

50376
1978
167
N° d'ordre : 729

THESE

50376
1978
167

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE 3ème CYCLE EN AUTOMATIQUE

par

Félix FITOUSSI

DEFINITION ET ETUDE DU PROBLEME D'ASSISTANCE
DE FABRICATION DANS UNE CHAINE D'USINAGE
A FORTE CADENCE DE PRODUCTION



Soutenu le 8 novembre 1978 devant la Commission d'Examen

Messieurs

P. VIDAL
C. MELIN
J.M. TOULOTTE
L. POVY
A. PETTE

Président
Rapporteur

Examineurs
Invité

A Geneviève

A mes parents

AVANT PROPOS

Le travail, présenté dans ce mémoire, a été réalisé au centre d'automatique de Lille, en collaboration avec l'usine PRV - Française de mécanique à Douvrin.

Nous tenons à exprimer, ici, toute notre reconnaissance à Monsieur le professeur Vidal pour l'accueil qu'il nous a réservé lors de notre arrivée à Lille, ainsi que pour ses qualités humaines et les enseignements qu'il nous a prodigués tout au long de ces années passées au centre d'automatique.

Tous nos remerciements vont également à :

Monsieur Melin dont les conseils et l'amicale sollicitude nous ont sans cesse guidés et soutenus durant toute cette étude.

Monsieur Toulotte qui a bien voulu prendre un intérêt tout particulier à notre travail, nous prodiguant ses bons conseils et son savoir.

Monsieur Povy qui nous a toujours témoigné d'une profonde amitié et de grandes qualités de coeur.

Monsieur Pette, sans l'aide et l'apport duquel ce travail n'aurait été possible.

L'ensemble de nos travaux n'a pu être mené à bien que grâce à la coopération et l'aide amicale de tout le personnel, et de nos collègues chercheurs du centre d'automatique de Lille, auxquels nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements.

Enfin, nous ne saurions terminer cet avant propos sans exprimer toute notre reconnaissance à tous nos anciens professeurs qui ont suivi notre scolarité, à Messieurs Franchaud et Veinnant qui nous ont apporté leur aide technique, à Madame Fitoussi et à Monsieur Houzé qui ont collaboré à la réalisation de ce mémoire.

Nous les en remercions très sincèrement.

TABLE DES MATIERES

	Pages
<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	
<u>PREMIERE PARTIE</u> : Etude détaillée du problème "ASSISTANCE DE FABRICATION"	
<u>CHAPITRE 1</u> : Définition du problème "assistance de fabrication"	
INTRODUCTION	1.1
I.1 - GENERALITES	1.1
Commande-Contrôle	1.1
Gestion de production	1.2
Assistance de Fabrication	1.2
I.2 - LE PROBLEME POSE	1.3
I.3 - ANALYSE DU FONCTIONNEMENT D'UNE CHAINE D'USINAGE	1.4
I.3.1 - Les causes d'arrêt	1.4
I.3.2 - La "marche normale" (MN)	1.5
I.3.3 - Informations concernant le fonctionnement normal d'une machine	1.5
I.3.4 - Evolution de l'état d'une machine	1.7
I.3.5 - Aléas de fonctionnement	1.9
I.4 - LE CAHIER DES CHARGES "ASSISTANCE DE FABRICATION"	1.9
I.4.1 - La gestion des cycles	1.10
I.4.2 - La gestion des outils	1.10
I.4.3 - La gestion des pièces	1.11
I.4.4 - Les dialogues	1.12
I.4.5 - La fonction archivage	1.13
I.4.6 - Tableau récapitulatif des spécifications fonctionnelles du cahier des charges	1.14
CONCLUSION	1.16

	Pages
<u>CHAPITRE 2</u> : L'assistance de fabrication "MATRA"	
INTRODUCTION	2.1
II.1 - CAHIER DES CHARGES RELATIF A L'USINE DE DOUVRIN	2.1
II.1.1 - Spécifications technologiques	2.1
II.1.2 - Spécifications opérationnelles	2.5
II.2 - DESCRIPTION DE L'ASSISTANCE DE FABRICATION "MATRA" (aspect matériel)	
II.2.1 - L'équipement central	2.6
II.2.2 - L'équipement local	2.6
II.2.3 - Le système d'acquisition et de transmission	2.8
II.2.4 - Moyens annexes mis à la disposition des utilisateurs de l'assistance de fabrication	2.11
II.3 - ETUDE TECHNIQUE DU LOGICIEL - EXPLOITATION DU SYSTEME "MATRA"	2.12
II.3.1 - Les différentes phases d'exploitation (hors temps réel)	2.13
II.3.2 - Les tâches "temps réel"	2.14
II.3.3 - Techniques de secours (reconfiguration - marche dégradée)	2.20
CONCLUSION	2.21
<u>CHAPITRE 3</u> : Etude critique du système - Extensions	
INTRODUCTION	3.1
III.1 - REMARQUES CONCERNANT L'EXPLOITATION DU SYSTEME	3.1
III.1.1 - L'opinion des utilisateurs	3.3
III.1.2 - Remarques concernant la réalisation technique	3.5

	Pages
III.2 - VOIES DE PROGRES ET PROJET D'EXTENSION DU SYSTEME	3.7
III.2.1 - Principe du système complet	3.7
III.2.2 - Eléments du logiciel et remarques sur le système	3.11
III.3 - REALISATIONS EFFECTUEES POUR ETENDRE LE SYSTEME "MATRA"	3.13
III.3.1 - Extension du système de Douvrin	3.14
III.3.2 - La gestion automatique du magasin d'outillage	3.15
CONCLUSION	3.17

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE : VOIES DE PROGRES A LONG TERME

SECONDE PARTIE : Définition d'une architecture et modèle d'une "ASSISTANCE DE FABRICATION"

CHAPITRE 4 : Présentation du système

INTRODUCTION	4.1
IV.1 - NIVEAU PRIMAIRE OU NIVEAU MACHINE-OUTIL	4.1
IV.1.1 - Cas où les machines-outils sont équipées d'un automate programmable	4.2
IV.1.2 - Cas classique	4.2
IV.1.3 - Description fonctionnelle	4.2
IV.2 - LE NIVEAU MOYEN	4.6
IV.2.1 - Description fonctionnelle	4.6
IV.2.2 - Principe du fonctionnement et description matérielle	4.8
IV.3 - LE NIVEAU SUPERIEUR	4.13
CONCLUSION	4.14

	Pages
<u>CHAPITRE 5</u> : L'unité d'échange (U.E.)	
INTRODUCTION	5.1
V.1 - DESCRIPTION DE L'UNITE	5.1
V.1.1 - Principe de l'unité	5.1
V.1.2 - Le circuit "modem"	5.3
V.1.3 - Le circuit transmission de caractères	5.4
V.1.4 - Les circuits de mémorisation	5.5
V.1.5 - La logique de commande	5.8
V.2 - PROBLEME DE LA SECURITE DES TRANSMISSIONS	5.12
V.2.1 - Les erreurs détectées par l'unité	5.12
V.2.2 - Codes détecteurs et correcteurs d'erreurs	5.12
CONCLUSION	5.14
<u>CHAPITRE 6</u> : Logiciel du système (Niveaux moyen et supérieur)	
INTRODUCTION	6.1
VI.1 - ACQUISITION ET DECODAGE AU NIVEAU MOYEN D'UN MESSAGE A_k	6.1
VI.1.1 - Les différents types de messages-coffret	6.1
VI.1.2 - Acquisition et reconnaissance des messages	6.5
VI.2 - LE LOGICIEL DU NIVEAU MOYEN	6.5
VI.2.1 - Initialisation des coffrets	6.6
VI.2.2 - Fonction de pilotage	6.6
VI.3 - LE NIVEAU SUPERIEUR	6.14
CONCLUSION	6.15
<u>CHAPITRE 7</u> : Les problèmes de la fiabilité	
INTRODUCTION	7.1

	Pages
VII.1 - FONCTION "DEGRADEE" ET RECONFIGURATION DU SYSTEME	7.1
VII.1.1 - Arrêt du calculateur au niveau supérieur	7.1
VII.1.2 - Les pannes au niveau moyen	7.2
VII.1.3 - Cas d'une coupure de transmission	7.3
VII.2 - PROCEDURES DE TESTS AUTOMATIQUES DU NIVEAU PRIMAIRE	7.5
VII.3 - SIMULATION DE FONCTIONNEMENT DES COFFRETS	7.6
CONCLUSION	7.9

CONCLUSION GENERALE

ANNEXE : Accès parallèle à une mémoire

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

INTRODUCTION GENERALE

=====

Le monde industriel n'a cessé de croître durant ce dernier quart de siècle. Les clients des diverses industries ont sans cesse réclamé des produits de plus en plus élaborés et des délais de livraison de plus en plus brefs. Par ailleurs, l'évolution des techniques a généré, la concurrence aidant, une diversification de plus en plus poussée des produits finis, présentant des performances toujours plus accrues.

Pour pouvoir répondre à ces impératifs, tant techniques que commerciaux, les industriels ont dû unir leurs efforts pour aboutir à des ensembles de plus en plus grands et complexes.

L'accroissement de la mécanisation, les différentes articulations dans un atelier de production, les exigences et la diversification de la production, les changements dans la qualification et les aspirations des ouvriers ... ont posé un ensemble considérable de problèmes nouveaux aux responsables de la production.

