MARRAKCHI, 1986 ; GRZESIAK, 1987/, figure III-17 : La zone 1 donne l'intitulé de la page-écran. La zone 2 est la zone de travail. Elle est destinée aux échanges d'informations avec l'opérateur lors de l'activation des différents modules de la chaîne logicielle. La zone 3 spécifie, pour le traitement considéré, les commandes admissibles et indique les éventuels messages d'erreurs à l'opérateur.

De même, lors de la définition du format de présentation des données sur les pages-écrans, une attention particulière a été portée de façon que chaque information (commande, donnée, titre, phrase explicative ...) soit bien différenciée des autres, et que la répartition des informations soit équilibrée à l'écran.

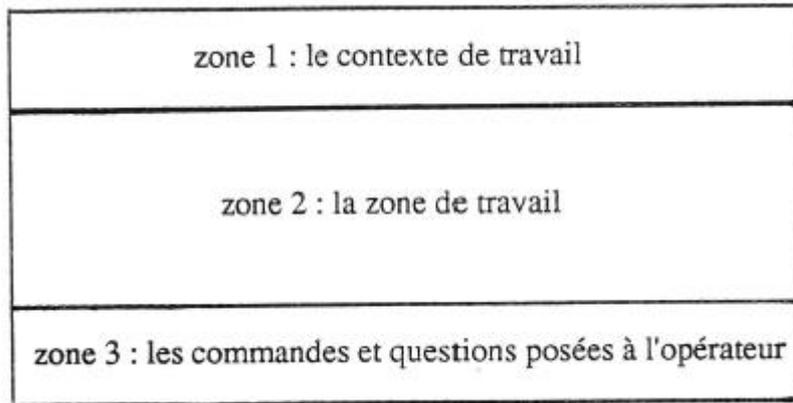


Figure III-17 : Le format d'écran adopté pour le dialogue homme-machine

La simplification et l'allègement des vues par la diminution de la densité d'information : les pages-écrans tendent à être simples, sans fioritures, allégées de toute information inutile. Des informations complémentaires sont éventuellement disponibles sur des pages d'aide.

Autres concepts et règles visant à faciliter la perception et l'interprétation de l'information : les caractéristiques des caractères utilisés répondent aux recommandations ergonomiques, proposées dans le paragraphe III.4.1 du chapitre précédent, concernant la hauteur ou l'espacement par exemple.

SYNOP offre un apport ergonomique à la conception d'interfaces graphiques homme-machine. Ses interfaces utilisateur se doivent donc de répondre aux principes d'ergonomie du logiciel. Dans ce but, chaque fonctionnalité est actuellement en cours d'évaluation et d'amélioration. Ce point sera étudié en détail dans le chapitre suivant.

IV - CONCLUSION

Ce chapitre a présenté le système expert SYNOP d'aide à l'évaluation "statique" de synoptiques industriels.

Après une description générale de la structure logicielle constituant le système expert, le module d'évaluation statique de vues graphiques a été détaillé. Le principe de celui-ci consiste en trois phases principales. La première phase permet l'interprétation des objets graphiques G.K.S. en vue de créer un réseau sémantique

d'objets structurés LISP. La seconde phase entraîne l'évaluation et l'amélioration de la vue selon des règles ergonomiques de présentation d'information. Enfin, la troisième phase reconstitue les fichiers relatifs à la vue traitée et fournit au concepteur des fichiers de recommandations concernant chaque vue traitée.

Les interfaces expert et utilisateur de SYNOP ont ensuite été présentées. Leur conception a tenté de prendre en compte les concepts et règles ergonomiques exposés dans le chapitre précédent. De plus, par souci d'homogénéité, l'interface expert utilise les mêmes conventions que l'interface utilisateur. Cette interface expert permet la mise à jour de la connaissance et ce, à deux niveaux. Le premier niveau permet la gestion des "sous-bases" de connaissance ou de métaconnaissance, alors que le second niveau entraîne la manipulation directe des règles d'une base.

Le chapitre suivant est consacré à l'élaboration, l'évaluation et la validation des différents modules constituant le système expert.

CHAPITRE IV :

ELABORATION ET VALIDATION DES BASES DE CONNAISSANCE DE SYNOP

INTRODUCTION

Le chapitre précédent a décrit le système expert SYNOP d'aide à l'évaluation statique de synoptiques industriels : sa structure logicielle, le principe d'évaluation statique d'une vue graphique, ainsi que les interfaces expert et utilisateur.

Afin d'améliorer l'ergonomie d'utilisation de SYNOP, il est nécessaire de faire évaluer, par des spécialistes en ergonomie du logiciel, chacune des fonctionnalités de ce système expert. Cette évaluation concerne les fonctionnalités facilitant la mise à jour des règles dans les bases, d'une part, et celles permettant l'évaluation d'une interface graphique, d'autre part. Ainsi, l'évaluation d'une fonctionnalité permet de vérifier que l'ergonomie de l'outil SYNOP s'adapte aux différentes tâches à accomplir par les utilisateurs finaux du système. Dans le cas contraire, une fonctionnalité "défaillante" d'un point de vue ergonomique doit être améliorée par le concepteur des interfaces de SYNOP.

De plus, ce système expert utilise, dans ses bases de connaissance, des règles ergonomiques de présentation graphique d'information. Une des difficultés rencontrées lors de ce projet est l'élaboration de ces bases. En effet, l'élaboration des bases nécessite une acquisition de connaissance en relation avec une expertise humaine ou/et bibliographique dans ce domaine. Cette acquisition débouche sur la formalisation de connaissances ergonomiques en règles de production exploitables par le moteur d'inférence. Ainsi, ces connaissances formalisées sont ensuite introduites dans les bases du système expert, à l'aide des fonctionnalités de l'interface expert.

Puis, dans un but de validation, il importe que chaque règle introduite dans les bases puisse être testée et affinée sur des exemples industriels réels ou simulés.

Ce chapitre explique la manière dont ces différents points sont actuellement résolus.

La première partie décrit l'évaluation par des ergonomes des interfaces expert et utilisateur de SYNOP. Cette évaluation débouche sur l'amélioration ergonomique des différentes fonctionnalités du système expert.

La seconde partie explique le processus adopté d'extraction des connaissances ergonomiques. Cette extraction a pour but l'élaboration progressive des bases de SYNOP.

Enfin, la dernière partie de ce chapitre présente un exemple d'application de SYNOP dans un contexte industriel réel. Cette application consiste en l'évaluation statique de l'interface opérateur /système expert d'aide à la décision, développée dans le cadre du Projet ALLIANCE.

I - L'EVALUATION ERGONOMIQUE DES INTERFACES EXPERT ET UTILISATEUR DE SYNOP

La méthodologie d'évaluation des interfaces expert et utilisateur de SYNOP consiste en une évaluation en dynamique de chaque fonctionnalité afin de vérifier si chaque page-écran répond aux besoins informationnels vis-à-vis de la tâche à accomplir.

Parallèlement, la présentation d'information de chaque page-écran est également étudiée. La phase d'évaluation "statique" des interfaces est donc ici directement imbriquée dans la phase d'évaluation "dynamique". Cette méthodologie est décrite plus précisément ci-après.

I.1 - LA METHODOLOGIE D'EVALUATION DES INTERFACES : L'EXPERIENCE DE L'ANALYSTE

La méthodologie d'évaluation de chacune des fonctionnalités des interfaces expert et utilisateur de SYNOP est basée sur "l'expérience de l'analyste", citée dans le paragraphe IV.3 du premier chapitre. Cette méthodologie repose sur le cycle décrit en figure IV-1.

Ainsi, chaque fonctionnalité est décomposée en plusieurs tâches, les plus proches possibles de celles qu'auront à accomplir les futurs utilisateurs. Par exemple, la fonctionnalité, proposée par l'interface expert, d'édition des entités de la connaissance est décomposée en une première tâche d'édition des conditions, puis en une seconde d'édition des règles, etc.

Ensuite, l'analyste effectue la tâche qu'il s'est définie, et, au cours des manipulations, il note ses observations. Puis, il les transmet sous forme de remarques et de propositions ergonomiques au concepteur chargé de l'amélioration des différentes fonctionnalités des interfaces de SYNOP.

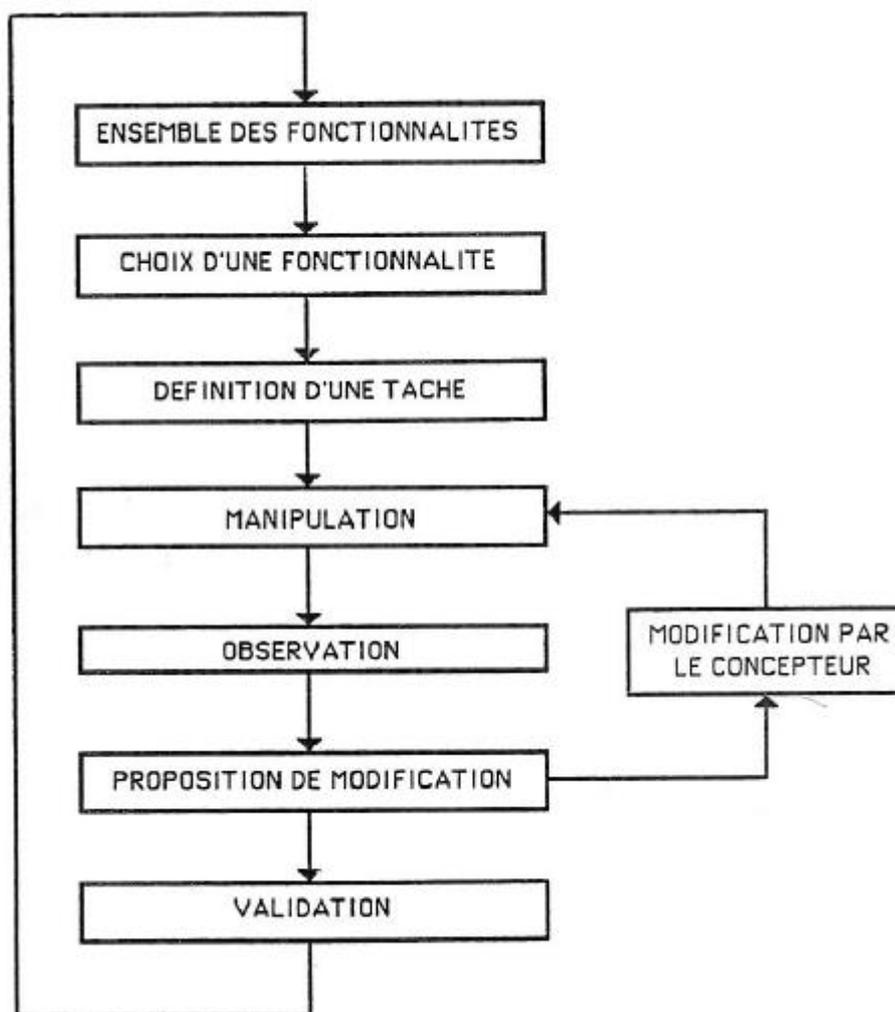


Figure IV-1 : Principe de la méthodologie d'évaluation dynamique d'une fonctionnalité des interfaces expert et utilisateur

I.2 - LES REMARQUES ET PROPOSITIONS DE L'ANALYSTE

Les remarques et propositions de l'analyste sont centralisées sur des fiches d'évaluation.

Un exemple de fiche est fourni en figure IV-2. Une fiche est constituée de deux parties : la partie supérieure de la fiche est réservée aux remarques et propositions de l'analyste alors que la partie inférieure est réservée au concepteur.

Cette dernière partie est accompagnée d'un tableau indiquant si la proposition est en cours d'application par le concepteur, sera mise en application prochainement, est envisageable mais pas dans l'immédiat, éventuellement parce que l'amélioration d'autres fonctionnalités est plus prioritaire que celle de la

fonctionnalité considérée, ou n'a pas été retenue, suite à une impossibilité matérielle ou logicielle par exemple /COLIN, 1988/.

La proposition est alors considérée "entièrement" ou "partiellement". En effet, certaines propositions peuvent, par exemple, être en cours d'application "partiellement" et être mises en application "entièrement" prochainement. De plus, chaque tableau est accompagné d'un commentaire du concepteur justifiant sa réponse.

EVALUATION DE L'OUTIL SYNOP				
Partie réservée à l'analyste				
DATE : 27 / 08 / 88				
FONCTIONNALITE TESTEE : Expertise sur un synoptique				
REMARQUE OU PROPOSITION D'AMELIORATION :				
Le terme "ARRET" est employé pour signifier : "retour au menu global". Indiquer à la place de "ARRET", "RETOUR MENU GLOBAL". Il faut utiliser un vocabulaire adapté à la fonctionnalité.				
Partie réservée au concepteur :				
DATE : 01 / 09 / 88				
	modification en cours	sera faite	envisageable	non retenue
Entièrement		X		
Partiellement				
COMMENTAIRE : En effet. Dans la version précédente, "ARRET" permettait de sortir de SYNOP après une expertise sur un synoptique.				

Figure IV-2 : Exemple de fiche d'évaluation des fonctionnalités de l'outil SYNOP

I.3 - CONCLUSION SUR L'EVALUATION DES INTERFACES

L'évaluation dynamique des fonctionnalités des interfaces a été, pour l'instant, effectuée par deux ergonomes.

Cette évaluation permet actuellement l'amélioration des interfaces expert et utilisateur de SYNOP, selon les concepts "dynamiques", mais également "statiques" exposés dans le deuxième chapitre de ce mémoire. Cette amélioration progressive est facilitée par l'utilisation des fiches permettant au concepteur d'organiser ses travaux et de garder une trace de chaque correction.

L'évaluation de l'outil SYNOP se rapporte ici essentiellement aux interfaces expert et utilisateur. L'évaluation des règles ergonomiques, quant à elle, est intégrée dans une démarche d'élaboration des bases décrite dans le paragraphe suivant.

II - L'EXTRACTION DES CONNAISSANCES ERGONOMIQUES

EN VUE DE L'ELABORATION DES BASES DE SYNOP

Acquérir les connaissances qui composent le savoir-faire d'un expert, et les structurer dans une forme exploitable par une machine, constitue le processus d'extraction des connaissances /NASSIET, 1987/. D'après NASSIET, en l'absence actuellement d'outils d'extraction automatique de connaissances, ce processus est rendu extrêmement laborieux. Pourtant, l'intégration des connaissances ergonomiques dans les bases de SYNOP constitue une étape essentielle dans la réalisation de ce système expert.

Dans ce but, une démarche générale d'élaboration des bases, inspirée de /HAYES-ROTH, WATERMAN, LENAT, 1983/ et /HOURIEZ, BENKIRANE, DUMAS, 1988/, a été adoptée.

Celle-ci se décompose en quatre étapes liées entre elles, figure IV-3 :

- "l'identification du domaine" permet au cognicien d'acquérir une compétence de dialogue avec les experts.
- "la formalisation des connaissances" débouche sur l'énoncé de règles exploitables par SYNOP.

- "la mise en œuvre des connaissances" a pour but de rentrer les règles dans les bases du système expert.
- Enfin, "la validation des connaissances" est réalisée à partir d'exemples industriels de vues graphiques.

Ces quatre étapes sont maintenant successivement présentées.

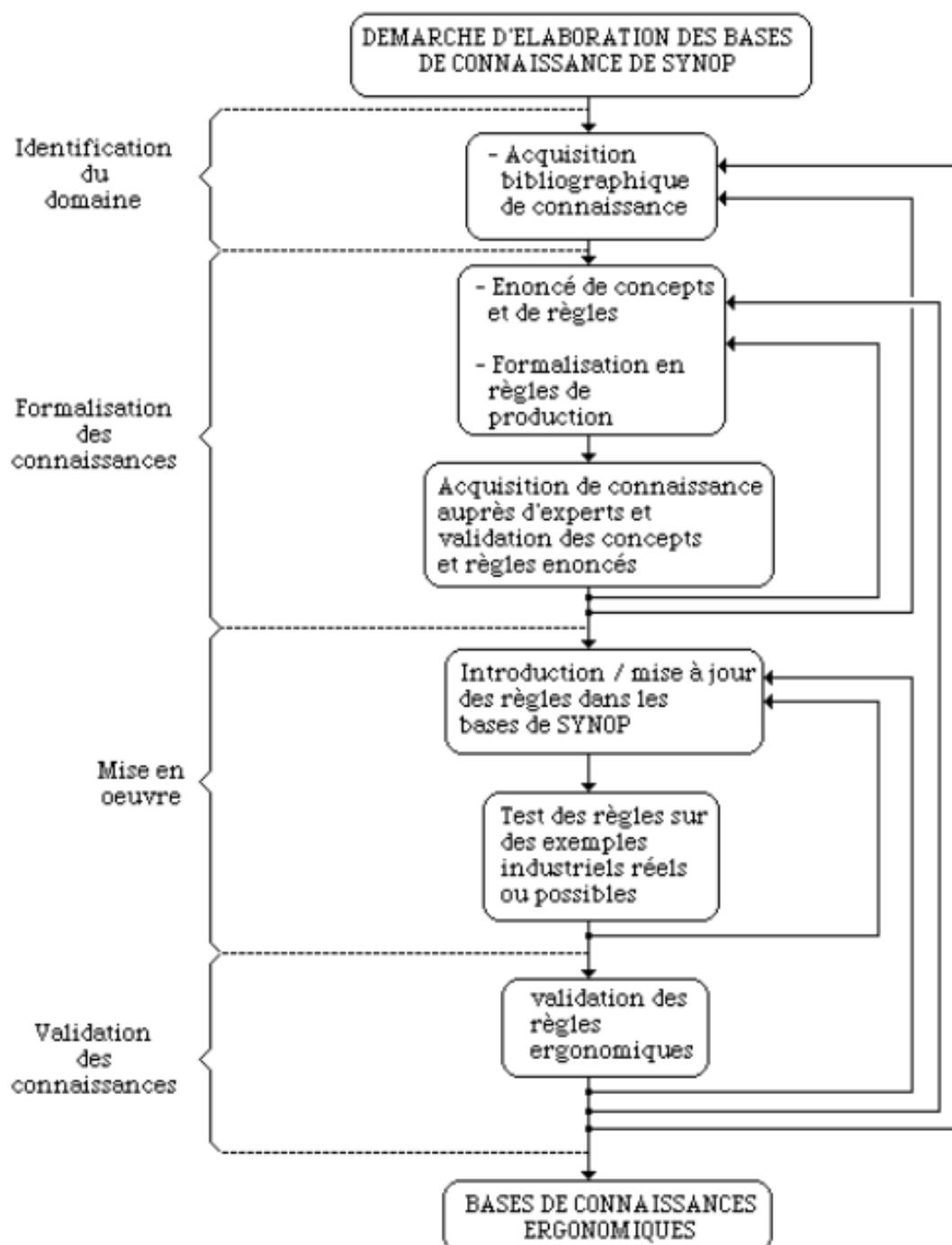


Figure IV-3 : Démarche d'élaboration des bases de connaissance de SYNOP

II.1 - L'IDENTIFICATION DU DOMAINE

L'identification du domaine permet d'acquérir un niveau de compétence de dialogue avec les experts dans le domaine de l'ergonomie de conception d'interfaces graphiques homme-machine. Elle commence par une acquisition bibliographique de connaissance, figure IV-3, dont les sources sont multiples. En effet, celles-ci comprennent les revues spécialisées en ergonomie et en communication homme-machine, des articles de synthèse dans les actes de congrès, présentant des travaux d'évaluation et de conception d'interfaces, mais également des guides d'ergonomie du logiciel ou des précis d'ergonomie en général. Ces sources englobent également des guides de conception de salles de contrôle, des thèses, rapports de travaux, recueils de normes dans ce domaine, etc.

L'identification du domaine ergonomique nécessite également l'étude d'interfaces graphiques homme-machine développées en industrie ou en laboratoire. Cette étude permet de se familiariser avec les différents modes existants de présentation d'information.

Ainsi, l'identification du domaine permet également l'énoncé de premiers concepts et règles en vue d'une deuxième étape de formalisation des connaissances.

II.2 - LA FORMALISATION DES CONNAISSANCES

La formalisation des connaissances ergonomiques consiste en l'énoncé de concepts et de règles de présentation graphique d'information et en la formalisation de ceux-ci en règles de production, figure IV-3.

Des concepts et règles issus de l'étape d'identification du domaine sont d'abord proposés à des experts lors d'interviews.

L'interview /MAHE, VESOUL, 1987 ; NASSIET, 1987 ; OLSON, 1987 ; DUMAS, 1988/ est la méthode la plus communément employée pour l'extraction des connaissances d'un expert. Durant la conversation, l'expert est amené à révéler les objets du domaine étudié, à indiquer la manière dont ils sont organisés et à expliquer les procédés utilisés pour résoudre un problème ou arriver à une solution /OLSON, 1987/.

Il existe des fils conducteurs simples pour réaliser des interviews efficaces tels que s'assurer de la coopération de l'expert, poser des questions d'ordre général

au début puis restreindre le champ d'étude à certains domaines au fur et à mesure que l'interview progresse, ou encore ne pas imposer ses opinions personnelles à l'expert /OLSON, 1987 ; DUMAS, 1988/. Cependant plusieurs problèmes liés à l'acquisition de la connaissance auprès des experts doivent être considérés. Ces problèmes sont de natures diverses :

- La connaissance experte est répartie. En effet, des spécialistes peuvent détenir chacun une expertise partielle qu'il est souvent intéressant de regrouper /HARMON, 1984 cité dans BOY, FALLER, SALLANTIN, 1988/. Par exemple, les experts côtoyés lors du projet SYNOP, et venant d'horizons différents, utilisent des démarches de conception différentes, parfois même contradictoires. Il importe alors de trouver un compromis entre ces démarches lors de la formalisation des règles ergonomiques. En effet, la connaissance peut être subjective. Chaque expert s'est construit un certain savoir-faire qu'il utilise "parce que cela marche" /BOY, FALLER, SALLANTIN, 1988/. Cependant, bien qu'une méthode puisse fournir d'excellents résultats pour certaines applications, elle n'est peut-être pas optimale pour d'autres.
- Il peut exister une différence entre la façon dont un expert délivre ses connaissances et celle dont le cogniticien les utilise dans le système expert. Ce problème est appelé "le décalage de représentation" et dans ce cas, le système expert présente une image décalée de l'extrême richesse de l'expertise humaine /HAYES-ROTH, WATERMAN, LENAT, 1983 ; NASSIET, 1987/. En effet, il existe dans SYNOP des règles imprécises, conduisant simplement à des recommandations ergonomiques au concepteur. Par exemple, le système expert est actuellement incapable d'évaluer avec exactitude si une vue comporte trop de variables animées. C'est à partir du dépassement d'un seuil, tel 12 variables, qu'il infère la règle concernée. Cependant, comme nous l'avons signalé en III.3.2 dans le deuxième chapitre, chaque vue est un cas particulier. Ainsi, un expert aurait peut-être, selon la vue évaluée, proposé 5, 8, 12 ou même 15 variables.
- La connaissance ergonomique est souvent compilée suivant des concepts généraux qu'il faut alors redécomposer en règles de production /KOLSKI, BINOT, MILLOT, ROGER, 1988/. Un exemple typique est le concept suivant : "*Une vue doit être claire*". Ainsi, ce concept est trop général pour être introduit sous forme de règle dans une "sous-base" de SYNOP.

Cependant, ce concept résume de nombreuses règles plus concrètes permettant d'améliorer la présentation des informations, d'alléger, de simplifier une vue, donc de rendre celle-ci plus "claire". Ces règles concernent par exemple la lisibilité des caractères ou le format de présentation de l'écran.

Mais, ces interviews permettent la validation de ces concepts et règles, ainsi que l'énoncé d'autres concepts et règles. De plus, cette étape peut ramener le cognicien à l'étape d'identification du domaine lorsque de nouveaux thèmes ergonomiques sont abordés.

Les concepts et règles formalisés en règles de production peuvent ensuite être introduits dans les bases de connaissance de SYNOP, lors d'une troisième phase de mise en œuvre des connaissances.

II.3 - LA MISE EN OEUVRE DES CONNAISSANCES

La mise en œuvre des connaissances ergonomiques consiste en l'introduction ou en la mise à jour des règles de production, délivrées lors de l'étape précédente, dans les "sous-bases" de connaissance ou de méta-connaissance. Les connaissances sont alors implémentées selon le formalisme, présenté dans le chapitre précédent, exploitable par le moteur d'inférence de SYNOP et ce, par l'intermédiaire de l'interface expert.

Puis, chaque règle est testée à partir d'exemples industriels réels ou simulés, figure IV-3. Les résultats obtenus lors de la mise en œuvre des connaissances doivent ensuite être validés par les experts, lors de la quatrième étape de la démarche d'élaboration des bases de connaissance.

II.4 - LA VALIDATION DES CONNAISSANCES

La validation implique l'évaluation par l'expert des connaissances existantes dans les bases d'une part, des formalismes de représentation de ces connaissances, d'autre part.

Il importe alors que l'expert puisse apprécier l'efficacité de l'outil expert, à l'aide d'un jeu de tests réalisés sur des exemples de vues graphiques industrielles

réelles ou simulées. Cette évaluation est destinée à révéler les éventuelles faiblesses du système, ainsi que les erreurs de raisonnement.

Ainsi, chacune des règles existantes dans les "sous-bases" de connaissance ou de métaconnaissance est testée à partir de vues graphiques réalisées spécifiquement pour cette étape de validation. Ces vues graphiques comprennent des erreurs de conception commises intentionnellement afin de juger de l'efficacité de la règle testée. Par exemple, les règles améliorant la présentation des textes sont testées et validées à partir de vues graphiques comportant des textes ne répondant pas aux recommandations proposées dans le tableau II-2 du second chapitre.

La validation des connaissances peut avoir plusieurs conséquences. Dans le cas le plus favorable, elle conduit à l'adoption des règles et des formalismes adoptés. Sinon, elle entraîne la correction ou l'affinage des règles par leur mise à jour dans les bases. Elle peut également déboucher sur l'énoncé de nouveaux concepts et règles ou, dans le cas extrême, conduire l'expert à aborder de nouveaux thèmes ergonomiques ramenant le cognitif à la première étape d'identification du domaine, figure IV-3.

Les règles existantes ont été utilisées lors de l'évaluation "statique" d'interfaces homme-machine dans plusieurs contextes industriels réels ou simulés. Un exemple d'application est présenté dans le paragraphe suivant.

III - LA CONTRIBUTION DE SYNOP A L'EVALUATION

STATIQUE D'UNE INTERFACE OPERATEUR/SYSTEME

D'AIDE A LA DECISION

SYNOP a été utilisé lors de l'évaluation "statique" de l'interface graphique entre les opérateurs et un système d'aide à la décision, gérant les alarmes, et utilisant les techniques de l'intelligence artificielle. Cette interface est développée dans le cadre du Projet ALLIANCE /TABORIN, MILLOT, 1986 et 1988a/.

Ce projet a pour support une station d'Essais Technologique de Cadarache, dont le rôle est de simuler une centrale, et a pour objectif la réalisation d'un système expert temps réel de traitement des alarmes. Ce projet réunit plusieurs partenaires industriels et laboratoires. La contribution du L.A.I.H. au projet concerne la définition et la réalisation de l'interface homme-système d'aide à la décision.

Cette interface doit être capable d'apporter une aide à l'opérateur durant les deux situations de fonctionnement possibles du procédé : normal et anormal, et de lui fournir des informations lui permettant de prévoir l'état du procédé. Des vues spécifiques ont donc été réalisées en fonction des besoins informationnels de l'opérateur dans chacune de ces deux situations /TABORIN, 1989/. Le principe de ces vues spécifiques est décrit ci-dessous.

III.1 - LES DIFFERENTS TYPES DE VUES CONSTITUANT

L'INTERFACE

L'interface est constituée essentiellement de trois types de vues, dénommées respectivement "ETOILE", "PROPAGATION" et "COURBE".

La vue de type "ETOILE" utilise un affichage par déformation. Cette vue permet à l'opérateur d'effectuer une tâche de surveillance sur un ensemble restreint de variables, les plus significatives de l'état de fonctionnement du procédé. La vue "ETOILE" comprend la consigne et les six seuils d'alarme de chaque variable, disposés respectivement sur sept rayons régulièrement espacés. La valeur de chaque variable est représentée par un point sur le rayon dont la position est modifiée en temps réel en fonction de l'évolution temporelle de l'amplitude de la variable, figure IV-4-(a). La vue "ETOILE" permet à l'opérateur la détection précoce d'un défaut, par l'affichage de l'état prévu de ces variables significatives.

La vue de type "PROPAGATION" présente à l'opérateur le diagnostic du défaut. Sur un synoptique simplifié de l'installation sont affichées les variables du procédé impliquées dans le défaut, figure IV-5-(a). Ces variables sont reliées entre elles par des arcs orientés symbolisant la propagation du défaut depuis son origine jusqu'aux variables concernées par des conseils de prévention fournis par le système expert. Ces conseils sont affichés dans une fenêtre de l'écran, figure IV-7.

Enfin, la vue de type "COURBE" affiche trois variables au maximum, parmi les plus significatives de la prédiction faite par le système expert. Chaque variable est représentée par trois courbes : l'historique de la variable, la courbe de prédiction qui représente l'évolution prédite de la variable, et, enfin, une courbe de suivi qui correspond à l'évolution réelle de la variable entre deux prédictions, figure IV-6-(a). Cette dernière courbe permet à l'opérateur de comparer l'évolution réelle de la variable avec l'évolution prédite.

L'évaluation par SYNOP de ces trois types de vues est expliquée dans le paragraphe suivant.

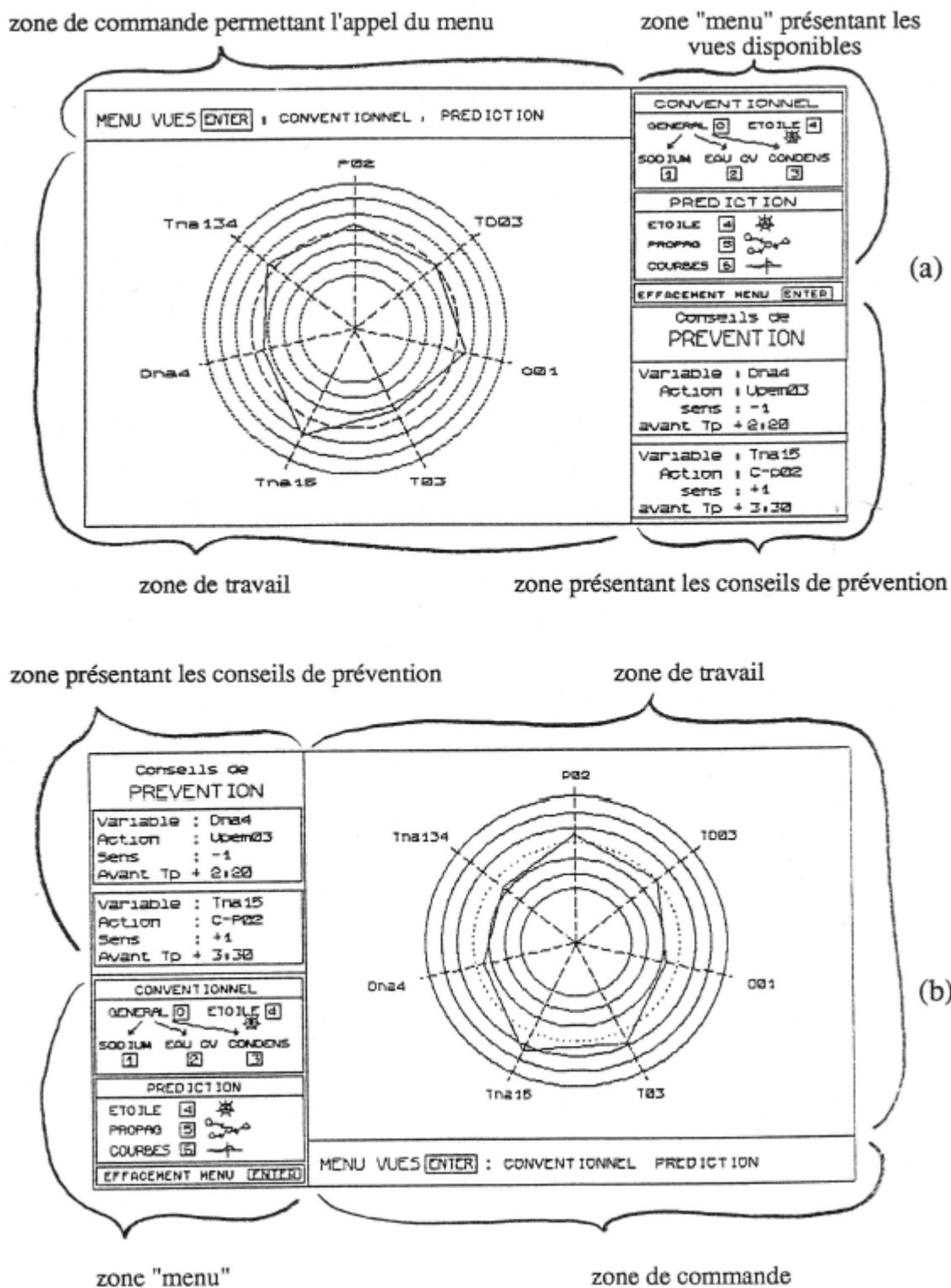
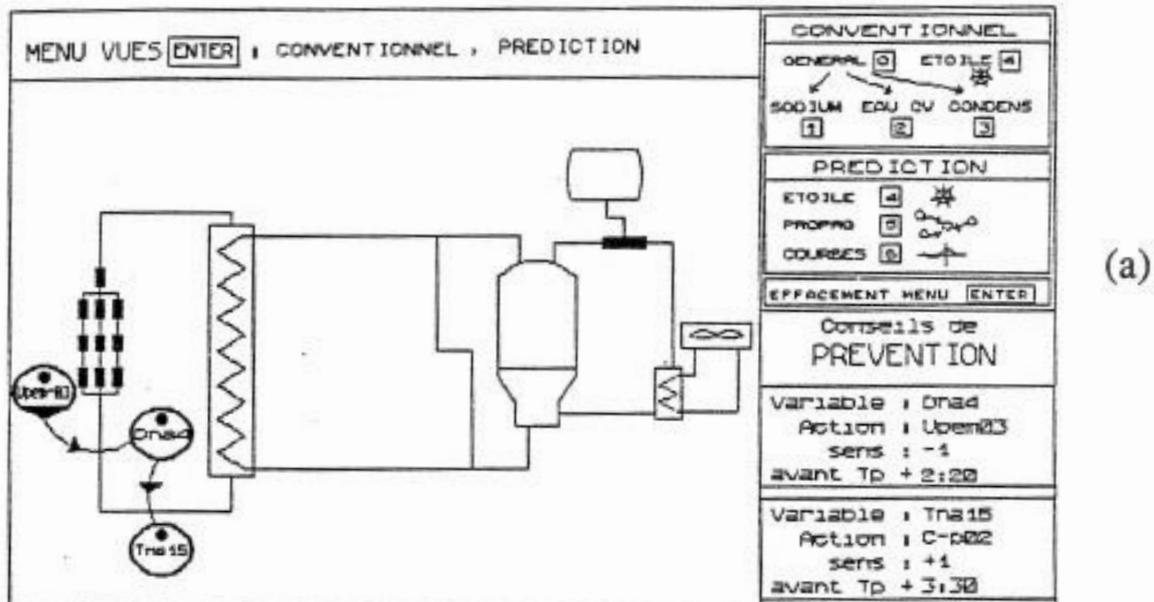


Figure IV-4 : Vue "ETOILE"

(a) : avant le traitement par SYNOP, (b) : après le traitement par SYNOP



simplification du synoptique

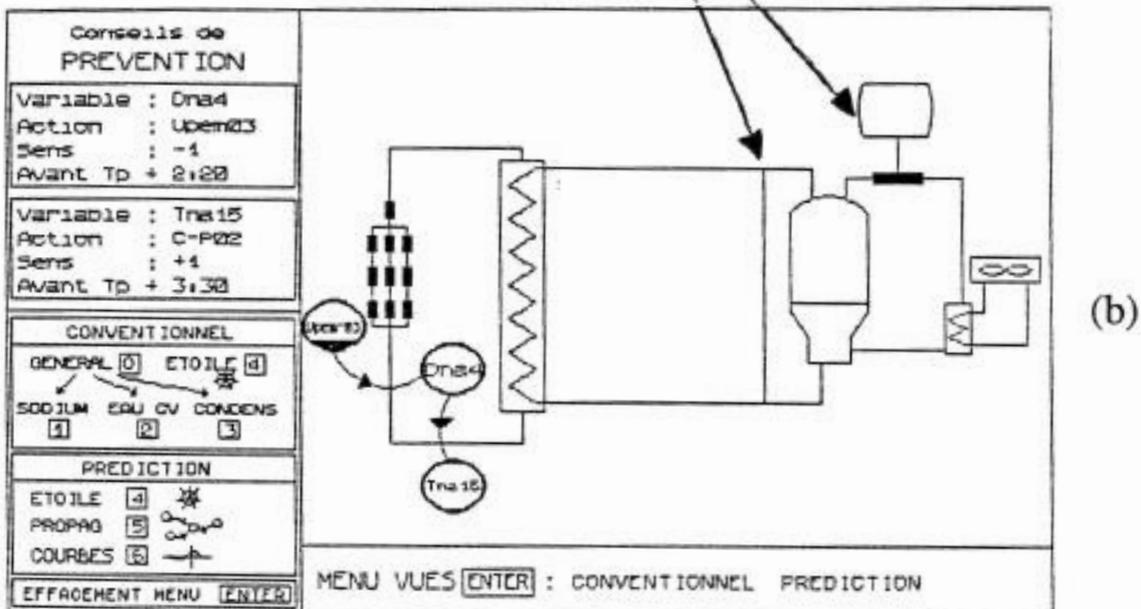


Figure IV-5 : Vue "PROPAGATION"