Dans le but de fournir à ces hommes les moyens de mener à bien leur tâche, l'informatique s'est introduite naturellement dans le milieu industriel. Le problème est complexe : nous trouvons d'un côté la production, de l'autre l'informatique et l'automatique ; les premières tentatives qui ont été réalisées pour marier ces deux entités essentiellement différentes, découlaient de méthodes de gestion (pris au sens de la comptabilité) que l'on connaissait bien. Par la suite, le processus qui ne gérait encore que "la comptabilité" de l'usine, c'est-à-dire de ses rapports financiers avec le monde extérieur, ainsi que du personnel et du magasin à l'intérieur, a dû être encore élargi pour y inclure tous les problèmes internes de l'usine jusqu'à la plus simple machine, et même encore plus pour prévoir et contrôler l'usure de ses outils, sa "production instantanée", la qualité ... Où devons-nous arrêter notre énumération ? Quelles sont les informations utiles pour les responsables ? A qui faut-il délivrer l'information ?

Peu à peu, après la "gestion de production", une nouvelle notion a vu le jour, celle "d'assistance de fabrication". Le but de cette étude vise à préciser quelque peu cette notion.

La première partie de notre travail est consacrée à l'analyse détaillée du problème. Nous allons, tout d'abord, replacer le problème dans un cadre précis, en l'énonçant par rapport à d'autres notions plus ou moins générales et que l'on confond assez fréquemment dans le langage courant. Cette distinction essentielle étant établie, nous pourrions introduire un cahier des charges, afin de définir complètement la nature du problème dans tous ses prolongements.

L'originalité et la complexité de l'ensemble ainsi défini nous a alors conduit à l'étude d'une des premières assistance de fabrication, celle qui a été réalisée par la société MATRA, à l'usine de Douvrin. L'étude fonctionnelle que nous reportons ici laisse apparaître un système original sous son aspect matériel et logiciel.

L'étude critique de cette assistance de fabrication, appuyée par le cahier des charges introduit au premier chapitre, nous permettra de discerner quelques critiques qui pourront servir de base à l'étude d'un nouveau système ; nous reporterons également quelques projets et réalisations menés pour "parachever" le système pré-cité.

La seconde partie est consacrée entièrement à la détermination d'une structure permettant une réalisation du problème d'assistance de fabrication.

Nous proposons un système décentralisé, multiprocesseur, capable de prendre en compte un maximum de données recueillies dans notre étude critique du problème.

La description matérielle que nous énoncerons dans un premier temps, nous permettra de mettre en évidence trois niveaux fonctionnels desservis par les trois niveaux du système proposé.

Les transmissions, dans le système, sont réalisées suivant un réseau téléphonique classique, à trois directions. Chaque ligne est desservie en dernier ressort par une unité d'échange originale dont la description occupera le chapitre suivant.

Nous utiliserons les réseaux de Pétri pour faciliter la lecture du logiciel du système, décrivant ainsi de façon concise les différents modules utilisés.

Enfin, nous étudierons différents aspects du problème posé par la fiabilité du système, envisageant à tour de rôle divers moyens de fonctionnement "anormaux" ou partiels (reconfiguration et marche dégradée) ainsi que de moyens de contrôle (tests en ligne, simulateur de coffret au niveau primaire).

PREMIERE PARTIE

ÉTUDE DÉTAILLÉE DU PROBLÈME "ASSISTANCE DE

FABRICATION"

Chapitre 1

DEFINITION DU PROBLEME "ASSISTANCE DE FABRICATION " =====

INTRODUCTION

Avant d'aborder notre étude, il convient dans un premier temps, de définir, de façon plus approfondie, le but de ces travaux, c'est le propos de ce premier chapitre. Après avoir précisé le sens qu'il faut donner ici à l'expression "*assistance de fabrication*", nous décrirons le sujet de l'étude et une analyse rapide du fonctionnement d'une chaîne d'usinage ; cela nous permettra alors de définir un cahier des charges fonctionnelles du problème.

I.1 - Généralités

Commande-contrôle, gestion de production et assistance de fabrication, ces trois notions qui sont apparues avec la naissance de la grande industrie, sont très largement utilisées, sans être, dans de nombreux cas, parfaitement définies. Disons, en première approche, que bien qu'étroitement imbriquées, ces trois notions diffèrent par leur domaine d'application, leur portée, et leurs objectifs.

Commande-contrôle : la mission générale de tels systèmes est la surveillance et la régulation d'outils de production (CARN.). La portée d'un tel système est limitée à une usine ; le système s'applique à des machines : il reçoit des informations par l'intermédiaire de capteurs et donne en retour une commande directement accessible par la machine, voire une valeur précise bien que transmise manuellement.

Gestion de production : cette expression, par contre, est moins précise que la précédente. Elle englobe un domaine plus vaste que l'expression précédente, puisqu'elle peut l'inclure, mais les limites sont encore floues. La gestion de production est "l'art" de minimiser le temps qui va s'écouler entre le temps de la réception d'une commande par les services commerciaux et le moment où le magasin d'une usine donnée va effectuer l'expédition de ladite commande.

Le système ne s'applique plus ici directement aux machines, mais aux structures, au personnel, aux commandes en fournitures et matières premières, et indirectement aux machines. Les entrées sont très diverses ; elles comprennent bien sûr le livre des commandes, mais aussi le potentiel de production, les "directives" de la direction, la conjecture du marché en matières premières, la capacité de stockage, les possibilités de l'innovation technique, les pressions du personnel...

Assistance de fabrication : la finalité et le but sont fondamentalement différents de la gestion de production. Il s'agit ici d'assurer dans l'usine une circulation correcte de l'information, ce qui doit permettre à chacun d'assurer son travail dans les meilleures conditions, et donc, en définitive, d'obtenir pour l'usine un rendement maximum, compte-tenu évidemment de ses moyens de production.

La portée d'une assistance de fabrication est limitée à une usine, voire même souvent à un sous-ensemble d'une usine ; elle s'adresse à des personnes. Ses entrées sont des informations, soit de type manuel, soit en provenance de machines. Afin qu'elle soit complète et efficace, elle doit inclure l'ensemble des moyens et des informations de l'usine, ou du sous-ensemble, appelés à jouer un rôle dans la production. Nous verrons en établissant un cahier des charges détaillé les conséquences ou les limitations que la réalisation pratique peut nous imposer.

Vis-à-vis de l'assistance de fabrication, la gestion de production est à la fois une entrée (plan de production) et une sortie du système (journal de bord de la fabrication, compte-rendu des incidents, production et état des stocks...).

Signalons pour terminer ce paragraphe que plusieurs chercheurs se sont appliqués à donner des définitions plus ou moins formelles de ces expressions : { DOUM.₁ }, { DOUM.₂ }, { LILE. }, { DURE. }, et { FAUC. }.

I.2 - Le problème posé

Notre étude a commencé sur la base d'une convention de recherche en liaison avec le CREATI-ADRINORD (marché d'étude de l'I.R.I.A.) et en liaison directe avec l'usine Française de Mécanique.

But de l'étude :

étudier le développement d'un système d'assistance de fabrication pour l'usinage à grande cadence des pièces de moteurs thermiques pour l'automobile.

En particulier :

- étude critique sur l'exploitation du système existant (conçu par la Société MATRA).
- étude critique sur la saisie des informations tant sur le plan fonctionnel que sur le plan ergonomique.
- recherche d'une structure fonctionnelle standard correspondant à ce type de système :
 - . étude d'un terminal de saisie de données dans l'atelier
 - . définition d'une ossature informatique.

C'est ce dernier point qui a plus particulièrement retenu notre attention et qui sera développé dans la seconde partie de notre travail.

Avant d'établir un cahier des charges détaillé d'une assistance de fabrication, il convient à présent d'avoir une idée très précise de l'ensemble auquel il faudra l'appliquer : la chaîne d'usinage et son environnement. Nous allons rappeler ici une partie des résultats principaux obtenus par G. Bleuse { BLEU. } et qui nous seront utiles par la suite.

1.3 - Analyse du fonctionnement d'une chaîne d'usinage

L'ensemble des résultats que nous reportons ici pourraient indifféremment s'appliquer pour des machines de type manuel ou semi-automatique ; toutefois, l'exploitation de ces données ne prend toute sa signification que lorsqu'il s'agit de machines automatiques ; c'est donc dans ce cas que nous nous placerons dans la suite de notre étude.

Une chaîne est composée d'un ensemble discret d'éléments que constituent les différentes machines qui la composent, et sur lesquelles on a défini une relation d'ordre.

L'état de la chaîne est la réunion de tous les états des différentes machines ; la chaîne n'est en fonctionnement normal que si toutes les machines le sont ; c'est pourquoi on se borne ici à étudier le fonctionnement d'une machine.

1.3.1 - Les causes d'arrêt

DIS : mise en DISponibilité, c'est-à-dire : arrêt sur une décision de la maîtrise.

AM : Arrêt Machine (cette dénomination regroupe l'ensemble des pannes qui peuvent survenir).

CO : arrêt pour effectuer un Changement d'Outil (voir plus loin "charnière d'une classe d'outil").

MP : arrêt car il Manque du Personnel (par exemple pour changer les outils ou pour effectuer un réglage).

DES : DESamorçage : l'entrée de la machine n'est plus fournie en pièces à traiter.

SAT : SATuration : par suite d'un encombrement des convoyeurs, la machine n'est plus en mesure d'évacuer les pièces qu'elle vient de traiter.

1.3.2 - La "marche normale" (MN)

La marche normale est définie par l'état logique :

$$E_1 = MN \cdot \overline{DIS} \cdot \overline{AM} \cdot \overline{CO} \cdot \overline{MP} \cdot \overline{DES} \cdot \overline{SAT}$$

L'état d'une machine est une combinaison de ses états élémentaires :

$$E = \{MN, DIS, AM, CO, MP, DES, SAT\}$$

Par extension, l'état d'une chaîne sera une combinaison des états élémentaires de chaque machine, indicés par le numéro de celle-ci.

1.3.3 - Informations concernant le fonctionnement normal d'une machine

. Temps de Cycle (Tcy) : il est défini comme le temps de travail mécanique qui sépare la commande du premier mouvement de la barre de transfert, à l'entrée de la machine, de l'instant où l'on reçoit l'acquittement, de la fin du dernier mouvement de la barre de transfert, à la sortie de la machine.

L'écart entre la valeur prévue (Tcy) et la valeur mesurée (tcy) peut fournir une indication sur la bonne marche de la machine. Les temps sont exprimés en centièmes de minute.

. Cadence instantanée : c'est le nombre maximum de pièces usinées en une heure :

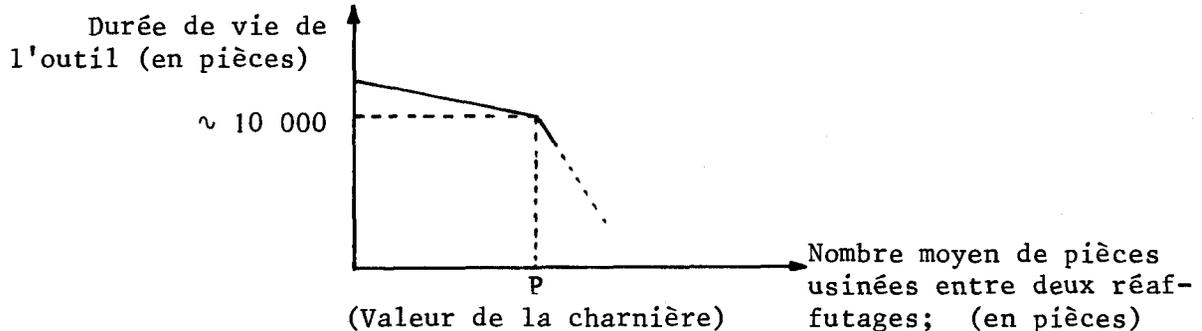
$$\text{cad. inst.} = \frac{6\ 000}{\text{temps de cycle}}$$

. Temps alloué et cadence moyenne : le temps alloué est le temps moyen de la durée d'une opération d'usinage (t.all.)

$$\text{cad. moy.} = \frac{6\ 000}{\text{t.all.}}$$

. Charnière d'un outil : elle s'exprime en nombre de pièces usinées et indique le moment où l'outil doit être remplacé (pour être réaffuté).

La charnière d'un outil est une valeur théorique qui résulte d'un compromis entre les frais dûs à une usure excessive d'un outil, et les frais dûs à l'arrêt de la machine pour changement d'outil (CO).



Remarquons ici qu'un outil usé peut être une des causes d'une augmentation de (tcy).

Citons enfin d'autres informations qu'on peut relever et qui seront utiles au service des méthodes dans l'établissement de leur plan de production :

. Rendement par machine : si on appelle (t.ouv.) le temps d'ouverture (temps pendant lequel la chaîne a fonctionné), (t.dis.) le temps de mise en disponibilité de la machine considérée, et (Q_p) la quantité de pièces produites, on obtient le rendement de la machine i : (R_i) :

$$R_i = \frac{Q_p \times 100}{\text{cad. moy.} (t.\text{ouv.} - t.\text{dis.})}$$

. Temps normal de production (TNP) : t_{MN} est le temps de marche normale, t_{CO} le temps d'arrêt pour changement d'outil :

$$TNP = t_{MN} - t_{CO}$$

On définit aussi un TNP gamme :

$$TNP_g = \frac{Q_p \times 100}{\text{cad. moy.}}$$

La différence ($TNP_g - TNP$) indique une variation du temps de cycle de la machine ou du temps nécessaire pour effectuer un changement d'outil.

. Un coefficient "de bon fonctionnement" (E) :

$t_{eng.}$ est le temps d'engagement ; $t_{eng.} = t_{ouv.} - (t_{dis.} + t_{MP})$

$$E = \frac{t_{MN}}{t_{eng.}}$$

Le coefficient E est d'autant plus petit que les arrêts de l'ensemble {AM, CO, DES, SAT} seront grands.

. Usure moyenne des outils pour chaque classe (Us.moy.) :

q_p : quantité produite en moyenne (nombre moyen de pièces usinées) entre deux affûtages ; Charn. : valeur de la charnière pour la classe considérée.

$$Us.moy. = \frac{q_p}{Charn.}$$

1.3.4 - Evolution de l'état d'une machine

De ce qui vient d'être dit, nous pouvons dégager cinq familles d'états pour une machine que l'on peut décrire par les relations logiques suivantes :

. "La marche normale" :

$$E_1 = \overline{MN} \cdot \overline{DIS} \cdot \overline{AM} \cdot \overline{CO} \cdot \overline{SAT} \cdot \overline{DES} \cdot \overline{MP}$$

. "Arrêt volontaire" (sur une décision de la maîtrise)

$$E_2 = \overline{MN} \cdot DIS \cdot \overline{AM} \cdot \overline{CO} \cdot \overline{SAT} \cdot \overline{DES} \cdot \overline{MP}$$

. "Arrêt involontaire" (on regroupe ici tous les divers incidents)

$$E_3 = \overline{MN} \cdot \overline{DIS} \cdot (AM + MP + CO + SAT + DES)$$

. "Non engagée" (période en général courte entre deux cycles)

$$E_4 = \overline{MN} \cdot \overline{DIS} \cdot \overline{AM} \cdot \overline{CO} \cdot \overline{SAT} \cdot \overline{DES} \cdot \overline{MP}$$

. Etats "impossibles" : (cet état regroupe toutes les combinaisons possibles qui ne sont pas dans les états qui précèdent ; par exemple, l'état MN . AM ...) ;

$$E_5 = \overline{E_1} \cdot \overline{E_2} \cdot \overline{E_3} \cdot \overline{E_4}$$

Il faut alors suspecter un fonctionnement anormal du système de surveillance ou une mauvaise manipulation de celui-ci.

Les réceptivités, prises au sens "réseau de Pétri" {BLAN.}, qui vont déclencher les transitions entre ces différents états, sont :

DDIS et FDIS : Début et Fin de mise en DISponibilité

DAM et FAM : Début et Fin d'Arrêt Machine

DCO et FCO : Début et Fin de Changement d'Outil

DSAT et FSAT : Début et Fin de SATuration

DDES et FDES : Début et Fin de DESamorçage

DMP et FMP : Début et Fin d'arrêt pour Manque de Personnel.

DCy et FCy : Début et fin de cycle

Nous obtenons alors le graphe suivant pour le processus "machine-outils" :

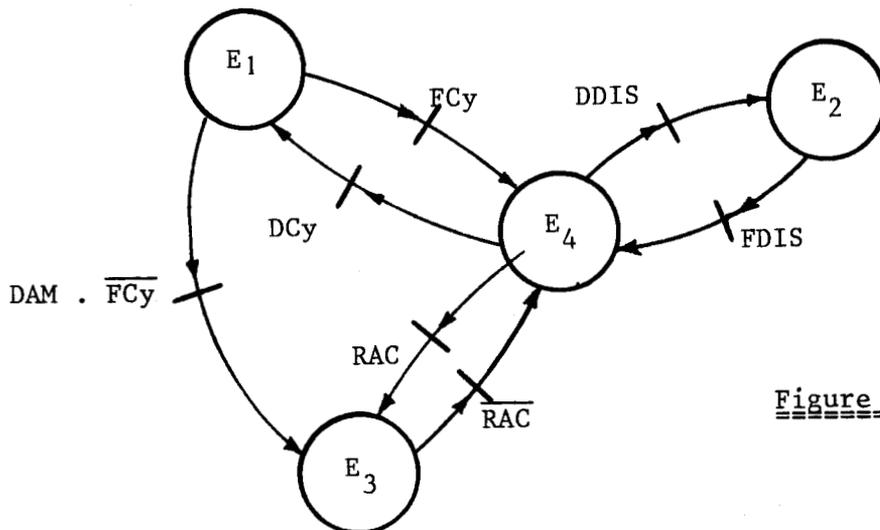


Figure I.3.4

L'expression RAC (Refus d'Autorisation de Cycle) regroupe tous les cas définis par :

$$\begin{aligned} \text{RAC} = & (\overline{\text{AM}} \cdot \text{DAM} + \text{AM} \cdot \overline{\text{FAM}}) + (\overline{\text{CO}} \cdot \text{DCO} + \text{CO} \cdot \overline{\text{FCO}}) \\ & + (\overline{\text{SAT}} \cdot \text{DSAT} + \text{SAT} \cdot \overline{\text{FSAT}}) + (\overline{\text{DES}} \cdot \text{DDES} + \text{DES} \cdot \overline{\text{FDES}}) \\ & + (\overline{\text{MP}} \cdot \text{DMP} + \text{MP} \cdot \overline{\text{FMP}}) \end{aligned}$$

c'est-à-dire tous les cas de fonctionnement anormaux, il serait donc souhaitable que ce signal soit généré automatiquement par le système dans le but d'arrêter la machine rapidement, quitte à autoriser manuellement par la suite une remise en marche de la machine (mode "manuel" tant que la cause d'arrêt n'a pas été levée).