(a) : avant le traitement par SYNOP, (b) : après le traitement par SYNOP

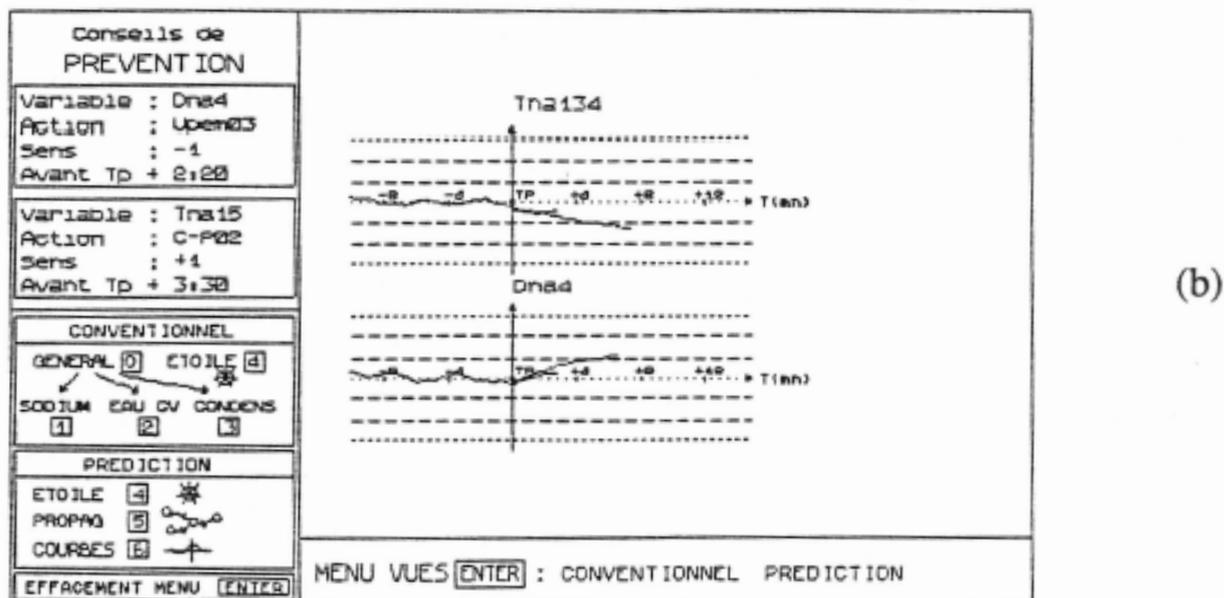
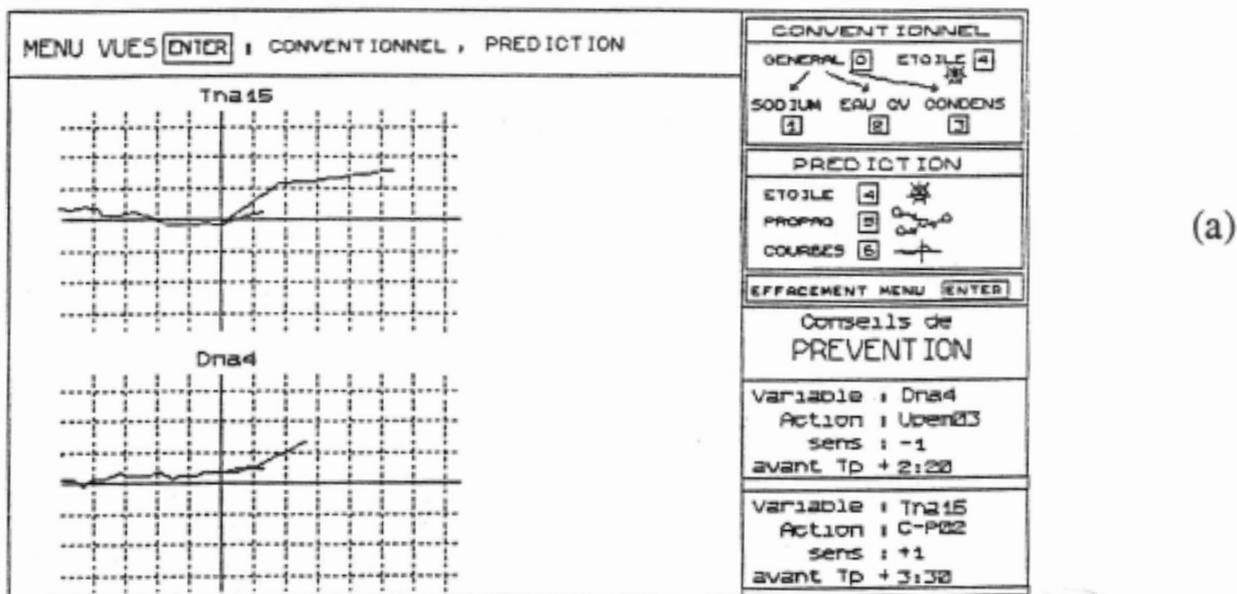


Figure IV-6 : Vue "COURBE"

(a) : avant le traitement par SYNOP, (b) : après le traitement par SYNOP

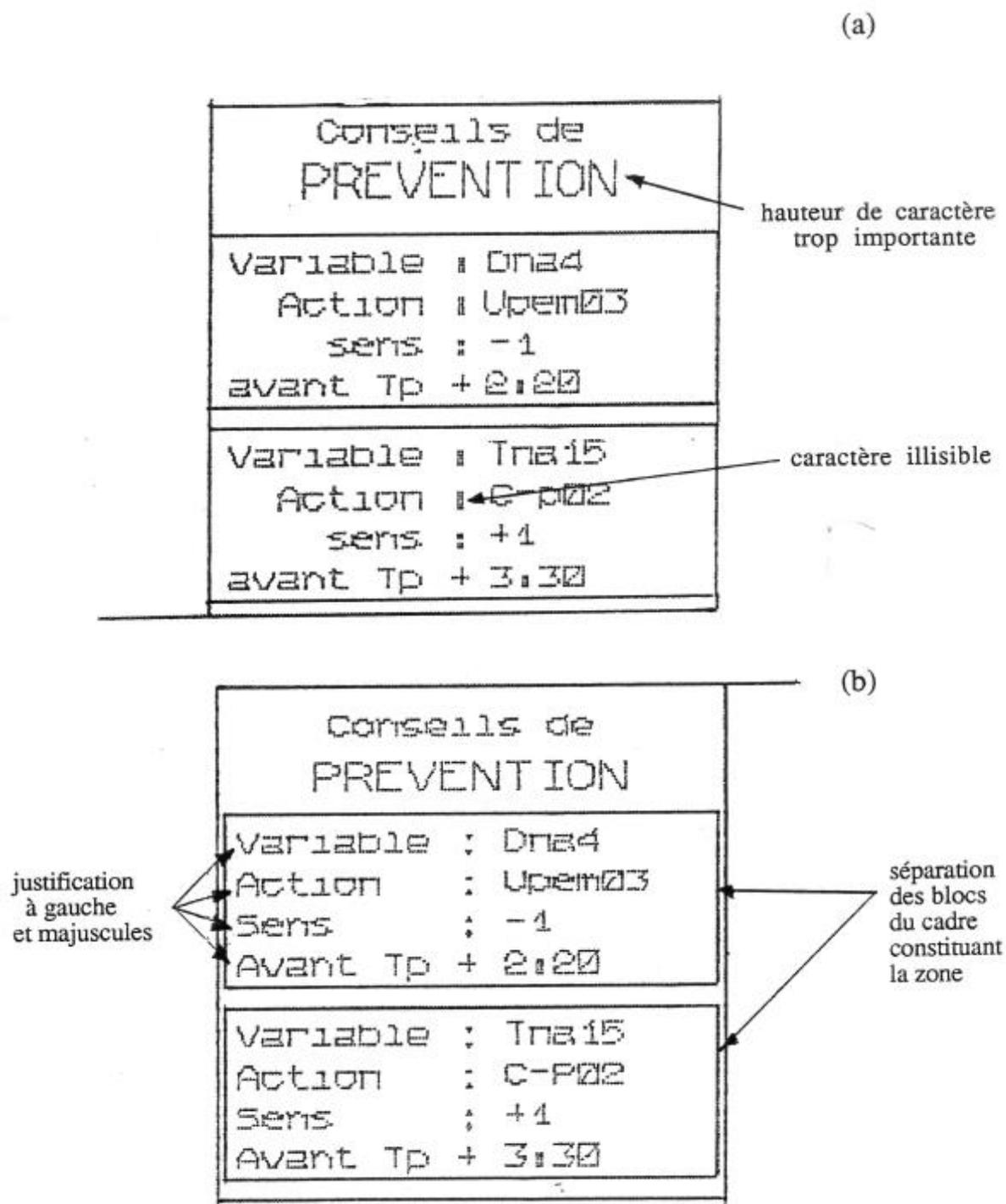


Figure IV-7 : "Zoom" de la zone présentant les conseils de prévention
(a) : avant le traitement par SYNOP, (b) : après le traitement par SYNOP

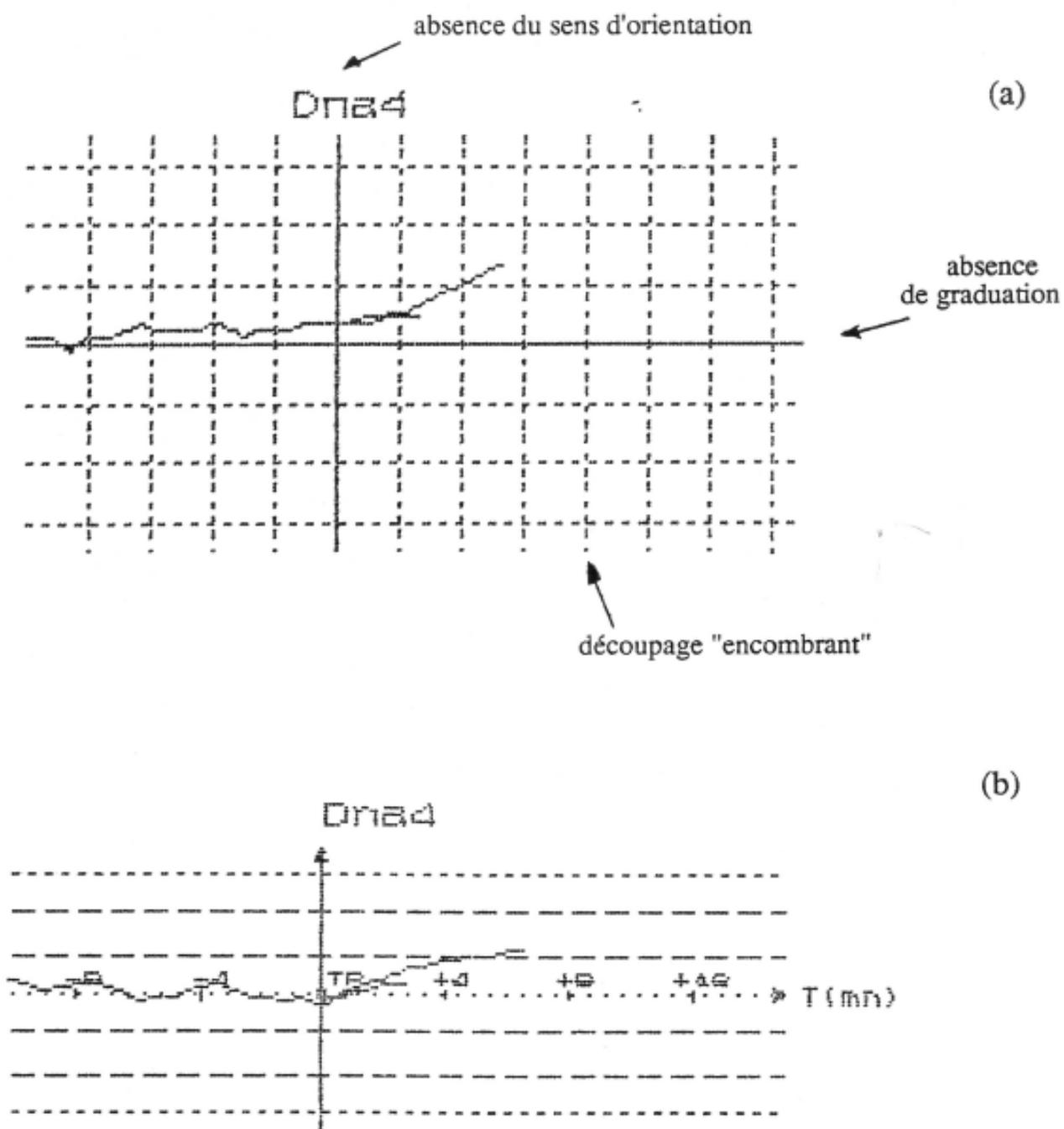


Figure IV-8 : "Zoom" du support de présentation des courbes
(a) : avant le traitement par SYNOP, (b) : après le traitement par SYNOP

III.2 - L'EVALUATION DES VUES PAR SYNOP

La connaissance ergonomique, implémentée dans les bases de SYNOP et utilisée pour l'évaluation de ces vues, se partage en deux parties /KOLSKI, VAN DAELE, MILLOT, DE KEYSER, 1988 ; MOUSSA, 1988/ :

- des connaissances générales utilisables pour l'évaluation de la plupart des applications graphiques. Celles-ci constituent la base de l'ergonomie de présentation d'information à l'écran et comprend par exemple des règles sur la taille des caractères, sur l'emplacement des zones stratégiques sur l'écran ou le choix des couleurs pour favoriser des "bons" contrastes.
- des connaissances spécifiques à des applications industrielles particulières, où le sens et l'utilisation d'une fonction animée peuvent différer d'une application à une autre : par exemple, pour l'application ALLIANCE, l'utilisation de la couleur jaune pour chaque variable correspondant à l'état prévu du procédé.

De plus, chaque connaissance mise en œuvre peut être associée à des connaissances "de bon sens" assurant la cohérence de l'image en cas de modification graphique d'un objet.

Différentes règles utilisées par SYNOP sont expliquées ci-dessous. Elles expriment des connaissances ergonomiques "statiques" proposées dans le deuxième chapitre de ce mémoire. Ces connaissances sont donc relatives :

- au codage de l'information,
- à l'organisation et à la structuration de l'information,
- à la simplification et à l'allègement des vues,
- à la perception et l'interprétation de l'information.

III.2.1 - LES REGLES CONCERNANT LE CODAGE DE L'INFORMATION

Ces règles ont essentiellement trait au codage coloré.

En effet, pour cette application, la couleur jaune est utilisée pour représenter l'état actuel (appelé également : l'état conventionnel) des variables, alors que la couleur verte sert à afficher les valeurs prédites de ces variables. Le rôle des valeurs prédites est de prévenir l'opérateur lors de l'apparition de défauts du procédé, il est donc plus judicieux d'utiliser la couleur jaune pour celles-ci. Selon ce critère, SYNOP a effectué les changements de couleur de chacune des variables du procédé.

Ainsi, les règles utilisées ici peuvent être considérées comme des règles spécifiques à l'application ALLIANCE.

III.2.2 - LES REGLES D'AIDE A L'ORGANISATION ET A LA STRUCTURATION DE L'INFORMATION

Ces règles concernent respectivement le format d'écran et le format de présentation des données.

III.2.2.1 - LE FORMAT D'ECRAN

Le traitement de SYNOP a conduit à la restructuration des quatre zones de l'écran. Ces quatre zones (commande, menu, de travail et de conseils de prévention) sont présentées en figure IV-4-(a).

La zone de commande, qui ne présente pas des informations essentielles, était initialement placée en haut de l'écran, dans la partie la plus scrutée par un opérateur. De plus, la zone stratégiquement la plus importante, celle présentant les conseils de prévention, était initialement placée en bas à droite, dans la partie de l'écran la moins scrutée.

Afin de respecter la hiérarchie des zones scrutée par l'opérateur humain, SYNOP a préconisé la structuration que décrit la figure IV-4-(b).

III.2.2.2 - LE FORMAT DE PRESENTATION DES DONNEES

Les quatre textes : "Variable", "Action", "sens" et "avant Tp" figurant dans la zone de prévention, figure IV-7-(a), ont été automatiquement justifiés à gauche.

De plus, une règle a permis de les faire commencer tous les quatre par une majuscule, figure IV-7-(b).

Ces quatre textes correspondant à une variable du processus sont centralisés dans un bloc de données. Afin de distinguer l'intégration de ce bloc dans la zone des conseils de prévention, SYNOP a diminué la taille du bloc. Celui-ci est maintenant séparé sans ambiguïté par des lignes délimitant la zone de conseils, figure IV-7-(b).

III.2.3 - LES REGLES VISANT A SIMPLIFIER ET ALLEGER

LES VUES

Une règle de recommandation a conseillé au concepteur de simplifier la vue "PROPAGATION", figure IV-5-(a). L'activation de celle-ci a donc entraîné deux modifications de sa part, visibles sur la figure IV-5-(b). Ainsi, le concepteur a supprimé deux cassures inutiles pour représenter le procédé.

De même, pour la vue "COURBE", cette règle a débouché sur la simplification du support de présentation des courbes, figures IV-8-(a) et (b). En effet, le concepteur a supprimé le découpage vertical de celui-ci.

III.2.4 - LES REGLES VISANT A FACILITER LA

PERCEPTION ET L'INTERPRETATION DE

L'INFORMATION

Deux thèmes sont traités dans cette partie. Le premier est relatif à la lisibilité des caractères, alors que le second concerne les règles spécifiques aux fonctions de type courbe.

III.2.4.1 - LA LISIBILITE DES CARACTERES

Les caractères, de hauteur inférieure à 4 mm, ont été amenés à cette hauteur ergonomique minimale, correspondant à une distance entre l'opérateur et l'écran de moins de 0,5 m. Parallèlement à cette spécification, chaque texte, de hauteur

supérieure à 8 mm, a été ramené à cette hauteur ergonomique définie comme maximale, afin de ne pas trop mettre en évidence l'entité informationnelle considérée, au détriment d'autres fonctions animées de la vue, figure IV-7-(a).

De plus, chaque largeur de caractère extérieure à l'intervalle ergonomique (50% hauteur, 70% hauteur) a été ramenée automatiquement à 70% de la hauteur. De même, SYNOP a conseillé un espacement entre caractères avoisinant 30% de la hauteur.

A ces règles s'ajoute une règle spécifique à l'éditeur graphique IMAGIN. En effet, le caractère " : ", délivré par l'éditeur, était illisible, les deux points formant le caractère étant trop rapprochés l'un de l'autre. Cette spécification énoncée par SYNOP a entraîné le concepteur à remplacer ce caractère par deux points graphiques plus éloignés, figures IV-7-(a) et (b).

III.2.4.2 - LES REGLES SPECIFIQUES AUX FONCTIONS

DE TYPE 'COURBE

Sur chaque support de présentation des courbes, SYNOP a détecté les absences des sens d'orientation et des graduations sur les axes, figure IV-8-(a). Le traitement du système expert a alors entraîné l'amélioration, en conséquence, de ces supports, par le concepteur, figure IV-8-(b).

III.3 - CONCLUSION SUR CETTE APPLICATION

INDUSTRIELLE DE SYNOP

Les règles les plus significatives, utilisées lors cette application industrielle de SYNOP, viennent d'être décrites. Lors du traitement expert, de nombreuses modifications ergonomiques ont été effectuées automatiquement par le système expert, déchargeant ainsi le concepteur du synoptique, des tâches de correction souvent fastidieuses. Quant aux corrections restant à effectuer, et correspondant aux recommandations fournies par SYNOP, elles ont pu être réalisées à l'aide de l'éditeur graphique.