1.3.5 - Aléas de fonctionnement

Citons les principaux aléas de fonctionnement :

- Modification aléatoire des paramètres :
 - . variation du temps de cycle
 - . charnière des outils (non respectée parfois)
- Élément humain (un mauvais réglage entraîne des rebus...)
- Opérations de contrôle (fonctionnement en mode manuel ; parfois, elles entraînent des arrêts "DIS")

1.4 - Le cahier des charges "Assistance de Fabrication"

Une étude récente menée par l'A.F.C.E.T. {AFCE.} fait apparaître que les spécifications d'un cahier des charges peuvent être classées en trois catégories :

les "Spécifications Fonctionnelles" définissent les réactions de l'automatisme face aux événements issus du processus,

les "Spécifications Technologiques" précisent comment l'automatisme devra s'insérer physiquement dans le processus,

les "Spécifications Opérationnelles" enfin décrivent les desiderata concernant l'équipement (fiabilité, disponibilité, capacité à suivre les modifications ou l'expansion du processus...).

Dans ce chapitre, afin de rester sur un plan un peu plus général, nous n'allons nous intéresser qu'à la première de ces trois catégories. Nous nous sommes fixés ici, comme principal souci, la clarification des désirs souvent imprécis que nous avons recueillis au cours de notre enquête dans l'usine de Douvrin, et des réunions avec les responsables de l'assistance de fabrication.

On distingue sur le plan fonctionnel cinq classes d'actions.

1.4.1 - La gestion des cycles

Pour chaque machine-outil, dans chaque chaîne, on effectue :
en temps réel, la surveillance de la longueur de chaque cycle qui permet de détecter une cause de fonctionnement anormal,
en différé, pour le service des méthodes : calcul des moyennes pour chaque cycle, prévisions, réajustement de la valeur nominale, influence des temps de cycle sur l'usure des outils...

1.4.2 - La gestion des outils

En temps réel, il faut assurer d'une part la disponibilité de l'outil à l'instant où il devra remplacer l'outil usé, et d'autre part prévenir l'opérateur, quand cet instant est proche, quand il est arrivé. Pour cela, on regroupe les outils en classes de telle sorte que chaque outil possède la même charnière à l'intérieur d'une classe.

Quand une classe a usiné un nombre de pièces égal à 80 % du nombre de pièces caractérisant la charnière de la classe, un système automatique signale l'évènement par un voyant au-dessus du numéro de la classe correspondante. L'opérateur a alors la possibilité d'effectuer l'échange des outils de la classe, par exemple à l'occasion d'un changement de poste de travail, ou d'un arrêt quelconque de la machine.

Quand la classe a atteint sa charnière, le système génère un signal "RAC" (Refus d'Autorisation de Cycle) à l'intention de la machine dans le but d'interdire le démarrage d'un nouveau cycle d'usinage. Un voyant s'allume, l'opérateur doit alors effectuer le changement des outils ou signaler que cet échange n'est pas utile dans l'immédiat.

A chaque fois qu'il effectue un changement d'outil, l'opérateur doit le signaler au système en donnant le code de la classe changée, et le numéro de la machine sur laquelle il a effectué cet échange. A ce niveau, remarquons que l'on pourrait se poser le problème de la détection et de l'interdiction éventuelle des fraudes ; en effet, on a constaté que parfois, sans doute par gain de temps, le codage "changement d'outil" ne coïncidait pas toujours avec le changement effectif de l'outil : il s'agissait d'une manoeuvre de l'opérateur pour lui permettre de remettre rapidement en route sa machine.

L'atelier de réaffûtage dispose en permanence de toutes ces informations pour l'ensemble des machines-outils, ce qui devrait lui permettre, par une gestion adéquate, d'assurer la disponibilité de chaque outil entre le moment où une classe atteint 80 % de la charnière et le moment où cette charnière est atteinte.

En différé, l'archivage de ces informations, complété par la liste des outils brisés, permet au service des méthodes d'assurer la réapprovisionnement des outils détériorés, et le réajustement de la valeur des charnières.

Les classes d'outils sont calculées de façon à être multiples les unes des autres, ce qui permet un gain de temps grâce à la coïncidence des arrêts pour changement d'outils avec la valeur de la classe la plus basse.

1.4.3 - La gestion des pièces

La plupart des machines-outils, à l'heure actuelle, n'étant pas équipées pour la détection automatique des pièces défectueuses, cette fonction se limite à une comptabilité pour chaque machine des pièces usinées.

En temps réel, on peut imaginer prévoir ainsi la constitution de "stock à terre" (pièces en cours d'usinage, mais retirées de la chaîne entre deux opérations, en attente de pouvoir être traitées par la machine-outil suivante), et réduire ainsi les causes d'arrêt, telles "saturation" ou "désamorçage" ; mais ce point est surtout intéressant en différé pour le calcul de la production, des "en-cours" et aussi des points d'accumulation (en liaison avec l'archivage des événements "saturation" et "désamorçage", on peut par exemple étudier quelles sont les machines trop lentes, et déterminer ainsi lesquelles il serait judicieux de doubler afin d'augmenter le débit de la chaîne).

Pour le traitement, on peut rapprocher ce point de la fonction "gestion cycle", car les événements caractéristiques pour les deux fonctions sont les impulsions "DCY" et "FCY" (début et fin de cycle), car les machines-outils sont dotées de capteurs "présence pièces", et donc le cycle ne se déclenche qu'en présence de pièces.

1.4.4 - Les dialogues

Ce paragraphe regroupe tous les échanges entre le processus et le système, à part l'impulsion relative aux saturations, il s'agit en règle générale d'un échange pour lequel l'homme est soit l'émetteur, soit le destinataire. Nous distinguons les fonctions suivantes :

. Début et fin de saturation : le système doit signaler ces événements et affecter l'état "saturation" à la machine correspondante. Ceci a pour but de dépêcher du personnel depuis là où il est disponible pour mettre fin à cette situation.

. Début et fin de désamorçage : même chose que précédemment (toutefois, ces événements sont généralement manuels).

Dans le cas où ces événements seraient catastrophiques (ou pour le moins aisés à éliminer : cas des machines de tête situées aux deux extrémités des chaînes), on peut compléter les deux points ci-dessus par des informations "risque de saturation" ou "risque de désamorçage", l'intervention d'un "cariste" peut alors prévenir l'apparition de l'évènement (par exemple dans le cas d'une machine en début de chaîne, il faut aller chercher de nouvelles pièces "brutes de fonderie" si cela est possible).

. Les pannes ou les évènements "outils brisés" : le système a pour mission ici de prévenir dans les plus brefs délais les services de maintenance. Dès son intervention terminée, on prend en compte la fin de la panne, son code et le temps d'arrêt total.

. Appel maîtrise : lorsque l'atelier est de grande dimension, il est en général difficile pour un opérateur de trouver son chef d'équipe occupé à l'autre bout de la chaîne. C'est le but de cette fonction que l'on peut jumeler avec un dispositif de recherche de personne ; l'agent de maîtrise prévenu pourra alors résoudre le problème de l'opérateur.

. "Fonction de calcul" : outre une bonne connaissance de l'état de la machine en temps réel, pour gérer son travail, l'opérateur peut avoir besoin d'un certain nombre d'informations supplémentaires : il s'agit du nombre de pièces usinées, mais aussi du calcul du nombre de pièces qu'il est possible d'usiner jusqu'à une date donnée (nombre moyen ou nombre maximal en l'absence d'un incident imprévisible), la prochaine échéance d'un arrêt pour changement d'outil, ou plus simplement l'heure.

Toutes les fonctions citées ci-dessus doivent être disponibles pour chaque machine sur le site de celle-ci. A un niveau supérieur, (cadres et agents de maîtrise) l'assistance de fabrication doit assurer également la circulation de ces informations pour des ensembles supérieurs à une simple machine : tous les sous-ensembles de l'atelier pour lesquels un responsable a été nommé. Pour ces personnes là, les informations de base sont les mêmes, mais elles doivent être traitées pour les rendre pertinentes, c'est-à-dire réduites à une forme globale et moins volumineuse.

Le dernier niveau de l'assistance de fabrication est un niveau relativement centralisé qui regroupe toutes les demandes non satisfaites et tente de les résoudre, il doit comprendre également la dernière fonction :

1.4.5 - La fonction archivage

Tous les évènements sont regroupés dans le but d'être stockés pour un traitement ultérieur, on distingue :

. Edition d'un "journal de bord" : c'est l'historique des évènements qui se sont déroulés, on peut y retrouver la genèse d'anomalies, ou en déduire une étude phénoménologique.

. Edition de comptes-rendus divers : listing journalier, listing hebdomadaire, rendements mensuels, cycle et outils, anomalies outils, intervention maintenance.

. Comptabilité des services : magasin d'outillage, maintenance, fournitures (incluant la fourniture en pièces brutes de fonderie), production.

Cette comptabilité permet le calcul du rapport financier de chaque poste de production.

. Génération de la bande archive destinée au service des méthodes qui établira ses prévisions, lesquelles sont fonction d'une meilleure estimation du temps de cycle (T_{cy}), du temps de contrôle (T_c), des temps de réglage (T_r), des charnières outils (Charn.), du nombre, de la nature et de la durée des pannes pour chaque machine.

Toutes ces opérations sont effectuées en différé à partir de l'enregistrement en temps réel des diverses informations de l'assistance de fabrication.

1.4.6 - Tableau récapitulatif des spécifications fonctionnelles du cahier des charges.

Entrées	Données en Mémoire	Traitement & Principaux Sous-Prog.	Sorties	Archivage
DCY FCY Code machine	Valeur de Tcy	<u>Gestion Cycle</u> GEST CY	CY L cycle long $T_{cy} < t_1$ CY D cycle doublé $t_{cy} = 2 T_{cy}$ RAC $t_{cy} > t_2$	Code machine Heure du DCY Valeur tcy
		<u>Gestion Pièces</u> GEST PI	Nb. de pièces usinées de chaque espèce	Nb. de pièces usinées de chaque espèce pour chaque machine

Entrées	Données en Mémoire	Traitement & Principaux Sous-Prog.	Sorties	Archivage
DCY FCY DCO FCO Code Outil Code machine	- Valeur des charnières (Charn.) - Descriptif machine : classe outils, nb. pièces usinées par chaque classe à chaque cycle	Gestion Outil Charn. GEST OU Affût. OU	- Charn. -80 % - RAC (Charn. atteinte) - Code machine dans l'état CO - Nb. outils pour chaque espèce ayant usiné (Charn. - 80 %) pièces	- Code mach. et heure de chaque changement d'outil - Liste des outils changés et leur position par rap. à Charn.

Entrées	Traitements & Principaux Sous-Prog.	Sorties	Archivage
DRSAT / FRSAT DRDES / FRDES DSAT / FSAT DDES / FDES Ap. Maîtr. DAM / FAM Code Panne DDIS / FDIS DMP / FMP Code machine Interrogations	SAT, DES Ap. Maîtr. Panne DIAG. DIAG ₁ DIAG ₅ Montre	DRSAT / FRSAT DRDES / FRDES DSAT / FSAT DDES / FDES Dispositif de recherche de personnes Appel Maîtrise Machine en panne Résultats Interro. Heure DDIS / FDIS DMP / FMP	Liste des différents arrêts avec l'heure et le code machine



DIAG₁ à DIAG₅ sont cinq petits sous-programmes de cent pas mémoire chacun, laissés à la libre disposition de l'utilisateur pour y effectuer des calculs spécifiques.

Citons enfin deux types d'entrée qui n'appartiennent à aucun traitement particulier, mais qui sont des informations indispensables pour l'assistant de fabrication ; ce sont : machine sous-tension (\overline{HS}) ou hors tension (HS) et marche automatique ou manuelle.

CONCLUSION

L'approche qui vient d'être faite de l'assistance de fabrication, laisse entrevoir un problème relativement complexe. Outre un problème désormais classique de gestion (pièces usinées ou outils de machines), l'assistance de fabrication est aussi et surtout un problème d'intercommunication entre des opérateurs humains et des machines. Le cahier des charges fonctionnelles a mis en évidence les rapports fréquents entre l'opérateur et le système, ainsi que les liaisons diverses avec les caristes, le service de maintenance, les agents de maîtrise...

L'acquisition des données tantôt manuelle, tantôt automatique, pose également des problèmes qui touchent aux spécifications technologiques et fonctionnelles. Ces dernières étant particulières aux systèmes étudiés seront traitées séparément avec ceux-ci.

Chapitre 2

L'ASSISTANCE DE FABRICATION "MATRA"

=====

INTRODUCTION

La complexité du problème que nous venons de décrire, nous a conduit, pour aborder notre recherche, à l'étude d'une des premières réalisations dans ce domaine : celle de l'usine de Douvrin. Ce chapitre regroupe les principaux résultats de cette étude.

Après avoir précisé les spécifications du cahier des charges qui furent particulières au système réalisé, nous aborderons la description du système, sous les deux aspects matériel et logiciel.

II.1 - Cahier des charges relatif à l'usine de Douvrin

II.1.1 - Spécifications technologiques

L'assistance de fabrication est installée dans l'atelier de mécanique qui a pour tâche d'usiner les différentes pièces d'un moteur thermique dans ses différentes versions.

La production journalière, à la fin de décembre 1975, était de 540 moteurs.

II.1.1.1 - Caractéristiques

Chaque pièce de moteur est soumise, dans un chantier, à un certain nombre d'opérations d'usinage, de contrôle et de manutention qui transforment le produit brut de fonderie en une pièce finie, prête à être utilisée au montage.

Rappelons qu'une unité de production ou chantier regroupe un ensemble de machines spécifiques à l'usinage complet d'une pièce, par exemple : une bielle, un vilebrequin.... On n'en dénombre pas moins de 14 qui utilisent près de 200 machines. Si on ajoute que l'atelier couvre une superficie de 34 000 m², et qu'une unité de production telle que celle des vilebrequins fait environ 250 m de long, on imagine aisément les problèmes qui pourraient survenir, vu ces dimensions, si un opérateur ne pouvait trouver son chef d'équipe ou si celui-ci trouvait difficilement le responsable de l'entretien.

Actuellement, la répartition hiérarchique du personnel est celle de la *figure II.1.1.* ; nous comptons : 3 chefs d'atelier, 5 contremaîtres et 10 chefs d'équipe ; leur rôle est réparti comme suit :

- le chef d'atelier dont le rôle est essentiellement administratif, ne sera pas directement concerné par l'assistance de fabrication,
- le contremaître réalise le programme de production, assure normalement l'entretien des moyens utilisés, évalue la consommation en outils et doit connaître la qualité des pièces usinées,
- le chef d'équipe assure l'organisation des postes de travail en fonction de la cadence prévue, veille à l'approvisionnement en pièces brutes de fonderie et en outils, doit connaître rapidement l'apparition d'une panne sur une machine, et enfin il est chargé d'appeler rapidement le service d'entretien,
- l'opérateur est responsable d'une machine dont il doit assurer le bon fonctionnement (réglages, surveillance de l'état mécanique). Il gère ses outils (changement à la charnière), assure la production demandée, et doit appeler son chef d'équipe en cas de panne.

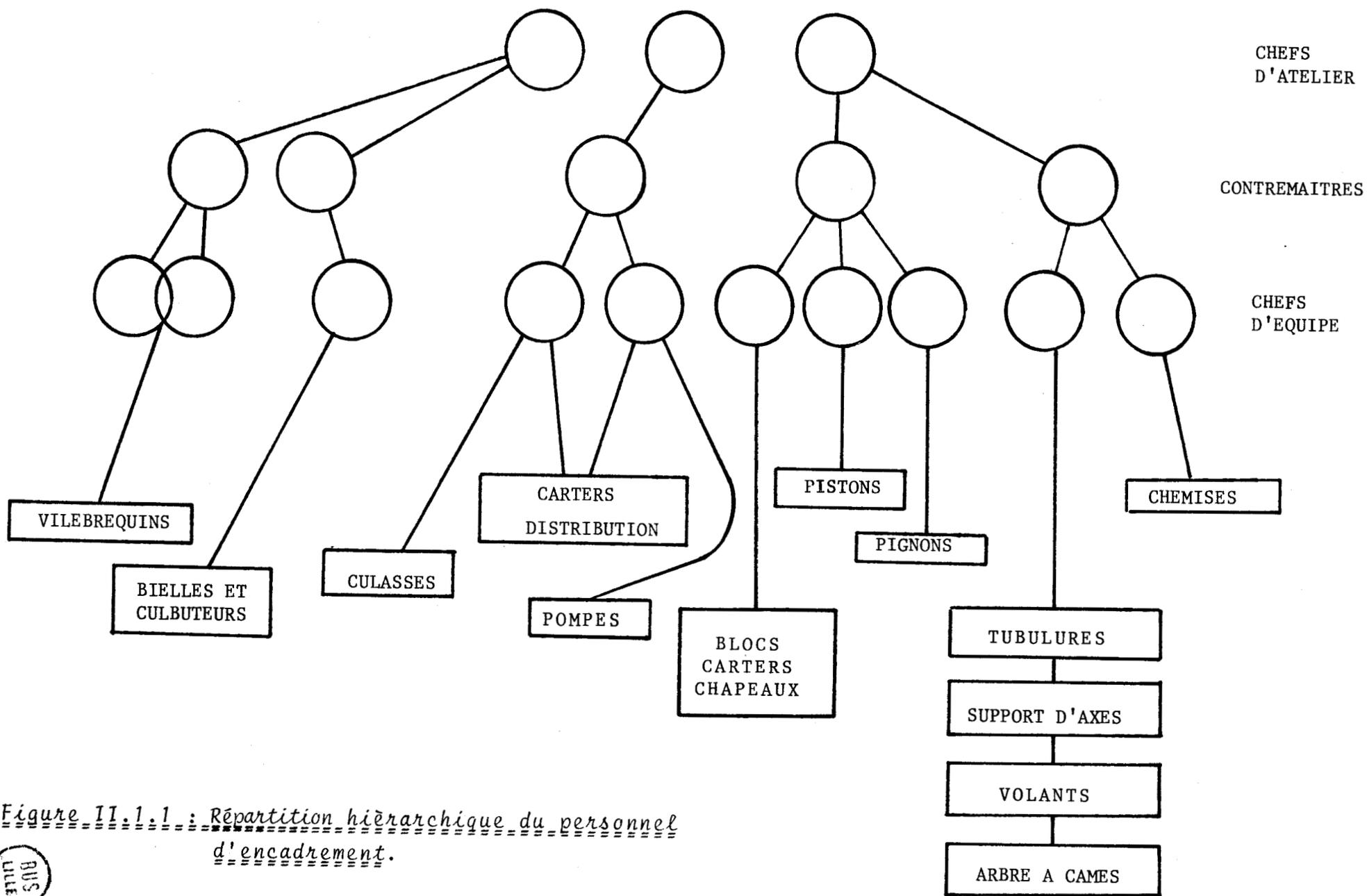


Figure II.1.1 : Répartition hiérarchique du personnel d'encadrement.



II.1.1.2 - Les machines-outils

L'atelier est équipé de machines ayant des capacités de production très importantes. En effet, un grand nombre de machines spéciales et de machines-transferts sont capables d'usiner 200 à 500 pièces à l'heure.