Comme nous l'avons souligné au paragraphe IV-2, les règles ergonomiques mises en œuvre pour cette application sont soit générales, soit spécifiques. Les

règles générales pourront être utilisées lors de l'évaluation d'autres interfaces graphiques homme-machine. Les règles spécifiques, quant à elles, pourront être réutilisées ultérieurement, selon l'évolution du projet ALLIANCE, pour évaluer des vues nouvelles qui pourraient être développées /TABORIN, MILLOT, 1988b/.

Après cette évaluation statique de l'interface développée lors du projet ALLIANCE, une étape complémentaire d'évaluation dynamique des images, en condition réelle d'exploitation, est en cours de réalisation, sur le site de Cadarache.

IV - CONCLUSION

La première partie de ce chapitre a décrit l'évaluation ergonomique des interfaces expert et utilisateur de SYNOP. Cette évaluation a été effectuée par deux ergonomes. Elle a débouché sur l'amélioration de toutes les fonctionnalités du système expert, ainsi que sur la définition et la réalisation de nouvelles fonctionnalités.

La seconde partie fut relative à la démarche adoptée pour l'élaboration des bases de connaissances ergonomiques. Cette démarche se décompose en quatre étapes liées entre elles. Celles-ci correspondent à l'identification du domaine, la formalisation des connaissances, leur mise en œuvre dans les bases de SYNOP et, enfin, leur validation par des experts de ce domaine. Cette démarche permet une élaboration progressive des bases du système expert.

La troisième partie de ce chapitre était consacrée à la description d'une application de SYNOP dans un contexte industriel. En effet, le système expert a contribué à la conception de l'interface "opérateur/système d'aide à la décision" développée dans le cadre du projet ALLIANCE. Les nombreuses règles inférées lors du traitement expert ont débouché sur l'amélioration ergonomique de toutes les vues constituant l'interface. De plus, les modifications effectuées par SYNOP ont permis de décharger l'opérateur de conception de certaines tâches de correction fastidieuses.

Les premiers résultats obtenus par l'outil SYNOP sont très encourageants. Bien entendu, de nombreuses règles ergonomiques doivent encore être introduites dans les bases, afin que le système expert puisse être appliqué sur la plupart des types d'interfaces graphiques existants. A cet égard, des travaux en relation avec

RENAULT sont actuellement menés en vue de la conception ergonomique des images embarquées dans les automobiles /KOLSKI, 1988/.

De plus, l'évolution de ce projet tend vers un outil permettant l'édition de vues graphiques. Cet éditeur est intégré dans une nouvelle démarche de conception proposée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE V :

PERSPECTIVES D'EVOLUTION DE SYNOP VERS UN OUTIL DE CONCEPTION ERGONOMIQUE INTERACTIF

INTRODUCTION

L'étude présentée précédemment a porté sur le système expert SYNOP permettant l'évaluation "statique" et l'amélioration de vues graphiques. Ces vues sont le plus souvent des ébauches, créées au préalable par un opérateur de conception possédant peu ou pas de connaissances en ergonomie de présentation de l'information sur écran graphique de visualisation.

Cet état de fait conduit souvent à un mauvais choix par le concepteur d'images, des modes de présentation de l'information. Ainsi, un mode de présentation d'une vue n'est pas toujours bien adapté au contexte opérationnel d'utilisation de cette vue. Par exemple, dans un certain contexte, l'opérateur peut adopter un affichage analogique sans mémoire alors qu'un affichage analogique avec mémoire serait ergonomiquement plus approprié. De plus, le problème du temps important nécessaire pour la création des vues subsiste puisque le système expert n'intervient qu'après la réalisation par l'opérateur des ébauches de vues.

Dans le but de résoudre ces problèmes, ce dernier chapitre décrit les perspectives de cette recherche concernant la conception d'interfaces graphiques homme-machine. Il est constitué de trois parties.

La première partie propose une démarche de conception de vues graphiques intégrant un outil interactif, permettant de guider l'opérateur dans ses choix des modes de présentation. Cette nouvelle démarche est alors comparée à celle intégrant SYNOP dans la boucle d'évaluation ergonomique des vues.

La seconde partie propose le principe d'un tel outil interactif guidant le concepteur lors de la réalisation des vues graphiques, et analyse les problèmes à résoudre pour sa mise en œuvre.

Enfin, la dernière partie décrit les premiers travaux de mise en œuvre de cette nouvelle démarche de conception interactive. Ils portent sur une maquette de génération interactive de vues de supervision à partir de vues déjà existantes, selon un format prédéfini de présentation d'information.

I - DEMARCHE DE CONCEPTION ERGONOMIQUE INTERACTIVE

DE VUES GRAPHIQUES

La démarche de conception d'interface graphique présentée dans le premier chapitre comprend plusieurs étapes, depuis la définition des besoins informationnels de l'opérateur selon les différents contextes de fonctionnement du procédé, jusqu'à la réalisation des vues et leur évaluation ergonomique à posteriori par SYNOP. Dans cette démarche, quatre phases essentielles sont rappelées, figure V-1-(a) :

- la définition de la structure du synoptique conduisant à sa décomposition en plusieurs vues éventuellement hiérarchisées, selon les variables à présenter sur chaque vue,
- le choix de l'organisation de chaque vue et des modes de présentation des variables,
- la création des vues graphiques ainsi définies, par un éditeur
- et enfin l'évaluation "statique" et l'aménagement des vues par SYNOP.

Dans cette démarche, l'évaluation ergonomique est corrective puisque l'outil d'évaluation s'applique après que le synoptique soit réalisé par le concepteur.

Une alternative à cette démarche consiste à intégrer les concepts ergonomiques lors de la conception des vues, en guidant le concepteur dans ses choix de présentation de l'information, par un outil d'assistance ergonomique interactif, figure V-1-(b). Dans ce cas, l'outil d'assistance intervient d'une part lors du choix des modes de présentation des variables par exemple sous forme de courbes ou de barre-graphes, et d'autre part lors du choix des attributs graphiques utilisés dans la vue tels que les couleurs ou les tailles de caractères.

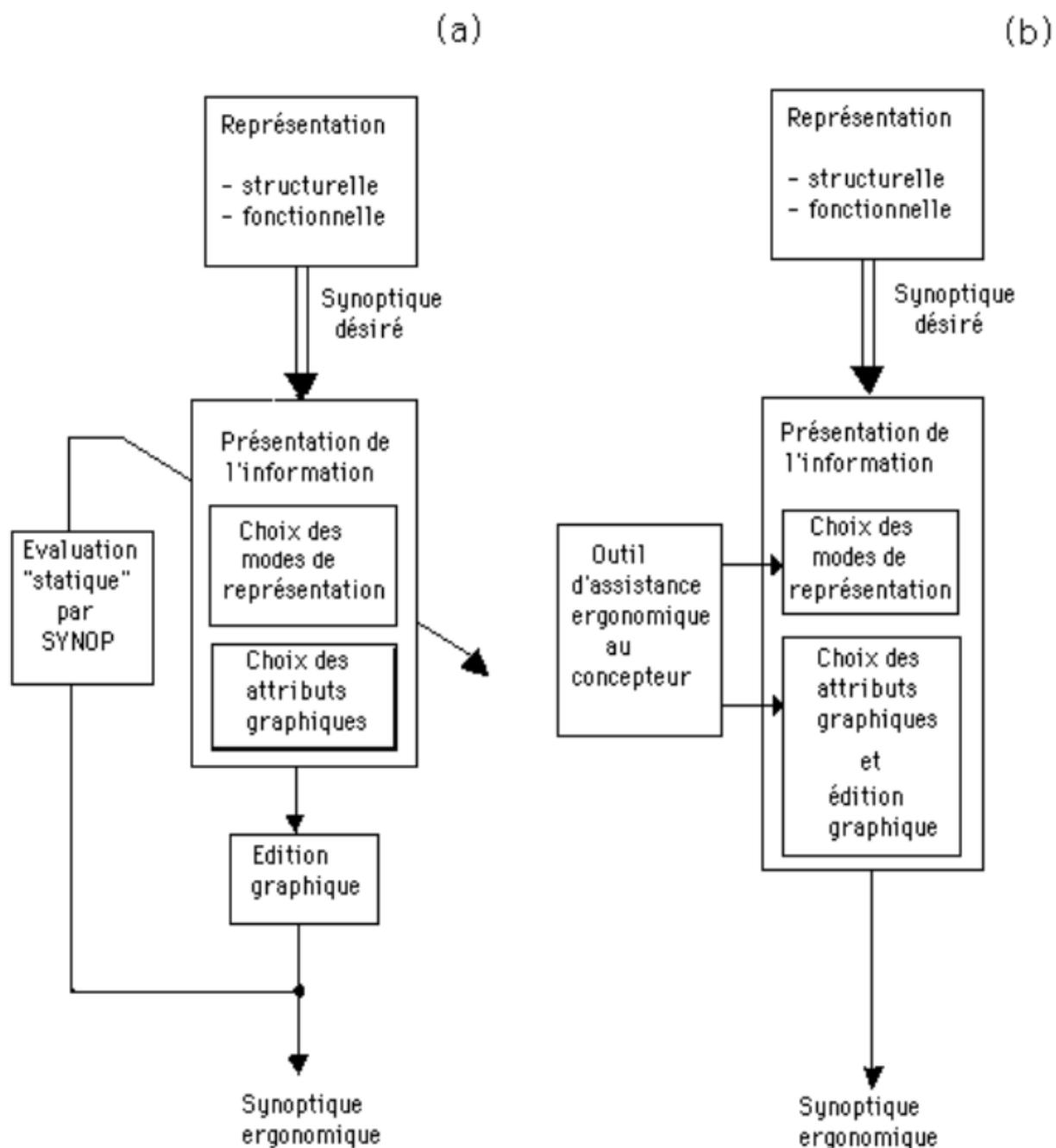


Figure V-1 : Comparaison de deux démarches de création des vues
(a) démarche actuelle : ergonomie de correction
(b) démarche envisagée : ergonomie de conception

Afin d'estimer la faisabilité de cette méthode et de la comparer avec la précédente, nous avons introduit deux critères permettant d'évaluer la qualité ergonomique des images construites.

Le premier critère est relatif au degré de pertinence de l'affichage global de la vue par rapport à son contexte d'utilisation. Ainsi, la pertinence est "élevée" si la présentation est adaptée aux besoins de la tâche à réaliser. Par contre, la pertinence peut s'avérer moyenne ou médiocre dans le cas contraire. Par exemple, le degré de pertinence d'une vue, présentant à l'opérateur trois variables sous forme de courbes, est élevé si l'opérateur a besoin de visualiser la tendance de chacune de ces variables.

Il convient de noter que c'est principalement ce critère que le concepteur cherche à optimiser dans la phase de sélection des modes de présentation. Le critère peut être partiellement ou totalement satisfait, ce qui conduit à plusieurs "niveaux subjectifs" de pertinence de l'image, par exemple "médiocre", "moyen", "satisfaisant" ou "maximal". Dans ce contexte, l'objectif de l'outil interactif d'aide à la conception des vues est de guider le concepteur afin de satisfaire totalement ce premier critère.

Le second critère est relatif à la qualité ergonomique de présentation de la vue et est utilisé lors de la deuxième phase de sélection des attributs graphiques de chacun des objets de la vue.

L'objectif de l'outil d'assistance est ici de guider l'opérateur afin que la vue finale possède un degré maximal d'ergonomie de présentation d'information. Par exemple, le choix d'une taille de caractères suffisamment grande améliore la lisibilité de la vue et entraîne donc une augmentation de son degré d'ergonomie. Par contre, un mauvais choix de la couleur d'une variable, entraînant un contraste médiocre, diminue le degré d'ergonomie de cette vue.

L'image réalisée peut alors satisfaire partiellement ou totalement ce critère, ce qui conduit à plusieurs niveaux de qualité ergonomique tels que "médiocre", "moyen", "satisfaisant" ou "maximal".

Les différentes étapes de la démarche de conception de vues peuvent donc être représentées comme des points successifs dans un plan dont les axes sont ces critères, figures V-2 et V-3. La démarche complète est alors matérialisée par la trajectoire qui relie ces points. L'image obtenue est représentée par l'extrémité de cette trajectoire qui situe sa qualité ergonomique et sa pertinence.

Il est donc clair que l'objectif d'une démarche de conception de vues est d'aboutir à un point le plus proche possible du point optimal Cop, figure V-2, qui correspond aux qualités ergonomiques maximales. De ce fait, l'efficacité de la démarche de conception se juge à la possibilité d'atteindre ce point optimal.

Afin de comparer la démarche d'ergonomie correctrice et la démarche de conception interactive proposée, nous les avons matérialisées chacune dans le plan des critères. La première démarche est matérialisée sur la figure V-2 par la trajectoire (C0, C1, C2, C1, C'2). Elle comprend d'abord une partie entièrement à la charge de l'opérateur qui construit la vue en choisissant les modes de représentation des variables (C1) et ensuite en choisissant les attributs graphiques (C2). La seconde partie est l'aménagement ergonomique de SYNOP qui remet en cause uniquement les choix des attributs (C1, C'2). En conséquence, le point C'2 est d'autant plus éloigné du point optimal Cop que C1 est lui-même sous optimal.

En revanche, dans la démarche de conception interactive, le concepteur étant guidé en permanence par l'outil d'assistance, il peut optimiser d'abord le degré de pertinence de la vue (C'1), et ensuite optimiser plus aisément la qualité ergonomique pour atteindre un point C'2 très proche du point optimal, figure V-3. Ceci est dû essentiellement à la flexibilité de cette démarche qui permet de remettre en cause à chaque étape les choix effectués.

En conséquence, les perspectives de la recherche s'orientent vers cette seconde démarche en vue de transformer SYNOP en un outil d'aide à la conception ergonomique interactif.

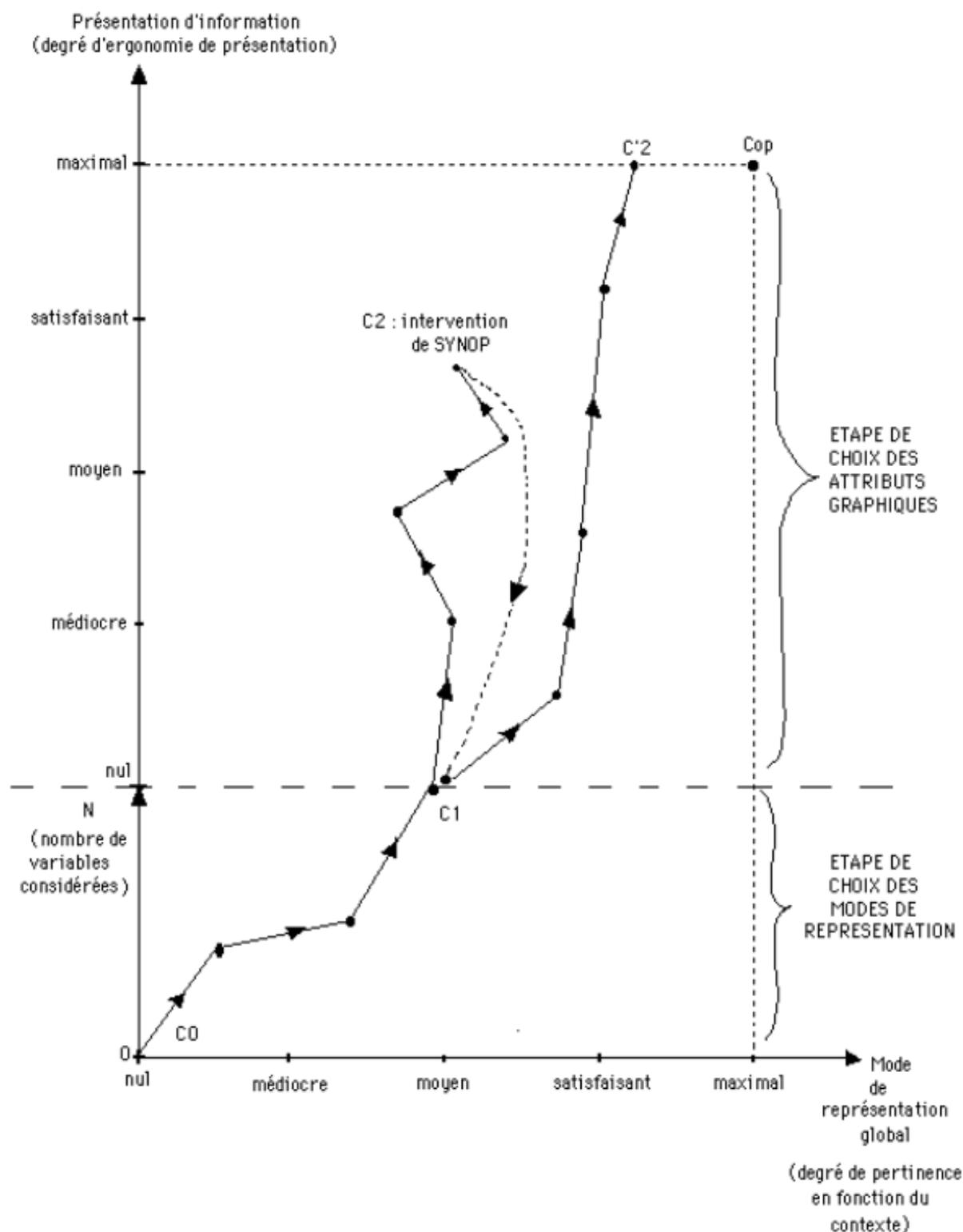


Figure V-2 : Démarche de conception des vues et d'aménagement ergonomique *a posteriori* par SYNOP