On comprend alors la nécessité de réagir très vite en cas de panne sous peine d'arrêter une unité de production toute entière par engorgement de pièces au niveau de la machine incriminée. Ces machines étant aussi d'une grande complexité, on conçoit facilement l'importance d'un suivi permanent de leur fonctionnement pour en déterminer les éventuels points faibles et vérifier leurs performances (ce qui est très important pour décider de futurs investissements).

Trois principaux types de machines peuvent être distingués :

- les machines à station unique (SU) ou machines simples effectuent une et une seule opération d'usinage sur une ou plusieurs pièces simultanément,
- les machines à stations multiples (SM) ou machines-transferts sont disposées en ligne et sont reliées par un transfert automatique d'un poste à un autre,
- les machines spéciales (SP) sont des machines à plusieurs postes d'usinage généralement reliées par un transfert automatique circulaire.

A ces trois types de machines, on peut ajouter des machines particulières n'ayant pas de cycle de fonctionnement (machine à laver, machine à ébavurer, etc...).

II.1.1.3 - Données quantitatives, Caractéristiques du flux d'information

Le système a pour tâche la surveillance de 300 machines ; ce qui donne les caractéristiques suivantes par poste de 9 h :

- nombre d'évènements quasi-périodiques (DCY, FCY...) : 700 000 environ,

- nombre d'évènements aléatoires (DSAT, FDES, DAM...) : 20 000 environ.

La précision demandée sur la mesure des temps est de 600 ms (1/100 de mn).

Il serait enfin difficile d'ignorer les problèmes liés à l'environnement dans un atelier de mécanique : parasites (dûs aux machines-outils), liaisons à grande distance, obstacles électromagnétiques (cage de Faraday formée par l'architecture métallique du bâtiment), projections de lubrifiants, atmosphère plus ou moins corrosive, sont autant d'obstacles qu'il faut vaincre lors de l'implantation d'une assistance de fabrication.

II.1.2 - Spécifications opérationnelles

Les considérations relatives aux spécifications opérationnelles sont primordiales pour l'utilisateur de l'assistance de fabrication, en raison de leurs répercussions économiques, mais elles sont aussi plus difficiles à exprimer de façon quantitative.

II.1.2.1 - Disponibilité

Le système ne doit pas être (ni être ressenti comme tel) une charge supplémentaire pour le personnel ; il doit donc conserver une grande disponibilité d'accès. L'expérience des informaticiens montre qu'il serait souhaitable de maintenir la charge du système dans une fourchette de 70 à 80 % de ses capacités maximales.

II.1.2.2 - Fiabilité

Un des premiers impératifs est qu'aucune panne du système ne doit bloquer une partie productive quelconque de l'atelier.

Dans la mesure du possible, il faut s'efforcer de ne jamais perdre une information. Il faudra donc prévoir une reconfiguration du système, assurant en une marche "dégradée" un minimum des fonctions perturbées.

II.2 - Description de l'assistance de fabrication "MATRA" (aspect matériel)

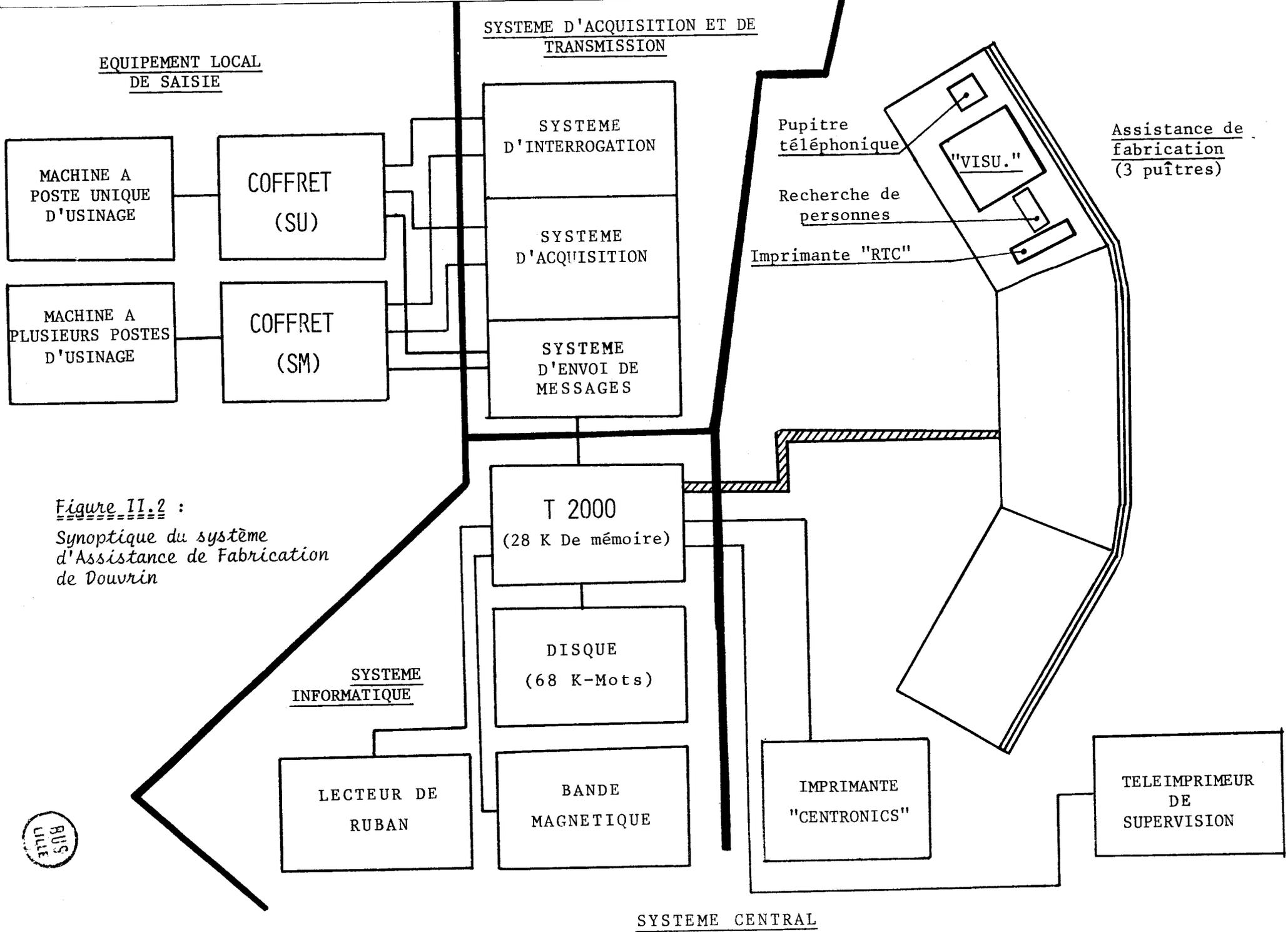
Le système est extensible jusqu'à un ensemble maximum de 300 machines. La figure II.2 représente le synoptique de l'assistance de fabrication MATRA. Nous pouvons y discerner un niveau central qui comprend l'équipement informatique auquel lui sont reliés trois pupitres destinés à l'assistant de fabrication. Le niveau "local" est directement en regard de chaque machine. La figure met en évidence également l'importance du réseau d'acquisition et d'émission. Nous allons décrire successivement chaque partie.

II.2.1 - L'équipement central

Le système informatique est agencé autour d'un ordinateur T 2000 de la "Télémechanique" (28 K de mémoire centrale). Il comprend en outre une unité de bande magnétique, une unité de disque (de 68 K mots), une imprimante semi-rapide "Centronics" (de 180 caractères par seconde), une télécopie et un lecteur de ruban rapide. A cet équipement de base, on inclut en outre trois pupitres identiques "assistant de fabrication" qui comprennent toute la partie active de l'assistance de fabrication. On y trouve pour chacun : une console de visualisation "Sintra TE.73" (24 lignes sur 80 colonnes), une imprimante "Radiotechnique" (1 ligne de 20 caractères par seconde), un pupitre téléphonique à 10 directions, un pupitre de recherche de personne à 200 directions. Enfin, l'ensemble des trois pupitres dispose d'une platine de mise en oeuvre permettant de mettre en service séparément chacun des périphériques et surveillant la climatisation du centre. De plus, un ensemble de 300 boutons poussoirs permettent de redonner l'autorisation de cycle à une machine, alors que le ordinateur l'a refusée (essai après dépannage).

II.2.2 - L'équipement local

A l'opposé, au niveau des machines, nous trouvons un simple "coffret" qui assure l'intermédiaire entre le niveau central et l'armoire d'automatisme de la machine. On utilise un coffret par machine. Les coffrets assurent l'enregistrement de toute l'information qui survient pendant la période de temps entre deux scrutations du ordinateur ; ils assurent en outre la mise en forme (codage, décodage) de cette information. Il existe actuellement à Douvrin deux types de coffret.



EQUIPEMENT LOCAL DE SAISIE

SYSTEME D'ACQUISITION ET DE TRANSMISSION

SYSTEME CENTRAL

Assistance de fabrication
(3 pûitres)

Figure 11.2 :
Synoptique du système
d'Assistance de Fabrication
de Douvrin



La *figure 11.2.2* représente un coffret à station multiple. Ce type de coffret est destiné aux machines-transferts et aux machines spéciales.

Le coffret à station simple se distingue du précédent par l'absence du codage de la station, devenu inutile, et des afficheurs correspondants ; par contre, il dispose en plus de deux boutons poussoirs lumineux pour le codage du "risque de désamorçage" (DRDES) et du "désamorçage" (DDES) ; une seconde pression sur ces boutons annule la première (FRDES, FDES). On obtient de même les codages "changement d'outils" et "appel maîtrise".

Chaque coffret est lié à l'armoire d'automatisme, au calculateur et au pupitre "assistant de fabrication".