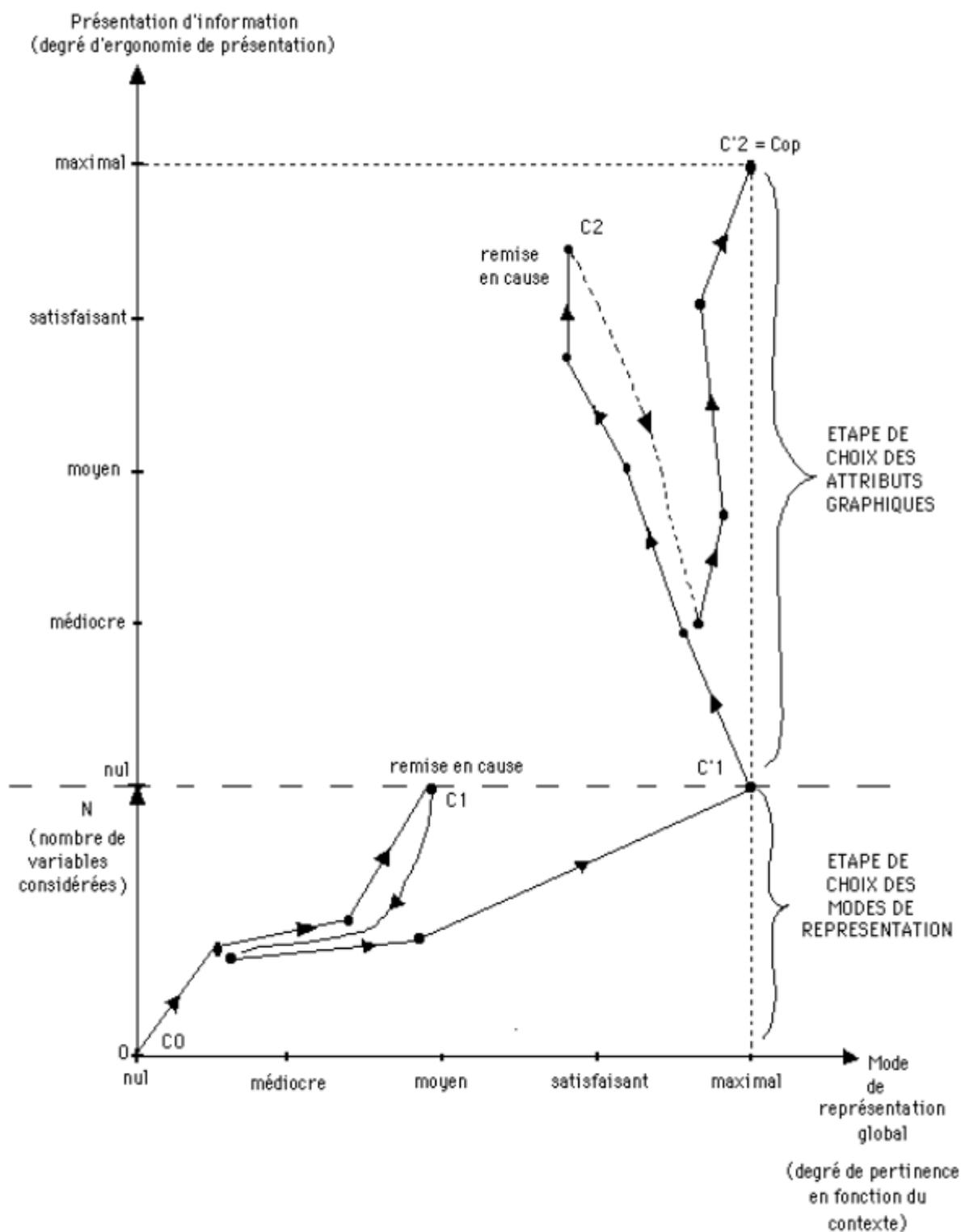


Figure V-3 : Démarche de conception ergonomique interactive de vues graphiques

II - EVOLUTION DE SYNOP VERS UN OUTIL D'ASSISTANCE

ERGONOMIQUE AU CONCEPTEUR

Le principe de l'outil envisagé, appelé SYNOP+, peut être décrit par trois phases distinctes, figure V-4 /KOLSKI, VAN DAELE, MILLOT, DE KEYSER, 1988/. La première phase consiste en un dialogue avec le concepteur, afin de déterminer le contexte d'utilisation des vues à créer, ainsi que les différentes variables à afficher. La seconde phase concerne l'arrangement ergonomique progressif des différentes vues, par l'activation des règles du système expert. Enfin, la troisième phase permet de créer des fichiers graphiques, correspondant aux vues conçues avec l'assistance de SYNOP+. Ces deux dernières phases sont effectuées par le concepteur en interactivité avec SYNOP+.

Ces trois phases sont maintenant successivement présentées.

II.1 - PREMIERE PHASE DE DIALOGUE

AVEC LE CONCEPTEUR

Cette première phase de dialogue avec le concepteur permet la constitution de la "base de faits" du système expert. Ces faits correspondent à l'initialisation de la structure de base du synoptique, par la connaissance des variables à représenter, ainsi que du contexte d'utilisation de chacune des vues. Il s'agit ici en quelque sorte de définir le cahier des charges concernant les travaux d'édition graphique.

Après cette phase d'initialisation de la structure de base du synoptique peut commencer la seconde phase d'arrangement ergonomique des différentes vues.

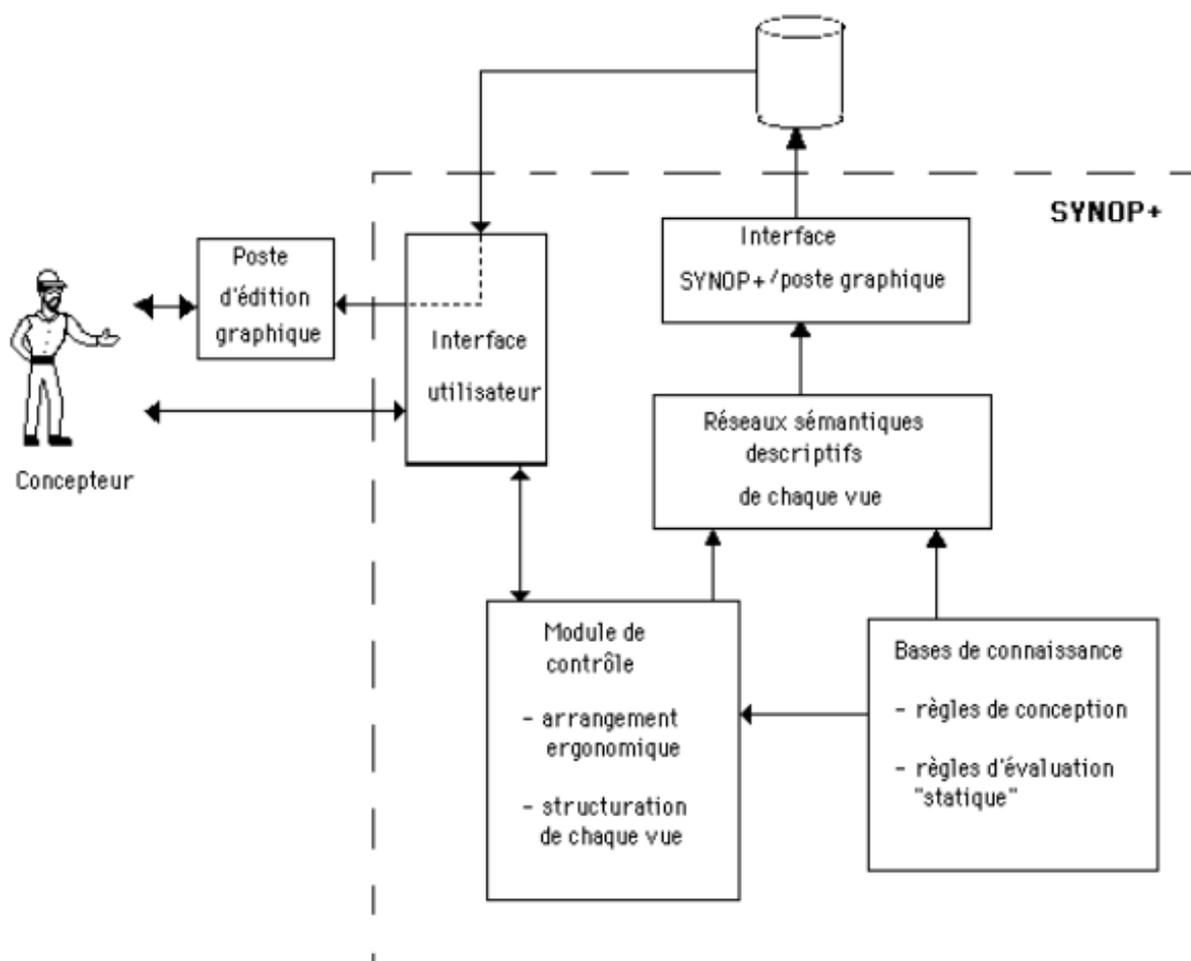


Figure V-4 : Le principe d'assistance ergonomique à la conception des vues par SYNOP+

II.2 - SECONDE PHASE D'ARRANGEMENT

ERGONOMIQUE DU SYNOPTIQUE

Cette seconde phase permet d'arranger progressivement chacune des vues du synoptique, en interactivité avec le concepteur. Selon le même principe que dans le module actuel d'évaluation de SYNOP, deux niveaux d'expertise en ergonomie de conception peuvent être considérés :

- un premier niveau de métaconnaissance permettant le choix de modes de représentation pour chacune des variables de la vue traitée ;
- un second niveau de connaissance effectuant l'arrangement des vues selon les modes de représentation adoptés.

II.2.1 - NIVEAU DE METACONNAISSANCE

PERMETTANT LE CHOIX DES MODES

DE REPRESENTATION

A partir de l'analyse des caractéristiques des variables à représenter, ce premier niveau de métaconnaissance doit permettre de choisir le mode de représentation adéquat pour chacune des variables.

Les différentes solutions de présentation des variables, envisagées par SYNOP+, sont alors un compromis entre le contexte opérationnel d'utilisation de chaque variable et le nombre de variables à considérer dans ce contexte. Par exemple, dans un contexte de correction d'une variable, SYNOP+ peut proposer un affichage analogique avec mémoire de type courbe.

Si plusieurs solutions sont envisageables dans certains cas particuliers, les différentes solutions de présentation de l'information doivent être considérées dans les bases de métaconnaissance de SYNOP+. Lors du traitement expert, ces solutions doivent toutes être proposées au concepteur qui prend alors la décision finale.

Après ce premier niveau de sélection des modes de représentation, un second niveau de connaissance doit permettre l'arrangement ergonomique progressif de chacune des vues du synoptique.

II.2.2 - NIVEAU DE CONNAISSANCE PERMETTANT

L'ARRANGEMENT DES VUES SELON

LES MODES DE REPRESENTATION ADOPTES

A partir des modes de représentation adoptés pour chacune des variables, le système expert doit être capable d'arranger la vue, en interactivité avec le concepteur, en respectant les règles "statiques" énoncées dans le second chapitre de ce mémoire.

Cet arrangement peut être réalisé à partir de modèles paramétrés de présentation d'information, prédéfinis et stockés dans une base du système. Par exemple, une procédure de création d'objets correspondant à une vue "ETOILE", centrée en (x_0, y_0) , de rayon r , comportant n variables, peut être appelée lors de l'arrangement ergonomique d'une vue.

Bien entendu, chaque modèle de présentation d'information doit au préalable avoir été testé, évalué et validé avant d'être introduit dans les bases de SYNOP+.

Ainsi, les objets structurés constitutifs de chaque vue, progressivement créés lors du traitement expert, doivent ensuite permettre la création automatique de fichiers graphiques.

II.3 - TROISIEME PHASE DE CONSTITUTION DE FICHIERS GRAPHIQUES CORRESPONDANT AUX VUES CONCUES PAR SYNOP+

Dans cette dernière phase, l'interface entre SYNOP+ et le poste graphique, figure V-4, doit être capable de créer automatiquement les fichiers correspondant aux objets descriptifs de chaque vue.

Selon le même principe que dans la version actuelle de SYNOP (voir le chapitre III), le synoptique ainsi créé devra être immédiatement utilisable sous éditeur graphique.

II.4 - PROBLEMES DE MISE EN OEUVRE DE L'OUTIL D'ASSISTANCE ERGONOMIQUE SYNOP+

La réalisation l'outil d'assistance ergonomique SYNOP+ soulève deux problèmes essentiels.

Le premier problème est relatif à l'élaboration des bases de méta-connaissance et de connaissance en ergonomie de conception. En effet, l'expertise du système repose sur des démarches de conception de vues graphiques à partir du contexte d'utilisation de ces vues. L'élaboration des bases passe donc par le relevé préalable des différents contextes à considérer. Puis, pour chacun de ces contextes, il faut définir un mode d'affichage optimal. Par exemple, pour un contexte de surveillance et de détection de défaut concernant n variables, plusieurs questions se posent :

- Pour $n < 4$: une vue comportant un affichage de type "courbe" est-elle envisageable ?
- Pour $n=5$: existe-t-il un affichage optimal ?

- Pour $n \in [6, 9]$: une vue comportant un affichage par déformation du type "ETOILE" est-elle adéquate ?
- Pour $n > 10$: faut-il créer plusieurs vues ? Quel affichage préconiser pour chacune d'entre elles ?

Cet exemple met en avant l'importance d'une décomposition de la démarche générale de conception d'une interface homme-machine. Cette décomposition dépend de stratégies considérant l'aspect quantitatif de l'information à présenter. Ainsi, selon le nombre de variables à afficher, pour chaque contexte considéré, une comparaison des performances globales et de la charge de travail de l'opérateur, découlant de l'utilisation des vues créées par SYNOP+, peut permettre de définir de manière optimale les différentes stratégies de conception à adopter. Cette étape exige une expérimentation comparative de plusieurs modes d'affichage en fonction du contexte d'une part, de l'aspect quantitatif des informations à présenter d'autre part. Chaque mode d'affichage sélectionné pourra ensuite être modélisé dans les bases de SYNOP+ en vue d'un traitement expert de conception.

Le second problème est d'ordre technique. Il concerne la faisabilité de la démarche proposée, basée sur la création progressive d'objets structurés descriptifs des vues à créer par SYNOP+. Cette démarche est fondamentalement différente de celle actuellement utilisée par SYNOP, consistant à modifier les valeurs d'attributs (par exemple, la taille ou la couleur d'un texte) d'objets structurés LISP déjà créés. Dans le but d'étudier la faisabilité de la démarche proposée, la première maquette d'un outil, permettant de générer des vues de supervision, a été développée. Cette maquette est décrite dans le paragraphe suivant.

III - REALISATION D'UNE PREMIERE MAQUETTE D'UN

MODULE INTERACTIF DE GENERATION DE

VUE DE SUPERVISION

L'objectif de ce module écrit en LISP est la conception automatique de vues de supervision, appelées également vues globales. De telles vues permettent la surveillance de variables dispersées initialement sur plusieurs vues. Ainsi, une vue conçue par le module synthétise les informations relatives à plusieurs "sous-vues" déjà existantes, en fonction éventuellement de différents niveaux d'abstraction. En

effet, ces "sous-vues" peuvent être, soit indépendantes entre elles, soit hiérarchisées /BINOT, KOLSKI, ROGER, WILLAEYS, 1987/.

Dans le premier cas, la vue de supervision est construite à partir de vues relatives à des sous-systèmes indépendants, tels "atelier-1", "atelier-3" et "cuve-18", figure V-5.

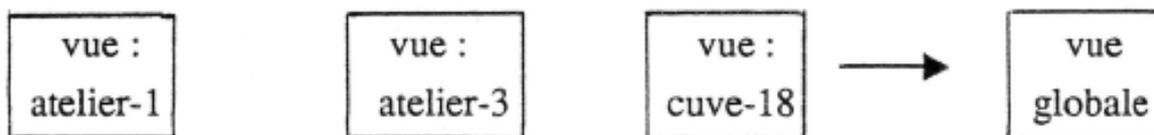


Figure V-5 : Conception d'une vue globale à partir de plusieurs vues indépendantes

Dans le second cas, la vue de supervision est construite à partir des niveaux d'abstraction selon lesquels une vue est considérée. L'exemple de la vue "atelier-3", figure V-6, illustre ce principe. Cette vue se trouve au niveau d'abstraction le plus élevé du problème à résoudre, ici la surveillance d'un atelier comprenant deux machines et une cuve. Ainsi, au niveau intermédiaire, trois vues représentent ces sous-systèmes. De même, au niveau le plus bas, des vues supplémentaires permettant à l'opérateur de visualiser les variables associées au moteur et au réservoir de chaque machine, sont disponibles.

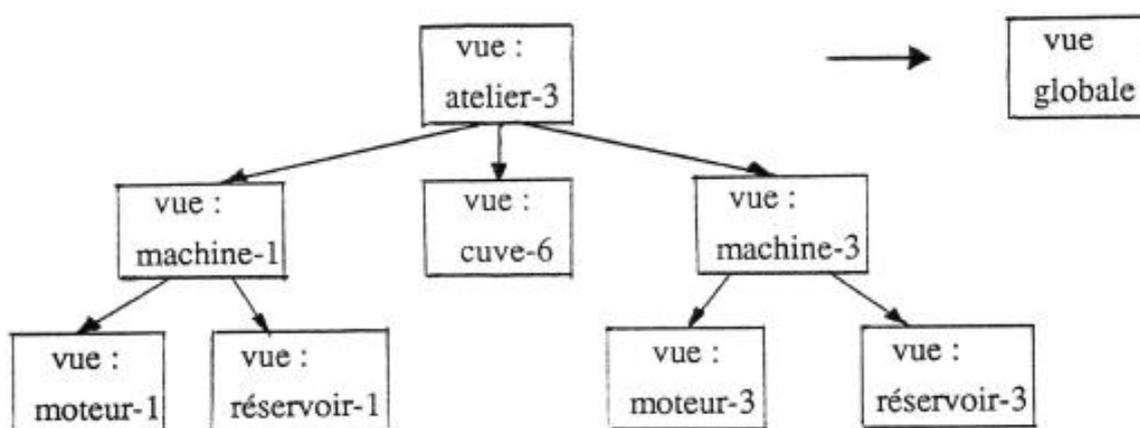


Figure V-6 : Conception d'une vue globale à partir de plusieurs vues hiérarchisées

La méthodologie de conception d'une vue de supervision est maintenant décrite.

III.1 - LA METHODOLOGIE DE CONCEPTION D'UNE VUE DE SUPERVISION

La méthodologie consiste à concevoir progressivement une vue en y plaçant des variables animées non redondantes. Ces variables sont sélectionnées à partir des différentes "sous-vues" à synthétiser. Cette méthodologie peut être décrite plus précisément par sept étapes principales /KOLSKI, VAN DAELE, MILLOT, DE KEYSER, 1988/ :

- Etape 1 : Cette étape permet l'initialisation de paramètres ergonomiques. Cette initialisation entraîne, pour chaque vue de supervision conçue, le respect systématique de règles ergonomiques de base concernant la lisibilité des caractères et la présentation du fond de plan. Par exemple, la taille minimale des caractères est fixée à 4 millimètres, la couleur du cadre est initialisée au bleu foncé.
- Etape 2 : Les "sous-vues", indépendantes ou hiérarchisées, sont sélectionnées par le concepteur dans le but de leur synthétisation en une vue de supervision.
- Etape 3 : Dans cette étape, le module effectue un premier filtrage des variables en éliminant celles qui sont redondantes. Il élimine également d'éventuelles fonctions de commande, permettant l'envoi d'informations au calculateur, susceptibles d'être présentes dans les "sous-vues" à synthétiser. En effet, de telles fonctions ne sont d'aucune utilité dans une tâche de supervision. Puis, les variables restantes sont soit toutes sélectionnées en vue de leur affichage sur l'écran, soit de nouveau filtrées manuellement par le concepteur.
- Etape 4 : En fonction du nombre de niveaux d'abstraction, ainsi que du nombre de variables animées sélectionnées à chaque niveau, le module calcule la hauteur, la largeur et l'emplacement de chaque zone constituant le fond de plan. Puis, chaque zone est associée à une variable, son nom et le nom de la "sous-vue" dont elle est extraite, figure IV-7. Deux niveaux

d'abstraction sont séparés par un trait gras facilement perceptible par l'opérateur. Cette phase entraîne la création d'objets structurés LISP correspondant aux entités graphiques descriptives du fond de plan.