11.2.3 - Le système d'acquisition et de transmission

11.2.3.1 - Liaison coffret-assistance de fabrication

Elle est assurée par cable téléphonique sur deux paires utilisées d'une part pour la liaison téléphonique entre le coffret et la salle de contrôle, et d'autre part pour le rétablissement d'une autorisation de cycle, interdite auparavant par le calculateur à la suite d'une intervention sur la machine.

11.2.3.2 - Liaison coffret-calculateur

Elle est assurée par trois paires torsadées d'un cable téléphonique suivant un réseau étoilé entre chaque coffret et l'interface d'acquisition et de transmission. Ces trois paires sont utilisées pour transmettre du calculateur vers le coffret un train d'impulsions d'interrogation périodique, puis l'envoi en réponse à ce train, du coffret vers le calculateur, d'un message de 35 "bits" (à une cadence supérieure à 10 000 bauds), et enfin pour la transmission d'un message de 15 bits en retour du calculateur vers le coffret.

Le système d'acquisition est composé du côté du calculateur d'un interface qui comprend (*figure 11.2.1*) un système d'envoi de message d'interrogation vers les 300 coffrets et un système de multiplexage.

COFFRET A STATION MULTIPLE M A T R A (SM)

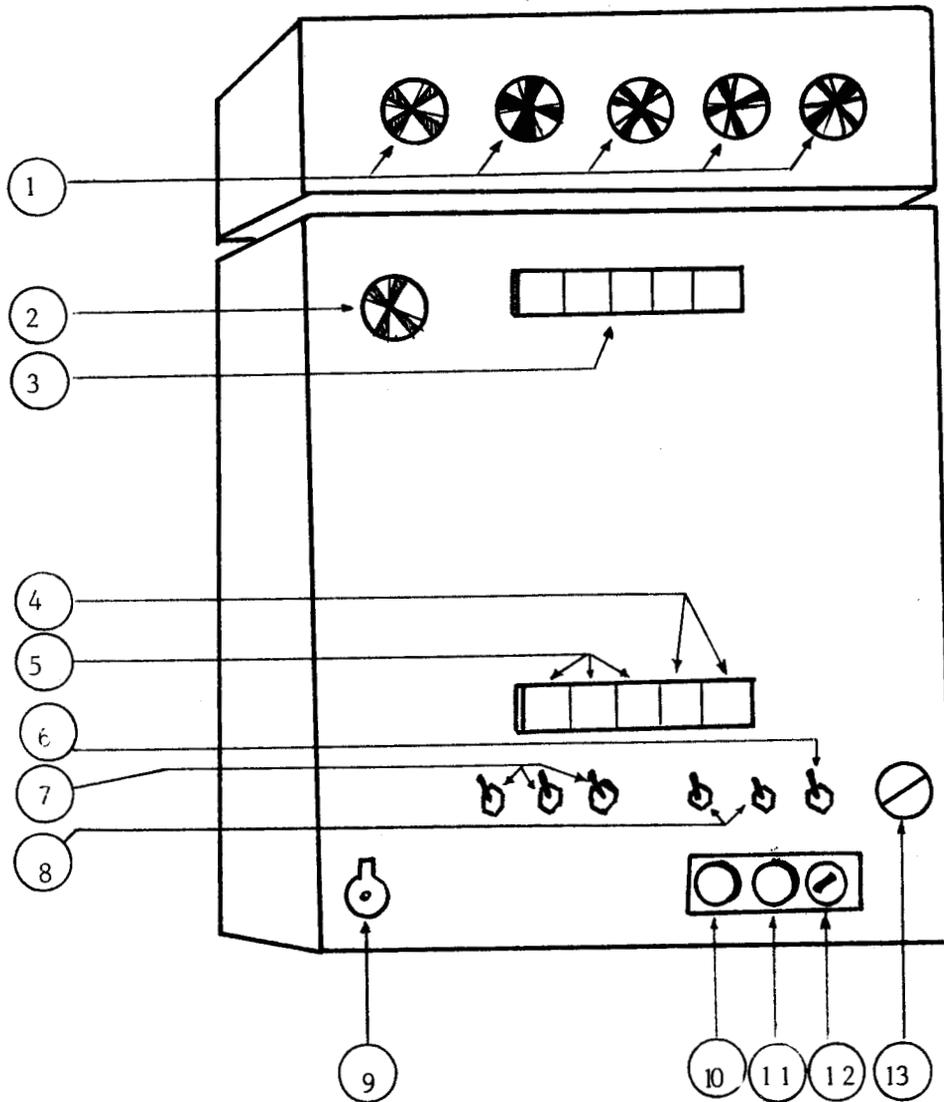


Figure II.2.2

- 1 - Voyants des classes d'outils
- 2 - Refus d'autorisation de cycle
- 3 - Compteur des pièces usinées
- 4 - Affichage des codes de pannes et de changement d'outils
- 5 - Affichage des codes de station
- 6 - Validation de code
- 7 - Codage des stations

- 8 - Codage des pannes et de changement d'outils
- 9 - Prise de téléphone
- 10 - Changement d'outil
- 11 - Appel de l'agent de maîtrise
- 12 - Verrouillage pour code pannes
- 13 - Verrou du coffret

Le système d'envoi de message d'interrogation qui génère sa propre horloge, est simplement lancé par le calculateur. Toutes les 600 ms, un train de 38 impulsions, de période 96 μ s et de largeur 48 μ s est alors généré ; la première de ces impulsions est le signal de remise à zéro du registre à décalage de 35 bits (7 x SN7496), et le chargement des impulsions en parallèle fournies par l'armoire et le coffret.

Les 35 bits qui suivent, servent à sortir en série les 35 bits d'information du registre. Enfin, les deux dernières impulsions réalisent deux décalages supplémentaires, nécessaires pour le test de la voie de transmission et de l'alimentation du coffret par le calculateur.

Le système de multiplexage est piloté par le système d'interrogation, et fonctionne donc de façon parfaitement synchrone avec celui-ci, et en conséquence, avec les messages fournis par les coffrets aux interrogations qu'ils reçoivent.

Ce système de multiplexage transmet les informations en provenance des coffrets au calculateur, à une vitesse de 166 000 mots de 19 bits seconde, par l'intermédiaire d'une entrée canal. Le système utilisé permet des liaisons de plusieurs kilomètres entre calculateur et coffrets de saisie.

La transmission se fait évidemment en série, le coffret disposant d'un sérialisateur (registre à décalage déjà cité).

Elle se fait à 10 416 bauds, les circuits pouvant assurer une cadence atteignant 33 000 bauds environ. Quel que soit le sens, les émissions se font en double courant.

La réception à chaque extrémité est réalisée par un système particulier à base de coupleur opto-électronique qui assure un isolement galvanique de l'ordre de 1 500 volts. Par ailleurs, ce système particulier utilisé présente une très haute immunité aux parasites, qu'ils soient de mode commun ou différentiel.

11.2.3.3 - Liaison coffret-armoire d'automatisme

Cette liaison est faite à l'aide de 18 paires de fils de connexion, chaque paire assurant la transmission d'une information particulière.

Vers le coffret, nous trouvons les fonctions suivantes :

- Mise sous tension de la machine
- Contrôle de cycle
- Fin de cycle
- Début de cycle
- Risque de saturation
- Saturation
- Risque de désamorçage
- Désamorçage
- Comptage

Dans l'autre sens, on trouve :

- Autorisation de cycle
- Les commandes des voyants outils de classe 1 à 5

Les dernières paires sont réservées pour des tests automatiques des coffrets à partir d'un simulateur de machines-outils. Ce simulateur dont nous allons parler dans le paragraphe suivant, permet d'effectuer les travaux de dépannage et de réglage des coffrets, sans perturber le déroulement normal des machines.

11.2.4 - Moyens annexes mis à la disposition des utilisateurs de l'assistance de fabrication

Un certain nombre de moyens ont été développés pour permettre la mise au point du système. Ces moyens restent à la disposition de l'utilisateur et peuvent servir comme outil de maintenance.

11.2.4.1 - Test automatique par le calculateur des coffrets machines

Il s'agit d'un programme qui permet, à condition

de connecter le coffret à un boîtier spécial, au lieu et place de la machine, de dérouler un test automatique du coffret.

En cas d'erreur sur un test, une édition donnant le numéro du test et l'indication de l'erreur permet de situer le défaut. Ce test automatique peut ou non être enchainé avec un test dit "manuel". Celui-ci dont le déroulement est piloté par l'ordinateur qui indique les opérations à effectuer, correspond à la vérification du fonctionnement des boutons poussoirs du coffret machine.

En fin de test, un message est édité, indiquant le numéro du coffret, le numéro de l'entrée multiplexeur utilisé, le résultat des tests.

II.2.4.2 - Simulateur de calculateur

Cet appareil développé dans un coffret permet de tester entièrement un coffret machine, soit en usine, soit sur le site. Il fonctionne à la même cadence d'interrogation que le calculateur, est capable d'envoyer des messages composés par des clés, de la même manière que le calculateur, et permet de visualiser les messages émis par le coffret. Il permet aussi de remplacer par des clés les informations fournies par la machine.

Cet appareil a permis la mise au point des prototypes des coffrets, bien avant que l'interface d'entrée sortie calculateur ne soit réalisée ; les coffrets ont ainsi pu être prêts à être testés en automatique au moment où l'interface a été terminé.

L'appareil est à présent un outil indispensable de dépannage ou de vérification.

Citons encore d'autres programmes annexes : le "test automatique des informations fournies par une machine", et enfin la "simulation de fonctionnement de 19 machines pendant 45 mn".