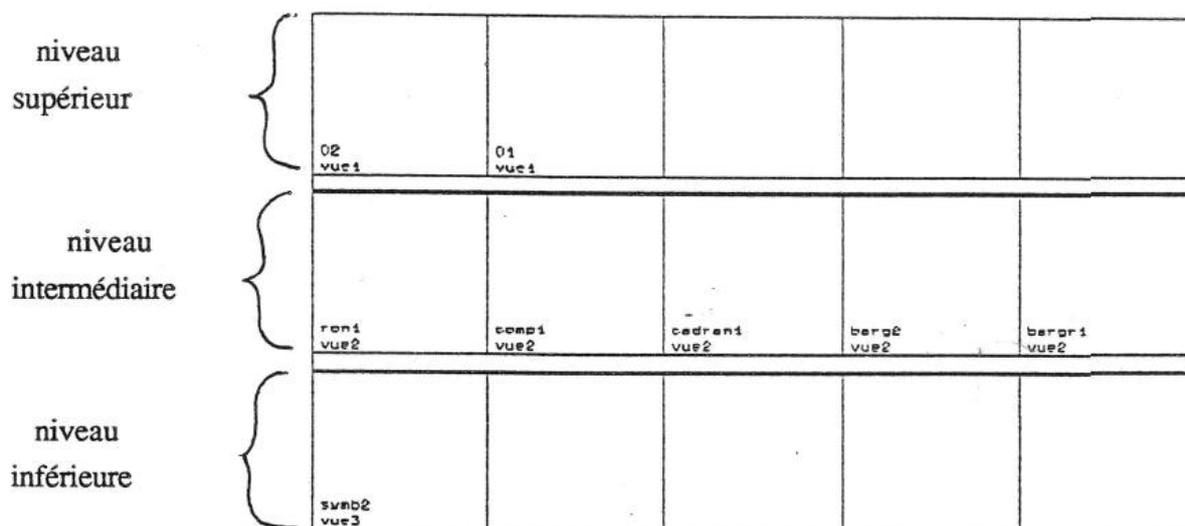


Figure V-7 : Exemple de fond de plan d'une vue de supervision conçue selon trois niveaux d'abstraction

- Etape 5 : Chaque variable animée est placée dans sa zone respective. De la même manière que dans l'étape précédente, des objets structurés LISP correspondant aux variables sont créés. Dans un souci d'homogénéité, des fonctions animées semblables auront les mêmes attributs graphiques. Par exemple, deux barre-graphes affichés dans la même vue de supervision posséderont les mêmes hauteur et largeur.

Dans la version actuelle du module, chaque variable animée est placée dans le fond de plan, sans tenir compte d'éventuelles relations avec d'autres variables.

- Etape 6 : Les fichiers graphiques correspondant à la vue de supervision conçue sont construits et sont ensuite transmis au poste de création et d'animation graphique pour affichage sur l'écran.

- Etape 7 : Cette dernière étape consiste à utiliser SYNOP pour évaluer la vue de supervision conçue. D'éventuelles erreurs de présentation d'information sont alors détectables par le système expert.

Cette méthodologie est actuellement testée sur des "sous-vues" indépendantes ou hiérarchisées correspondant à des simulations de sous-systèmes industriels. Quelques exemples de vues de supervision automatiquement générées sont maintenant présentés.

III.2 - EXEMPLES DE VUES DE SUPERVISION

GENEREES PAR LE MODULE

Les deux vues de supervision, figure V-11, générées à l'aide du module, synthétisent les informations des quatre "sous-vues" présentes en figure V-9 et V-10. Ces quatre "sous-vues" ont été considérées soit indépendantes, soit hiérarchisées sur trois niveaux d'abstraction, selon l'arborescence de la figure V-8.

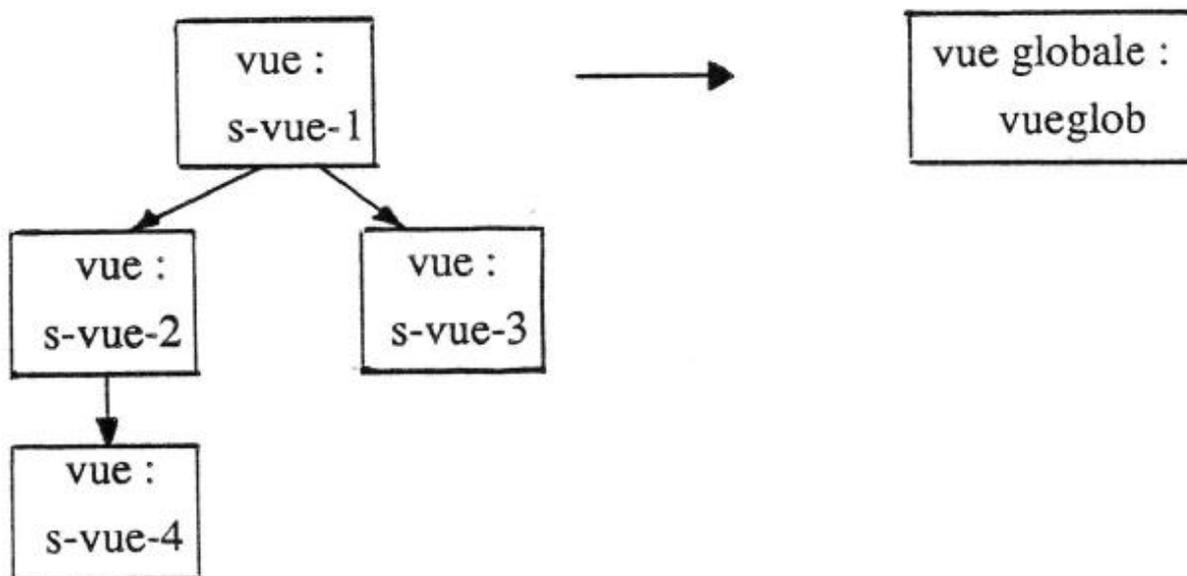


Figure V-8 : Génération d'une vue globale synthétisant quatre "sous-vues" hiérarchisées

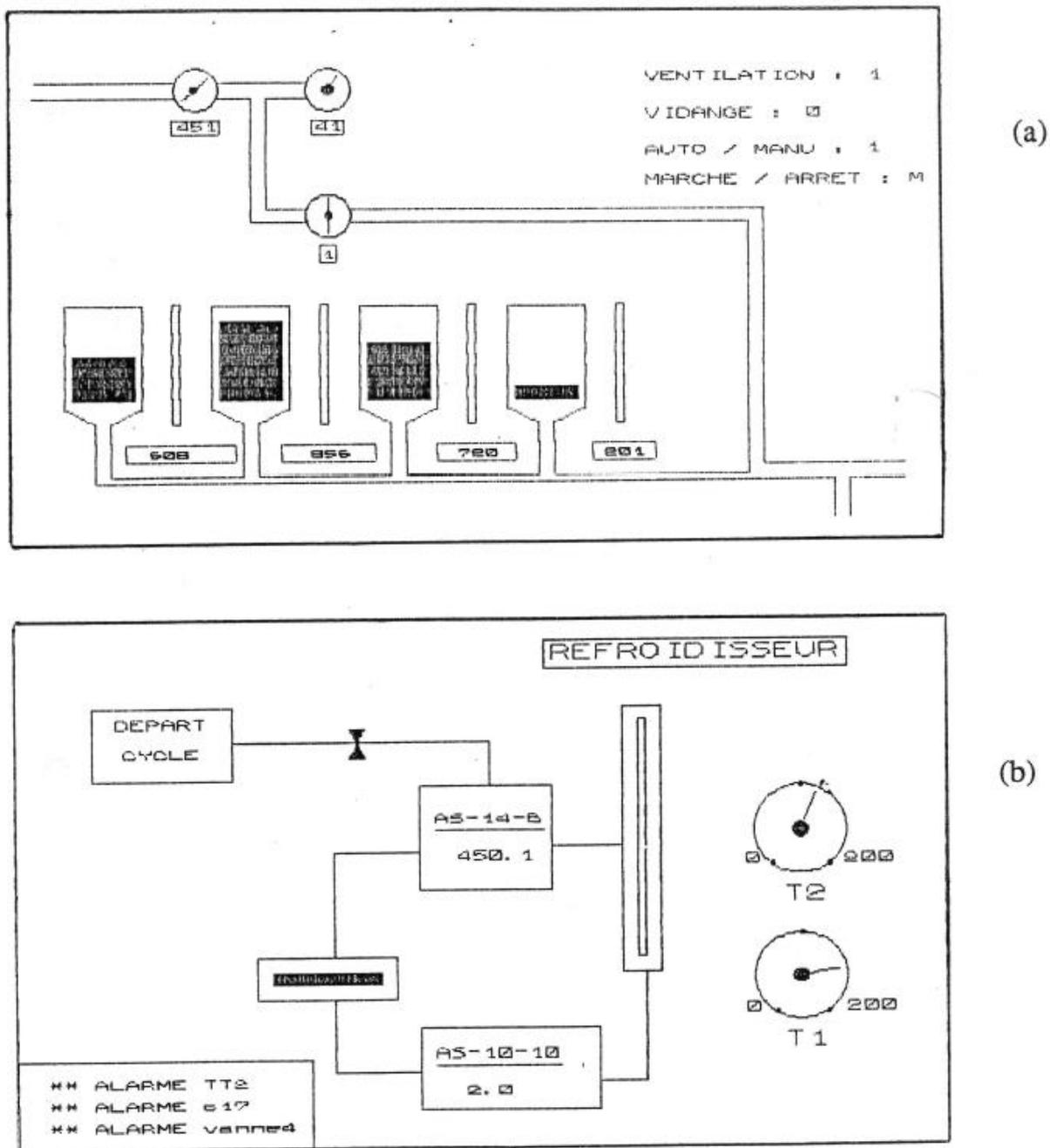
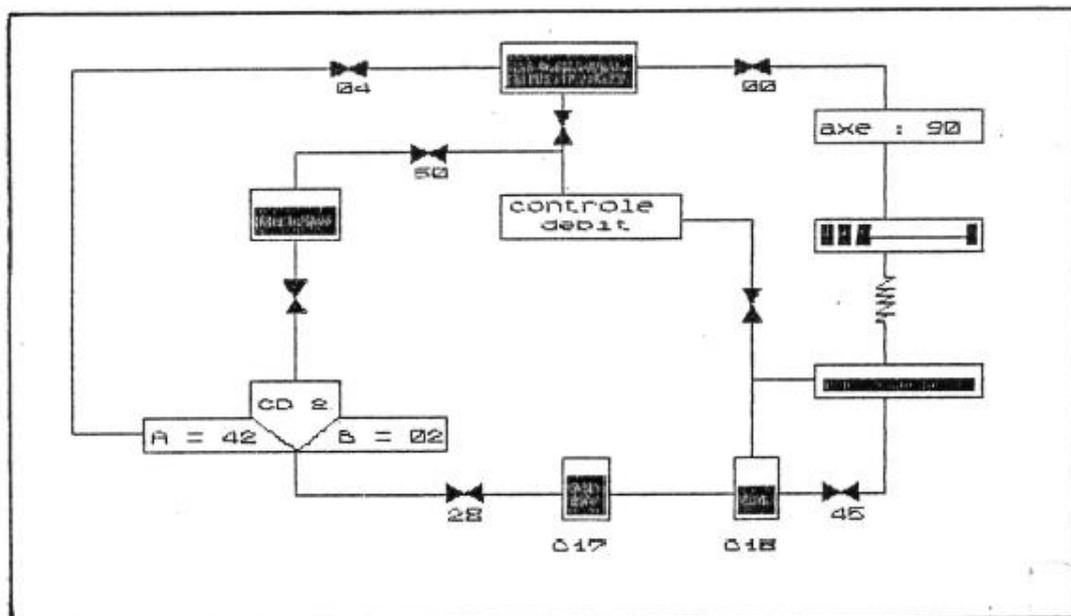


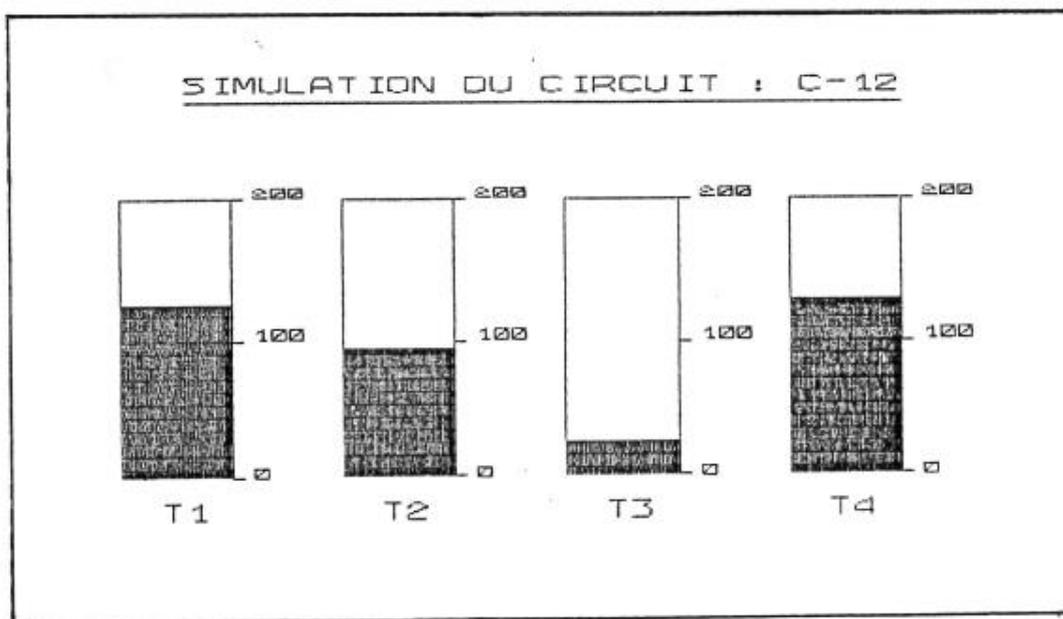
Figure V-9 : Les "sous-vues" à synthétiser

(a) : s-vue-1

(b) : s-vue-2



(a)



(b)

Figure V-10 : Les "sous-vues" à synthétiser

(a) : s-vue-3

(b) : s-vue-4

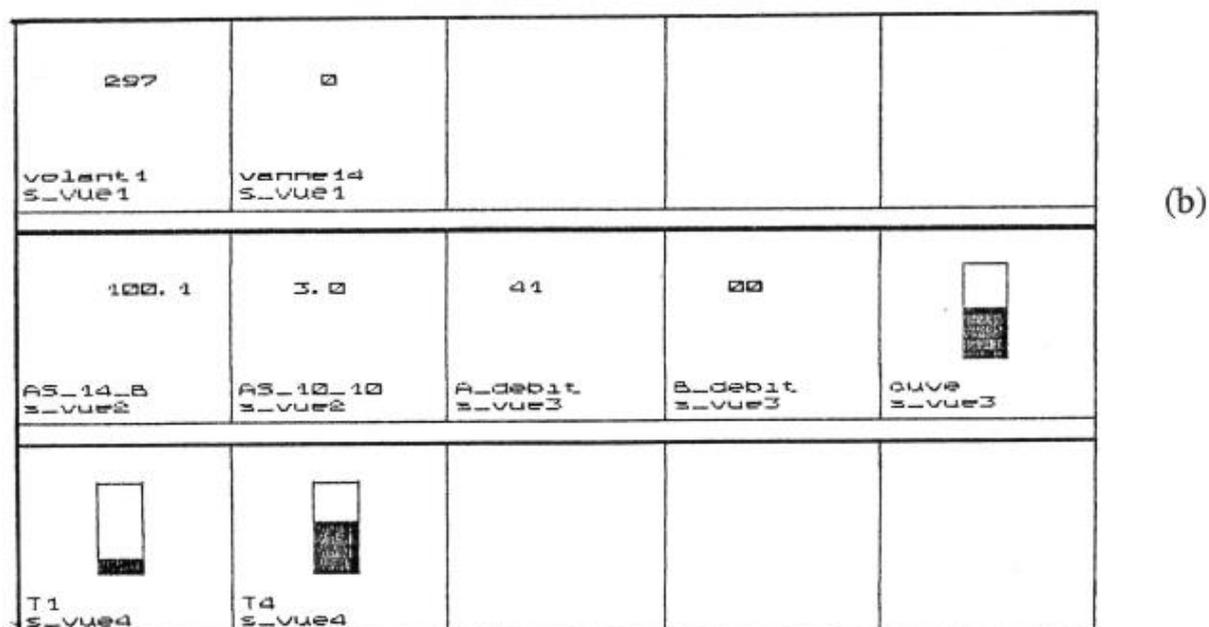
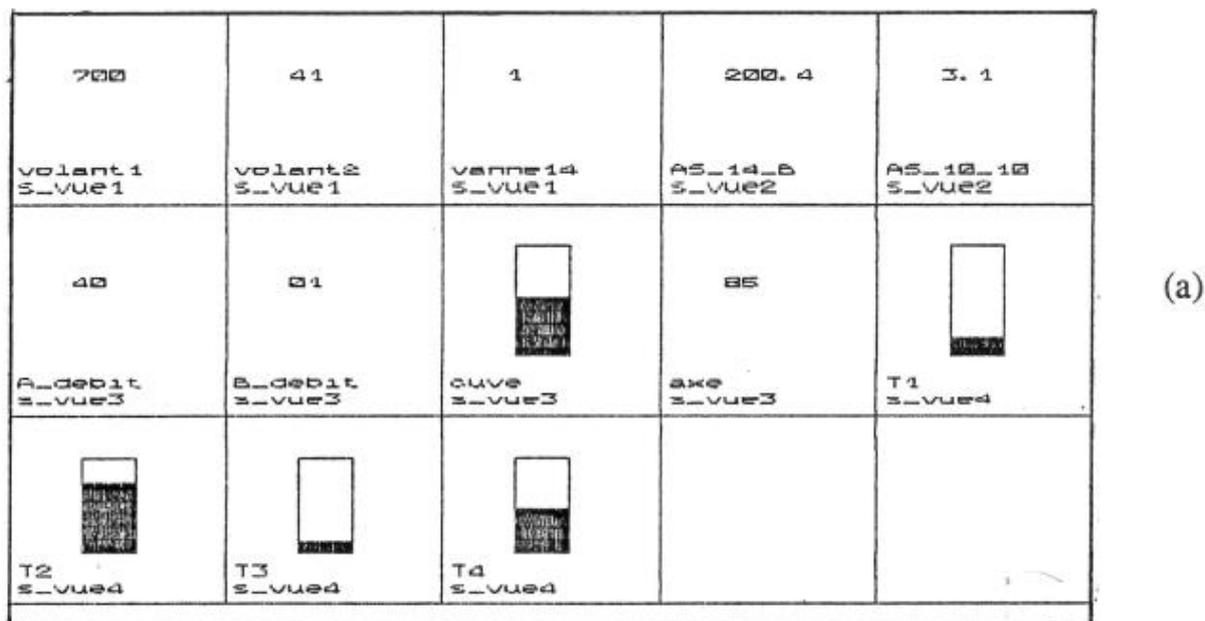


Figure V-11 : Les vues de supervision automatiquement générée

- (a) : - la sélection des variables est automatique
- les "sous-vues" sont indépendantes
- (b) : - l'opérateur a sélectionné manuellement les variables
- les "sous-vues" sont hiérarchisées

Comme l'indique la figure V-11, deux cas différents ont été considérés. Ainsi, une première vue de supervision a été conçue à partir de "sous-vues" indépendantes, par une sélection automatique par le module de 13 variables non redondantes, figure (a). Par contre, la seconde vue de supervision a été réalisée en interactivité avec l'opérateur qui a sélectionné 9 variables appartenant à des "sous-vues" hiérarchisées, figure (b).

III.3 - DISCUSSION SUR LES PREMIERS RESULTATS

OBTENUS ET PERSPECTIVES

Les premiers résultats obtenus par la maquette ont permis de vérifier la faisabilité de la méthodologie envisagée. Cette méthodologie, en effet, est basée sur la création progressive d'objets structurés, à partir de contraintes ergonomiques, et diffère de celle, actuellement utilisée dans SYNOP, permettant la modification d'attributs d'objets structurés déjà existants.

Ce constat permet d'envisager la suite des travaux. Ceux-ci consistent maintenant à affiner la présentation des informations automatiquement générées par le module. En fonction de la relation d'indépendance ou de hiérarchisation entre les "sous-vues" à synthétiser, en fonction également du nombre de variables à présenter, le module de génération automatique de vues de supervision doit décider d'un mode de présentation optimal. Ce principe de décision correspond parfaitement au niveau de métaconnaissance, permettant le choix de modes de représentation, envisagé pour SYNOP+ dans le paragraphe précédent.

Le module de génération automatique de vues de supervision peut donc être considéré comme le premier maillon de la chaîne logicielle experte SYNOP+. Pour chaque contexte opérationnel considéré (diagnostic, correction, etc), d'autres modules sont susceptibles d'être créés, testés et intégrés dans SYNOP+. Bien entendu, ces modules peuvent se rapporter à d'autres domaines que le contrôle de procédés industriels. En effet, de nombreuses applications peuvent être envisagées telles que la conception de pages-écrans en télématique /KOLSKI, GRZESIAK, MILLOT, 1988/ ou celle de vues embarquées dans les automobiles /KOLSKI, 1988/.

IV - CONCLUSION

Ce dernier chapitre a présenté les perspectives de recherche sur la conception d'interfaces graphiques homme-machine. Dans ce but, il a proposé, dans une première partie, une démarche de conception basée sur l'utilisation d'un outil permettant d'assister l'opérateur dans ses choix des modes de représentation des variables d'une part, et des attributs graphiques de la vue d'autre part. L'objectif de cet outil est l'optimisation de la présentation d'information de la vue selon deux critères subjectifs : la pertinence du mode d'affichage global de la vue par rapport à son contexte d'utilisation, et la qualité ergonomique de présentation d'information de la vue.

Le principe de l'outil SYNOP+ a été présenté dans la deuxième partie. Cet outil correspond à l'évolution de SYNOP vers un outil d'assistance ergonomique au concepteur. Il peut être décrit par trois phases : une première phase de dialogue avec l'opérateur en vue d'initialiser la structure de base du synoptique, une seconde phase d'arrangement ergonomique progressif des vues selon des stratégies de conception centralisées dans les bases de connaissance du système, enfin, une troisième phase de création de fichiers correspondant aux vues créées par SYNOP+.

Afin d'étudier la faisabilité de l'outil SYNOP+, le développement d'une première maquette de module interactif, permettant la génération de vues de supervision, a été décrit dans la dernière partie de ce chapitre. Ce module permet la conception complète d'une vue, à partir de "sous-vues" indépendantes ou hiérarchisées selon trois niveaux d'abstraction au maximum. Les premiers résultats fournis par ce module écrit en LISP sont encourageants et permettent d'envisager la réalisation de l'outil SYNOP+.

CONCLUSION GENERALE

L'objet de ce mémoire a été de contribuer à l'ergonomie de conception des interfaces graphiques homme-machine, proposées aux opérateurs dans les salles de contrôle des procédés industriels automatisés.

Dans ce but, une démarche fondée sur "l'Intelligence Artificielle" a été adoptée. Celle-ci consiste à intégrer, dans la boucle de conception des vues graphiques, le système expert SYNOP permettant d'évaluer et de corriger celles-ci, selon des règles ergonomiques de présentation d'information rassemblées dans ses bases de connaissance.

A cet effet, nous avons décrit dans le premier chapitre l'évolution des supports d'information dans les procédés industriels vers une tendance actuelle de présentation de l'information sur écran graphique de visualisation. Puis, cinq méthodes d'affichage, proposées aux opérateurs, ont été présentées : les affichages analogiques sans mémoire, avec mémoire, par déformation, par modèles de fluence et "synoptique". Ainsi, devant les vues graphiques qui sont proposées à l'opérateur, l'étude des différentes réactions de celui-ci a mis ensuite en évidence de nombreuses erreurs de conception de l'interface graphique homme-machine. Afin d'éviter de telles erreurs, une démarche ergonomique de conception a ensuite été proposée. Celle-ci est basée sur deux évaluations ergonomiques des vues. La première est "statique" et vise à améliorer la présentation de l'information sur chaque vue composant le synoptique. La seconde est "dynamique" et tend à vérifier que la structure et le contenu de chacune des vues répondent aux besoins informationnels des opérateurs dans les différents contextes opérationnels du procédé.

Dans le deuxième chapitre, les limites de l'opérateur humain, ainsi que sa démarche de résolution d'un problème, ont été présentées. Afin de faciliter ses différentes tâches, des connaissances ergonomiques utilisables pour les aménagements et les évaluations "statiques" et "dynamiques" des vues graphiques ont ensuite été proposées. Les connaissances "dynamiques" sont exprimées sous la forme de concepts généraux alors que les connaissances "statiques" sont formalisables sous forme de règles de manipulation d'objets graphiques. Celles-ci sont donc adaptées à leur intégration dans la base de connaissance d'un système expert.

Ainsi, le troisième chapitre a été consacré à la réalisation du système expert SYNOP, pour l'aide à l'évaluation "statique" de vues graphiques à partir de règles de présentation d'information. Ce chapitre a décrit la structure générale de SYNOP,

puis a détaillé le module d'évaluation et d'amélioration de vues, de même que ses interfaces utilisateur et expert.

Le quatrième chapitre a d'abord décrit la méthodologie d'évaluation par des ergonomes des interfaces expert et utilisateur de SYNOP, en vue de l'amélioration de chacune de leurs fonctionnalités. Puis, il a présenté la démarche adoptée d'élaboration et de validation des bases de connaissances ergonomiques. Ensuite, ce chapitre a détaillé une application de SYNOP dans un contexte industriel. En effet, le système expert a contribué à l'évaluation "statique" de l'interface entre l'opérateur et un système d'aide à la décision développée dans le cadre du projet ALLIANCE.

Enfin, le dernier chapitre a été consacré aux perspectives d'évolution de SYNOP vers un outil d'assistance ergonomique au concepteur, appelé SYNOP+. Cet outil s'intègre dans une nouvelle démarche de conception de vues graphiques permettant d'optimiser d'une part les choix des modes de représentation des variables à afficher, et d'autre part les choix des attributs graphiques constitutifs de chacune de ces variables. Dans ce but, le principe d'un tel outil a été décrit, ainsi que les premiers travaux en vue de sa réalisation. Ces travaux consistent en une première maquette d'un module permettant de générer des vues de supervision synthétisant des vues déjà existantes, selon un format prédéfini de présentation de l'information. Les premiers résultats fournis par ce module sont encourageants et permettent d'envisager la réalisation de l'outil SYNOP+ qui fera l'objet de nos recherches futures.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 1986. Recueil de normes françaises. Association Française de normalisation, Paris, La Défense, 1986.
- ASSE A., 1985. Aide au diagnostic industriel par des méthodes basées sur la théorie des sous-ensembles flous. Thèse de troisième Cycle, Université de Valenciennes, Avril 1985.
- BEKA BE NGUEMA M., 1988. Réalisation d'une interface homme-machine tolérante aux erreurs humaines. Rapport de D.E.A., Université de Valenciennes, Juin 1988.
- BERINGER D.B., 1987. Peripheral integrated status display. Displays, Janvier 1987.
- BINOT C., KOLSKI C., ROGER D., WILLAEYS D., 1987. Graphic information evaluation and expert system in ergonomic conception of control views. IECON '87, Thirteenth annual IEEE Industrial Electronics Society Conference, Cambridge, Massachusette, 1987.
- BONNET A., 1984a. L'utilisation des langages orientés objets (LOOBS) en Intelligence Artificielle. "Les systèmes experts et leurs applications", Journées d'études et exposition, Avignon, Mai 1984.
- BONNET A., 1984b. L'intelligence artificielle : promesses et réalités. Interéditions, Paris, 1984.
- BOY G., FALLER B., SALLANTIN J., 1988. Acquisition et ratification des connaissances. Journées Nationales du PRC-GRECO Intelligence Artificielle, Toulouse, Mars 1988.
- BROWN R.L., 1985. Methods for a graphic representation of systems simulated data Ergonomics, volume 28, n°10, pp. 1439-1454, 1985.
- BRUCE M., FOSTER J.J., 1982. The visibility of coloured characters on coloured backgrounds in viewdata displays. School of Psychology, Manchester Polytecnic, Visible Lang., USA, volume 16, n°4, pp. 392-390, 1982.
- CAIL F., 1986. Présentation de l'information sur écran de visualisation, revue bibliographique. Cahiers de notes documentaires, INRS, n° 23, 1986.
- CAKIR A., HART D.J., STEWART T.F.M., 1980. Les terminaux à écran : agencement, ergonomie, organisation. Les Editions d'Organisation, Paris, 1980.

- CARNINO A., IDEE E., LARCHIER BOULANGER J., MORLAT G., 1986. Les erreurs de représentation : pourquoi certaines peuvent être qualifiées de diaboliques. HN/GRETS/86007, EDF, Direction des études et de la recherche, Février 1986.
- CAZAMIAN P., 1987. Traité d'Ergonomie. Editions OCTARES Entreprises, Paris, 1987.
- CHAILLOUX J., 1985. LE_LISP, manuel de référence. INRIA, 1985
- CHAMMAM M., 1987. Contribution à la conception et à la réalisation d'un oculomètre pour la mesure et le traitement automatique de la direction absolue du regard d'un opérateur humain au travail. Thèse de 3ème cycle, Université de Valenciennes, décembre 1987.
- CHARWAT H.J., 1985. Prozessbeobachtung und Prozessbedienung mit frei projektierbaren Anzeigen auf Sichtgeräten. Automatisierungstechnische Praxis atp, 27. Jahrgang, Heft 3, 1985.
- CHRIST R.E., 1975. Review and analysis of color coding research for visual displays. Human Factors, volume 17, n° 6, pp. 542-570, 1975.
- CHRIST R.E., CORSO G.M., 1983. The effects of extended practice on the evaluation of visual display codes. Human Factors, volume 25, n° 1, pp. 71-84, 1983.
- COBBAERT J.L., 1984. La communication homme-machine dans le monde informatisé de demain. Colloque : l'Ordinateur, l'Homme et l'organisation, Nivelles, Belgique, Décembre 1984.
- COCKERILL-SAMBRE, 1984. Prise en compte des facteurs humains dès la conception et l'installation de la coulée continue de la S.A. COCKERILL-SAMBRE-CHERTAL, Action Communautaire Ergonomique, Recherche 107 247-11-026, Liège, 1984.
- COEKIN J.A., 1968. A versatile presentation of parameters for rapid recognition of total state International Symposium on Man-Machine Systems, September 1968, IEEE Conference Record 69 C58-MMS.
- COLIN B., 1988. Ergonomie des interfaces, règles des bases de connaissance, manuel d'utilisation du système expert SYNOP. Rapport interne, Université de Valenciennes, Juin 1988.

- COOPER, HARPER, 1969. The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities. Moffett Field, Californie: NASA Ames, Report TN-D-5153, April 1969.
- CUSHMAN W.H., LITTLE R.M., LUCAS R.L., PUGSLEY R.E., STEVENS J.A., 1984. Equipment design. In: Ergonomic design for people at work, by Eastman Kodak Company, Belmont (Californie), Lifetime Learning Publications, volume 1, 1984.
- DANIELLOU F., 1985. La modélisation ergonomique de l'activité de travail dans la conception industrielle, le cas des industries de processus continu. Thèse de Doctorat d'Ergonomie, CNAM, 1985.
- DANIELLOU F., 1986. L'opérateur, la vanne, l'écran : l'ergonomie dans les salles de contrôle. Montrouge, ANACT, collection "Outils et Méthodes", 1986.
- DANIELLOU F., 1988. Ergonomie et démarche de conception dans les industries de processus continus, quelques étapes clés. Le Travail Humain, tome 51, n°2, 1988.
- DANS P., 1979. Evolution technique dans la conception des salles de contrôle pour les industries chimiques. Journées d'Etudes de l'IBRA, Bruxelles, 24 Octobre 1979.
- DE KEYSER V., PIETTE A., 1970. Analyse de l'activité des opérateurs au tableau synoptique d'une chaîne d'agglomération. Le Travail Humain, Tome 33, n°3-4, 1970.
- DE KEYSER V., 1980. Etude sur la contribution que pourrait apporter l'ergonomie à la conception des systèmes de commande et d'alerte dans des industries de transformation. Luxembourg, Rapport S/79/45, volumes 1 et 2, 1980.
- DE KEYSER V., 1987. Dossier stratégique : interactions hommes-machines. Rapport CCE-DF XII n°FS2-0147-B (GDF/DSB), Université de l'Etat de Liège, 1987.
- DE KEYSER V., DECORTIS F., HOUSIAUX A., VAN DAELE A., 1987. Les communications homme-machine dans les systèmes complexes. Rapport politique scientifique FAST n°8, Université de Liège, 1987.

- DE KEYSER V., 1988. Temporal decision making in complex environments. International Workshop on New Technology distributed decision making and responsibility, Bad-Hombourg, May 1988.
- DE RAEDT J., OPDENACKER P., D'ANS G., 1987. Notice d'utilisation du programme de surveillance de vibration. LABORELEC, Belgique, 1987.
- DIDAY E., LEMAIRE J., POUGET J., TESTU F., 1982. Eléments d'analyse de données. Dunod, Paris, 1982.
- DORNER D., 1987. On the difficulties people have in dealing with complexity. In: J. Rasmussen and J. Leplat (Eds.), New Technology and Human Error, Wiley and Sons, Chichester, 1987.
- DRANSART J., 1983. Le rôle et la hiérarchisation des alarmes, les modes d'information des opérateurs, leur évolution. Journées d'Etudes sur la Conception des salles de contrôle sous l'angle de la sécurité et du facteur humain du Décembre 1982, Union des Industries chimiques, Paris, Mai 1983.
- DUMAS P., 1988. Méthodes d'extraction de connaissances pour systèmes experts. Rapport de DEA, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, 1988.
- DUPAS F., 1973. Contribution à la détermination d'un modèle d'opérateur humain effectuant une tâche principale et une tâche secondaire. Thèse de Docteur Ingénieur, Lille, Décembre 1973.
- FASSOTTE D., 1986. Conception des synoptiques sur CRT destinés au contrôle de processus. L'homme et l'écran : aspects de l'ergonomie en informatique, Actes du congrès de Nivelles : l'ergonomie en informatique, Editions de l'Université de Bruxelles, Belgique, 1986.
- FAULLE B., 1983. L'informatique conversationnelle. Les Editions d'Organisation, Paris, 1983.
- FISCHER H., 1985. Les usages sociaux de la couleur, pour une théorie sociologique des couleurs. Cinquième congrès de l'Association Internationale de la Couleur, Monte-Carlo, tome 2, Juin 1985.

- FOLEY J.D., VAN DAM A., 1982. Fundamentals of interactive computer graphics. Addison-Wesley, Reading, Mass, 1982
- FORSTER G., 1984. Ergonomische Gestaltung von Steuerständen unter Berücksichtigung der Steuer, Kontroll und Überwachungstätigkeiten. CCE Projekt, n° 7247-11-001-002, Salzgitter, 1984
- GERTMAN D.I., BLACKMAN H.S., BANKS W.W., PETERSEN R.J., 1982. CRT display evaluation: the multidimensional rating of CRT generated displays. Report for the US Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1982.
- GOODSTEIN L.P., 1982. An integrated display set for process operators. Congrès IFAC : Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems, Baden-Baden, September 1982.
- GRAFF G., 1984. Liquid crystals - Big, bright, even colorful displays. High Technology, volume 4, n° 5, pp. 54-69, 1984.
- GRANDJEAN E., 1983. Précis d'ergonomie. Les Editions d'Organisation, Paris, 1983.
- GRIMM R., 84. Interkama '83 : Bildschirm systeme fur Prozesswarten. Regelungstechnische Praxis, volume 26, n° 25, pp. 204-209, 1984.
- GRZESIAK F., 1987. Représentation des connaissances et techniques d'inférence pour le maniement d'objets graphiques : application au système expert SYNOP. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université de Valenciennes, Mars 1987.
- HARMON P., KING D., 1984. Expert systems. Artificial Intelligence in business. Wiley Press, 1984.
- HAYES-ROTH F., WATERMAN D.A., LENAT D.B., 1983. Building expert systems. Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1983.
- HOURIEZ B., BENKIRANE M., DUMAS P., 1988. Réalisation d'un système expert d'aide au diagnostic des causes de défauts en coulée continue d'acier. Rapport de contrat SOLLAC-IRSID, Juillet 1988.

- HOUSIAUX A., 1988. Supports d'information centralisés et diagnostic en situation d'urgence dans un centre néo-natal. *Le Travail Humain*, tome 51, n°1, 1988.
- HOPGOOD F.R.A., DUCE D.A., GALLOP J.R., SUTCLIFFE D.C., 1986. Le système graphique G.K.S. Masson Editeur, 1986.
- JACOB R.J.K., EGETH H.E., BEVAN W., 1976. The face as a data display. *Human Factors*, volume 18, n°2, pp. 189-200, 1976.
- JANET E., 1982. Ergonomie des dispositifs d'entrée d'informations par repérage sur écran cathodique : revue bibliographique. *Le Travail Humain*, volume 45, n°2, pp. 285-305, 1982.
- JOHANSEN G., RIJNSDORP J.E., TAMURA H., 1985. Matching user needs and technologies of displays and graphics. 2nd IFAC Conference on "Analysis and Evaluation of man-machine systems", Varese, Italy, pp. 46-56, Septembre 1985.
- KOLSKI C., GRZESIAK F., MILLOT P., 1988. Outil de conception et d'évaluation de la page-écran utilisant la technologie des systèmes experts. *Systèmes Experts et Télématique*, Paris, Janvier 1988.
- KOLSKI C., BINOT C., MILLOT P., ROGER D., 1988. Use of ergonomic concepts by an expert system for man-machine graphic interface optimization. *PROLAMAT '88, IFIP/IFAC 7th International Conference Software for Manufacturing*, Dresden, GDR, June 1988.
- KOLSKI C., VAN DAELE A., MILLOT P., DE KEYSER V., 1988. Towards an intelligent editor of industrial control views, using rules for ergonomic design. *IFAC Workshop Artificial Intelligence in real-time control*, Clyne Castle, Swansea, Great Britain, September 1988.
- KOLSKI C., 1988. Mise en œuvre d'une base de connaissances ergonomiques exploitables par le système expert SYNOP pour l'aide à la conception d'images embarquées en automobile et évaluation. *Rapport de contrat RENAULT n° UV/14, LAIH, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis*, Juin 1988.

- KOVAL J.L., 1986. La technique du fenêtrage comme moyen facilitant le dialogue homme-machine dans une expérience d'une leçon de formation assistée par ordinateur. L'homme et l'écran : aspects de l'ergonomie en informatique, Actes du congrès de Nivelles : l'ergonomie en informatique, Editions de l'Université de Bruxelles, Belgique, 1986.
- LAURIERE J.L., 1982. Représentation et utilisation des connaissances. TSI, volume 1, n° 1, p. 25-42 et volume 1, n° 2, pp. 109-132, 1982.
- LEPLAT J., 1972. La psychologie du travail en ergonomie. IN : REUCHLIN Editions, Traité de Psychologie appliquée, tome 3, Presses Universitaires de France, Paris, 1972.
- LEPLAT J., 1985. Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail. Armand Colin Editeur, Paris, 1985.
- LIND M., 1981. The use of flow models for automated plant diagnosis. In: J. Rasmussen and W.B. Rouse (Eds.), Human detection and diagnosis of system failures, Plenum Press, 1981.
- LIND M., 1982. The use of flow models for design of plant operating procedures. Roskilde, RISO National Laboratory, Danemark, 1982.
- LONG T., 1984. Human factors principles for the design of computer graphics displays. British Telecom Technology Journal, n° 2, pp. 5-14, 1984.
- LURIA S.M., NERI D.F., JACOBSEN A.R., 1986. The effects of set size on color matching using CRT displays. Human Factors, volume 28, n° 1, pp. 49-61, 1986.
- Mc CORMICK E.J., SANDERS M.S., 1985. Human factors in engineering and design, fifth edition. Mc Graw-Hill International Book Company, New York, 1985.
- MAHE H., VESOUL P., 1987. Acquisition des connaissances et adaptation à l'utilisateur : outils et méthodes. Septième Journées Internationales : les Systèmes experts et leurs Applications, Avignon, Mai 1987.
- MAIRE F., BRUMENT J.M., 1988. La conduite de projet dans les industries de process. Montrouge, ANACT, Collection Outils et Méthodes, 1988.

- MARRAKCHI M., 1986. Représentation des connaissances pour l'aide au diagnostic industriel, application au système expert SEDIAG. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université de Valenciennes, Avril 1985.
- MAYER A., BARLIER A., 1981. Conditions de travail devant les écrans cathodiques. Etude de l'environnement lumineux. INRS, Cahiers de notes documentaires, n° 104, 1981.
- MEYER J.J., GRAMONI R., KOROL S., REY P., 1979. Quelques aspects de la charge visuelle aux postes de travail impliquant un écran de visualisation. *Le Travail Humain*, tome 42, n° 2, 1979
- MILLER G.A., 1968. Psychology and information. *American Documentation* 19.3, pp. 286-289, July 1968.
- MILLOT P., TABORIN V., KAMOUN A., WILLAEYS D., 1986. Effects of the dynamic allocation of supervision tasks between man and computer on the performances of automated processes. 6th European Conference on Human Decision Making and Manual Control, Cardiff, June 1986.
- MILLOT P., 1987. Coopération homme/machine dans les tâches de supervision des procédés automatisés. Thèse de Docteur ès Sciences, Université de Valenciennes, 1987.
- MILLOT P., WILLAEYS D., 1987. Les approches intelligence artificielle dans les systèmes de supervision. ENAC Intelligence artificielle et contrôle de la navigation aérienne, Toulouse, 1987.
- MILLOT P., KAMOUN A., 1988. An implicit method for dynamic task allocation between man and computer in supervision posts of automated processes. 3rd IFAC congress on Analysis design and evaluation of man-machine systems, Oulu, Finland, June 1988.
- MINSKY M., 1975. A framework for representing knowledge. *The Psychology of Computer Vision*, Editions P.H. Winston, Mc Graw Hill, New-York, pp. 211-280, 1975.
- MITCHELL C.M., MILLER R.A., 1983. Design strategies for computer-based information displays in real-time control systems. *Human Factors*, n° 25, pp. 353-369, 1983.

- MOUSSA F., 1988. Réalisation de bases de connaissances en ergonomie de présentation de l'information à l'écran : application au système expert SYNOP. Rapport de DEA, Université de Valenciennes, Juin 1988.
- MYERS B.A., 1984. The user interface for Sapphire : a screen allocation package providing helpful icons and rectangular environments. IEEE Computer Graphics and Applications, volume 4, n° 12, pp. 12-23, December 1984.
- MYERS B.A., 1985. The importance of percent-done progress indicators for computer-human interfaces. Human Factors in Computing Systems - II, CHI '85 Conference, San Francisco, USA, April 1985.
- NASSIET D., 1987. Contribution à la méthodologie de développement des systèmes experts : application au domaine du diagnostic technique. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université de Valenciennes, Novembre 1987.
- NORMAN D.A., 1983. Design rules based on analysis of human error. Communications of the ACM, volume 26, n° 4, pp. 254-258, April 1983.
- NOTTE D., 1986. Ergonomie, applications informatiques dans les processus industriels continus : le point de vue des opérateurs. L'homme et l'écran : aspects de l'ergonomie en informatique, Actes du congrès de Nivelles : l'ergonomie en informatique, Editions de l'Université de Bruxelles, Belgique, 1986.
- OCHANINE D.A., 1971. L'homme dans les systèmes automatisés. Science du comportement, DUNOD, 1971.
- OLSON J.R., RUETER H.H., 1987. Extracting expertise from experts : methods for knowledge acquisition. Expert systems, volume 4, n° 3, 1987.
- PITRAT J., 1984. Connaissances et métaconnaissances déclaratives. Colloque de L'ARC sur les modes de raisonnement, Orsay, pp. 439-460, 1984.
- PONJAERT D., LAMICHE D., LAROUBINE C., TETARD J., 1982. Guide de conception et de réalisation - Teletel. Teletel, Paris, 1982.
- RASMUSSEN J., 1980. The human as a system component. In: H.T. Smith and T.R.G. Green (Eds.), Human Interaction with Computer, London Academic Press, 1980.

- RASMUSSEN J., 1983. Skills, rules and knowledge; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. IEEE JMC, volume 13, n°3, pp. 257-266, 1983.
- RASMUSSEN J., VICENTE K.J., 1987. Cognitive control of human activities and errors : implications for ecological interface design. RISO Technical Report M-2660, RISO National Laboratory, Roskilde, Danemark, September 1987.
- ROUSE W.B., 1983. Models of Human Problem Solving: detection, diagnosis and compensation for system failures. Automatica, volume 19, n° 6, Special Issue on control Frontiers in knowledge based and Man-Machine systems, pp. 613-625, 1983.
- SALLIO P., 1983. Utilisation des couleurs en technique vidéotex : cas des écrans textuels. Radiodiffusion-télévision, n° 78, Editions IPF, Paris, 1983.
- SCAPIN D., 1986. Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine. Rapport technique INRIA, n°77, Le Chesnay, 1986.
- SCHNEIDERMAN B., 1984. Correct, complete operations and other principles of interaction. In: Salvendy G. (Ed.), Human-Computer Interaction, Amsterdam, Elsevier, pp. 135-146, 1984.
- SFERCA, 1987. IMAGIN : documentation technique. SFERCA, Centre tertiaire Mercure, Tourcoing, 1987.
- SIEBERT S., SICARD Y., THEBAULT M.H., 1988. Comparaison d'interfaces de conduite. Essais incidentels sur pupitre imageries graphiques. Le Travail Humain, tome 51, n°1, 1988.
- SPERANDIO J.C., BOUJU F., 1983. L'exploration visuelle de données numériques présentées sur écran cathodique. Le Travail Humain, tome 46, n°1, 1983.
- SPERANDIO J.C., 1988. L'ergonomie du travail mental. Editions Masson, Paris, 1988.
- STASSEN H., 1985. Decision demands an tasks requirements in works environment. What can be learnt from Human Operator modelling. NATO

- Advanced Study Institute: Intelligent decision Aids in Process environments, San Miniato, Italy, September 1985.
- STEWART T.F.M., 1976. Displays and the software interface. *Applied Ergonomics*, volume 7, n° 3, pp. 137-146, 1976.
- STEWART T.F.M., 1980. Communicating with dialogues. *Ergonomics*, n° 23, pp. 909-919, 1980.
- TABORIN V., MILLOT P., 1986 et 1988a. ALLIANCE : Système de gestion d'alarmes utilisant les techniques de l'intelligence artificielle. Rapports de contrat MRES-ADI en collaboration avec CEA, LAG, ITMI, IIRIAM, SHELL RECHERCHE, SGN, EDF, Juillet et Novembre 1986, Mai 1988.
- TABORIN V., MILLOT P., 1988b. Projet ALLIANCE : interface de communication entre les opérateurs et le système expert d'aide à la décision. Journée SEE, Systèmes experts et conduite de processus en ligne, Ecole Supérieure d'Electricité, France, Octobre 1988.
- TABORIN V., 1989. Communication homme-machine au sein des systèmes de supervision de procédé continu. Réalisation des interfaces entre opérateur et système d'aide à la décision. Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, Mars 1989.
- TANG X., MILLOT P., 1988. Définition et concentration des informations pertinentes pour les opérateurs en salle de contrôle. ERGO-IA '88 : Les apports de l'Ergonomie et de l'Informatique Avancée à la Conception des Systèmes Interactifs, Biarritz, Octobre 1988.
- TESSIER C., 1984. MESSAGE : un outil d'analyse ergonomique de la gestion de vol. Thèse de Docteur Ingénieur, ENSAE, Toulouse, Décembre 1984.
- TULLIS T.S., 1983. The formatting of alphanumeric displays: a review and analysis. *Human Factors*, n°25, pp. 657-682, 1983.
- ULICH E., 1986. Dimensions of user friendly in offices technology. *Information Technology in Offices*, Symposium at the 21st International Congress of IAAP, Jerusalem, July 1986.

- VALENTIN A., LUCONGSANG R., 1987. L'ergonomie des logiciels. ANACT, Collection Outils et Méthodes, Paris, 1987.
- VAN DAELE A., 1988a. Réduire l'écart entre la conception et l'évaluation des aides logicielles à l'opérateur : contribution de l'analyse de l'activité. In: De Keyser et Van Daele (Eds.), L'ergonomie de conception, Edition Deboeck, Bruxelles, 1988.
- VAN DAELE A., 1988b. L'écran de visualisation ou la communication verbale ? Analyse comparative de leur utilisation par des opérateurs de salle de contrôle en sidérurgie. Le Travail Humain, tome 51, n°1, 1988.
- VAN DER VELDT R.J., VAN DEN BOOMGAARD W.A., 1986. Predictive information in the control room. 5th European Annual Manual Conference on Human Decision Making and Manual Control, June 1985, dans Willumeit Editor, North Holland, 1986.
- VITTET J., 1981. Eléments pour une conception intégrée des salles de contrôle. Thèse de Docteur Ingénieur, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1981.
- WANNER J.C., 1987. Facteur humain et sécurité. Séminaire : Erreurs humaines et automatisation, Ecole Nationale de l'Aviation Civile, 19-20 Mai 1987.
- WOODS D.D., WISE J.A., HANES L.F., 1981. An evaluation of nuclear power plant safety parameter display systems. Human Factors Society, 25th Annual meeting, pp. 110-114, 1981.
- WOODSON W.E., CONOVER D.W., 1978. Guide d'ergonomie, adaptation de la machine à l'homme. Les Editions d'Organisation, Paris, 1978.
- ZUCKERMAN M.M., 1984. Innovative display technologies. Why a flat panel when you can have a CRT? IEEE Computer Graphics and Applications, Volume 4, n°4, pp. 9-15, 1984

ANNEXE 1 :

EXEMPLES DE METAREGLES **UTILISEES DANS SYNOP**

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE META-CONNAISSANCE » :
LES ZONES STRATEGIQUES

```
.*****  
,  
si (existe-cadre x1)  
alors (base-zone x1)  
.*****  
,  
si (prevention x1)  
alors (base-prevention x1)  
.*****  
,  
si (VRAI x1)  
alors (base-nombres x1)  
.*****  
,  
si (couleurs-strategiques x1)  
alors (base-couleurs-processus x1)  
.*****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE META-CONNAISSANCE » :
LES FONDS DE PLAN

```
.*****  
,  
si (existe-rectangles x1)  
alors (base-pave x1)  
.*****  
,  
si (existe-texte x1)  
alors (base-texte x1)  
.*****  
,  
si (editeur x1)  
alors (base-imagin x1)  
.*****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE META-CONNAISSANCE » :
LES FONCTIONS D'ANIMATIONS

```
.*****  
,  
si (existe-courbe x1)  
alors (base-courbe x1)  
.*****  
,  
si (existe-message x1)  
alors (base-message x1)  
.*****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE META-CONNAISSANCE » :
LES VUES « SYMBOLES »

```
.*****  
,  
si (prevention x1)  
alors (base-prevention-smb x1)  
.*****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE META-CONNAISSANCE » :
LES OBJETS DES VUES « SYMBOLES »

```
.****  
,  
si      (existe-texte  x1)  
alors   (base-texte   x1)  
.****  
,  
si      (VRAI          x1)  
alors   (base-nombres-smb  x1)  
.****  
,  
si      (existe-cadre          x1)  
alors   (base-cadre-correction x1)  
.****  
,
```

ANNEXE 2 :

EXEMPLES DE REGLES D'ACTION **UTILISEES DANS SYNOP**

Remarque préliminaire : une action appelée « recommandation » implique que la règle se contente de fournir des recommandations ergonomiques à l'opérateur.

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
LA PREVENTION

```
.*****  
,  
si (concerne-prevention x1)  
alors (couleurfonc+env x1)  
.*****  
,  
si (couleur-pas-convention x1)  
alors (couleurfonc+env x1)  
.*****  
,  
si (couleur-mauvaise x1)  
alors (couleurfonc+env x1)  
.*****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
LA PREVENTION-2

```
.*****  
,  
si (sym-concerne-prev x1)  
alors (sym-couleur x1)  
.*****  
,  
si (sym-couleur-pas-conv x1)  
alors (sym-couleur x1)  
.*****  
,  
si (sym-couleur-mauv x1)  
alors (donner-couleur x1)  
.*****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
L'EDITEUR IMAGIN

```
.*****  
,  
si (contient-mauvais-carac x1)  
alors (recommandation x1)  
.*****  
,  
si (VRAI x1)  
alors (recommandation x1)  
.*****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
LA REPRESENTATION D'UN SYMBOLE

```
.*****  
,  
si (nb-objets x1)  
alors (recommandation x1)  
.*****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
LES MESSAGES

```
.****  
,  
si (message-minuscule x1)  
alors (lettre-1-mes-en-majus x1)  
.****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
CONTROLE DE PROCESSUS

```
.****  
,  
si (rouge x1)  
alors (mettre-en-vert x1)  
.****  
,  
si (jaune x1)  
alors (mettre-couleur-vert x1)  
.****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
LES TEXTES-1

```
.****  
,  
si (haut4 x1)  
alors (set-hauteur-4 x1)  
.****  
,  
si (inclin x1)  
alors (avertir-inclinaison-mauvaise x1)  
.****  
,  
si (largeur x1)  
alors (set-largeur-75%-hauteur x1)  
.****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
LES TEXTES-2

```

;*****
si (hauteur-inf-4 x1)
alors (set-hauteur-4 x1)
;*****
si (inclin x1)
alors (recommandation x1)
;*****
si (largeur x1)
alors (donner-largeur x1)
;*****
si (blanc x1)
alors (recommandation x1)
;*****
si (hauteur>6mm x1)
alors (donner-hauteur x1)
;*****

```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
LES PAVES COLORES

```

;*****
si (vert x1)
((et) (bleu x2)
((et) (proche x1 x2)
((et) (fillarea x1)
((et) (fillarea x2)
alors (ecarter x2)
;*****

```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
LES ZONES STRATEGIQUES

```

;*****
si (dans-coin-sup-gauche x1)
alors (recommandation x1)
;*****
si (dans-coin-inf-droit x1)
alors (recommandation x1)
;*****
si (mes-coin-inf-droit x1)
alors (recommandation x1)
;*****
si (dans-cadre x1)
((et) (cadre-zone-commande x1)
alors (recommandation x1)
;*****

```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
LES COURBES

```
.****  
,  
si (pas-axes x1)  
alors (recommandation x1)  
.****  
,  
si (pas-de-sens x1)  
alors (recommandation x1)  
.****  
,  
si (sens-non-conventionnel x1)  
alors (recommandation x1)  
.****  
,
```

LIBELLE DES REGLES DE LA « SOUS-BASE DE CONNAISSANCE » :
LE NOMBRE DE FONCTIONS

```
.****  
,  
si (nb-foncani>10 x1)  
alors (select-fonc x1)  
.****  
,  
si (nb-objets x1)  
alors (recommandation x1)  
.****  
,
```

Titre

Contribution à l'ergonomie de conception des interfaces graphiques homme-machine dans les procédés industriels : Application au système expert SYNOP

Résumé

La thèse concerne le développement et la validation du système expert SYNOP pour l'évaluation ergonomique et l'amélioration de vues graphiques exploitées dans les salles de contrôle de procédés industriels. SYNOP utilise un moteur d'inférence du premier ordre et les notions de frame et de réseau sémantique pour la représentation des connaissances. Il est écrit en langage LISP. Ses bases contiennent des concepts ergonomiques de présentation d'information sur écran graphique. Le module d'évaluation de SYNOP, ainsi que ses interfaces expert et utilisateur, sont détaillés. Les principes d'élaboration et de validation des bases de connaissances ergonomiques de SYNOP sont expliqués. Le mémoire décrit également la contribution du système expert SYNOP à l'évaluation et l'amélioration d'une interface graphique dans un contexte industriel. Le mémoire se termine par des perspectives d'évolution de SYNOP.

Mots-clés

Interaction homme-machine, SYNOP, système expert, évaluation d'interface utilisateur, base de connaissance, intelligence artificielle, interface utilisateur, présentation de l'information, vue graphique, synoptique industriel, règle ergonomique, ergonomie de conception, salle de contrôle, procédé industriel

Title

Contribution to the ergonomic design of human-machine graphic interfaces in industrial processes: Application to the SYNOP expert system

Abstract

The doctoral thesis concerns the development and validation of the SYNOP expert system for the ergonomic evaluation and improvement of graphic views used in control rooms of industrial processes. SYNOP uses a first-order inference engine and the concepts of frame and semantic network for knowledge representation. It is written in LISP language. Its knowledge bases contain ergonomic concepts for information presentation on graphic screens. Its evaluation module, as well as its expert and user interfaces, are detailed. The principles for developing and validating its ergonomic knowledge bases are explained. The thesis also describes the contribution of the SYNOP expert system to the evaluation and improvement of a graphical user interface in an industrial context. The thesis ends with several research perspectives.

Keywords

Human-machine interaction, SYNOP, expert system, user interface evaluation, knowledge base, artificial intelligence, user interface, information presentation, graphic view, mimic display, ergonomic guideline, ergonomic design, control room, industrial process