II.3 - Etude technique du logiciel - Exploitation du système MATRA

L'ensemble du logiciel, chargé de réaliser la gestion de l'assistance de fabrication au niveau du calculateur, a été regroupé sous le pseudonyme de "SALOMON".

"SALOMON" prend en charge deux types distincts de travaux : ceux réalisés hors temps réel, et ceux réalisés en temps réel.

II.3.1 - Les différentes phases d'exploitation (hors temps réel)

Le calculateur étant supposé n'avoir aucun programme en mémoire centrale, l'ensemble se décompose en cinq phases.

II.3.1.1 - Phase d'initialisation

Cette phase a pour mission de préparer la mémoire centrale en vue d'effectuer l'assistance de fabrication.

Cette phase agit sur les programmes et les données, et met en action le système "SALOMON".

II.3.1.2 - Phase de lancement

Prise en compte de l'initialisation des programmes sur disque et en mémoire centrale.

II.3.1.3 - Phase de chargement

Cette phase a pour vocation de permettre l'introduction, le contrôle ou la modification des paramètres décrivant les machines surveillées (en particulier pour tenir compte des tournées précédentes, des changements d'outils...).

II.3.1.4 - Phase de préparation

Elle assure l'ensemble des travaux indispensables à une assistance de fabrication efficace ; elle agit au niveau des coffrets (remise à zéro des compteurs pièces), et au niveau des programmes (recalage des compteurs d'usure des outils en tenant compte d'un fonctionnement entre deux tournées ; si on trouve un dépassement de charnière, on considère que le changement d'outil a été effectif à la charnière ; cela donne lieu à une édition).

Cette phase permet un contrôle rudimentaire des coffrets (coupure de ligne, mauvaise lecture des compteurs de pièces, mauvaise remise à zéro du compteur de pièces).

II.3.1.5 - Phase d'exécution

C'est la phase pendant laquelle le système est en action pour l'exécution des tâches "temps réel".

II.3.2 - Les tâches "temps réel"

Tous les programmes réalisés ont une structure modulaire. Chaque module étant indépendant, il peut donc servir à l'exécution de plusieurs tâches. L'enchaînement de ces tâches s'effectue par un système d'interruption prioritaire dont la gestion a été confiée au moniteur "Télémechanique" : RTDMS.

II.3.2.1 - La tâche édition

La tâche édition a pour rôle de répondre aux différentes demandes d'édition émanant des services internes. Elle est "bouclée" en ce sens qu'elle continue à traiter des messages tant qu'elle n'a pas été interrompue par une tâche plus prioritaire.

Les messages, en effet, ne donnent pas lieu à une action immédiate ; ils sont stockés dans une file d'attente en mémoire.

Un module ("FILOU"), lui-même activé par un module d'aiguillage ("VENTIL") situé en aval, extrait le message en tête de la file d'attente, libérant ainsi une place équivalente ; dès ce moment, une tâche plus prioritaire, arrêtée par une saturation de la file, pourrait redémarrer. Dans le cas contraire, le module "VENTIL" est remis en éveil : il assure alors la recherche des informations à transmettre, élabore le message, calcule l'adresse de sortie et appelle le module "MONESER" qui gère toutes les entrées/sorties ("VENTIL" a cinq directions pour servir les fonctions : archivage, journal de bord, pilotage, supervision et commande-coffret). "FILOU" et "VENTIL" qui s'enchaînent l'un l'autre, sont interruptibles à tout moment.

II.3.2.2 - La tâche de dialogue

Le dialogue avec le calculateur peut s'effectuer soit à partir du téléimprimeur (supervision : il s'agit en général d'ordres influants sur le fonctionnement ou l'organisation du système), soit à partir de l'un des trois écrans de visualisation ou "VISUS" (fonction pilotage : en général des demandes de renseignements sur le système).

Le dialogue est toujours précédé d'une action sur le bouton "appel". Il s'effectue alors soit un couplet appel-réponse, soit un ordre. Un autre échange ne peut s'effectuer qu'après la réponse ou le décodage de l'ordre (il y a une inhibition des appels sur le périphérique durant le décodage)

La tâche de dialogue est sous-divisée en six sous-tâches qui sont par ordre de priorité décroissante (cas d'appels simultanés) :

- "RA 1" (réception des appels ou des caractères du téléimprimeur),
- "RA 2, 3 ou 4" (mêmes sous-tâches pour les "VISUS" 1, 2 ou 3),
- "DI" (décodage des impulsions),
- "TI" (traitement des informations).

II.3.2.3 - La tâche "Alarme-VISUS"

Cette tâche gère les écrans de visualisation des pupitres pour tout ce qui concerne les alarmes, c'est-à-dire les 12 lignes (moitié supérieure de l'écran) au sommet de l'écran (structure figée par câblage). La tâche est mise en éveil toutes les 20 s par impulsion d'horloge, et entraîne un rafraîchissement cyclique de l'information d'une "VISUS".

Si l'impulsion d'horloge survient pendant un dialogue opérateur/calculateur, elle est ignorée, et le rafraîchissement n'a lieu qu'à la minute suivante ; par contre, il y a inhibition des appels opérateurs pendant un rafraîchissement.

Cette tâche sépare distinctement en deux zones les incidents (alarmes 0), des "risques" (alarmes 1). Les alarmes sont mentionnées uniquement par le numéro de la machine en cause par trois caractères ; les machines de tête et autres machines prioritaires sont précédées du signe "*" ; chaque numéro est séparé des autres par au moins deux espaces (zone fixe de six caractères pour chaque numéro).

Il y a au maximum 13 numéros par ligne, de sorte que si l'opérateur n'a pu acquitter (13 fois de suite) ses alarmes, la ligne étant saturée, les nouveaux arrivants sont mis en attente jusqu'à ce que la place soit libérée.

Lorsqu'un numéro est acquitté (pris en compte par l'opérateur, il est remonté sur l'une des trois lignes supérieures de sa zone jusqu'à ce que l'alarme disparaisse effectivement.

II.3.2.4 - La tâche "TMPC" ou tâche périodique

C'est la tâche la plus prioritaire.

Elle est mise en éveil toutes les 600 ms (par impulsion d'horloge). Cette tâche regroupe tout ce qui concerne la saisie et le traitement des données. Les opérations réalisées sont les suivantes :

. Contrôle de la validité des informations ; il est réalisé une détection des pannes multiplexeur, coupure de ligne, contrôle de parité, le cadrage des messages (début et fin) ; tous les défauts donnent lieu à une édition.

. Détection de la mise hors tension d'une machine (avec une édition sur le journal de bord) ; toutefois, si le coffret reste sous tension, ses messages (codages divers) sont pris en compte.

. Contrôle de cycle : une édition est inscrite sur le journal de bord dans le cas d'un cycle long (Cy L) ou doublé (Cy D).

. Début et fin de cycle (DCy et FCy) : l'arrivée d'un message résultant d'une impulsion FCy déclenche, si un message FCy suit normalement, la prise en compte d'un cycle pour la machine et pour chaque classe d'outils. Pour supprimer la fonction "gestion des outils", il faut rendre nulle la charnière de la (ou des) classe(s) correspondante(s). La gestion des cycles se fait par scrutations périodiques ; elle est supprimée si la machine est en mode manuel, si on affecte une valeur nulle au temps de cycle normal (TCy) ou enfin, si la machine est en arrêt reconnu par le système (état E_2 ou E_3 ou E_5 de la *figure 1.3.4*). Les messages DCy ou FCy aberrants (plusieurs DCy ou FCy consécutifs) sont signalés par le téléimprimeur.

. Alarmes préventives ou risques (alarmes 1) : résultant de l'action sur un bouton du coffret (par un opérateur), ils donnent lieu, comme on a vu, à une édition sur l'écran (tâche alarme-"VISUS") et aussi sur le journal de bord.

. Arrêt machine ou incidents (alarmes 0) : résultant d'une saisie soit automatique (DSAT, Charn., ...), soit manuelle (DDES, DCO, ...), ils donnent, de même, lieu à une édition (écran et journal de bord).

Ces deux dernières tâches sont prépondérantes dans ce système ; une partie du traitement leur est commune, à l'exception de deux cas particuliers :

En cas de changement d'outils, le traitement doit assurer l'arrêt de la machine (RAC) quand la charnière est atteinte (Charn.), ainsi que la saisie de l'information "appui sur la touche CO" (qui s'allume, correspondant à l'information "DCO"), le codage (et sa validation) de la classe changée et enfin "appui sur la touche CO" (qui s'éteint) correspondant ainsi à l'information "FCO".

De la même manière, en ce qui concerne les pannes, il faut saisir les informations "appui sur la touche AM" (DAM), "codage-validation de la panne" et enfin "appui sur la touche AM" (FAM).

Tous les codages (à l'exception du codage d'une classe d'outils changée) se font quand les clés du coffret sont déverrouillées.

Quand les boutons AM et CO sont éteints, les seuls codages valides sont "91" (information "MP") et "92" (information "DIS").

Toute validation sans codage (i.e : code 00) est ignorée.

Le codage et la validation d'un changement d'outils, s'ils sont corrects, entraînent la réautorisation de cycle (FRAC) et l'extinction du voyant RAC, un ordre d'archivage de la classe changée, la remise à zéro du compteur d'usure correspondant et l'édition sur le journal de bord.

De même, le codage et la validation d'une panne entraînent un archivage, une édition sur le journal de bord et la réautorisation de cycle lorsqu'on éteint à nouveau le bouton poussoir "AM".

Le codage et la validation des affectations de temps (DMP ou DDIS) entraînent un archivage et une édition sur le journal de bord.

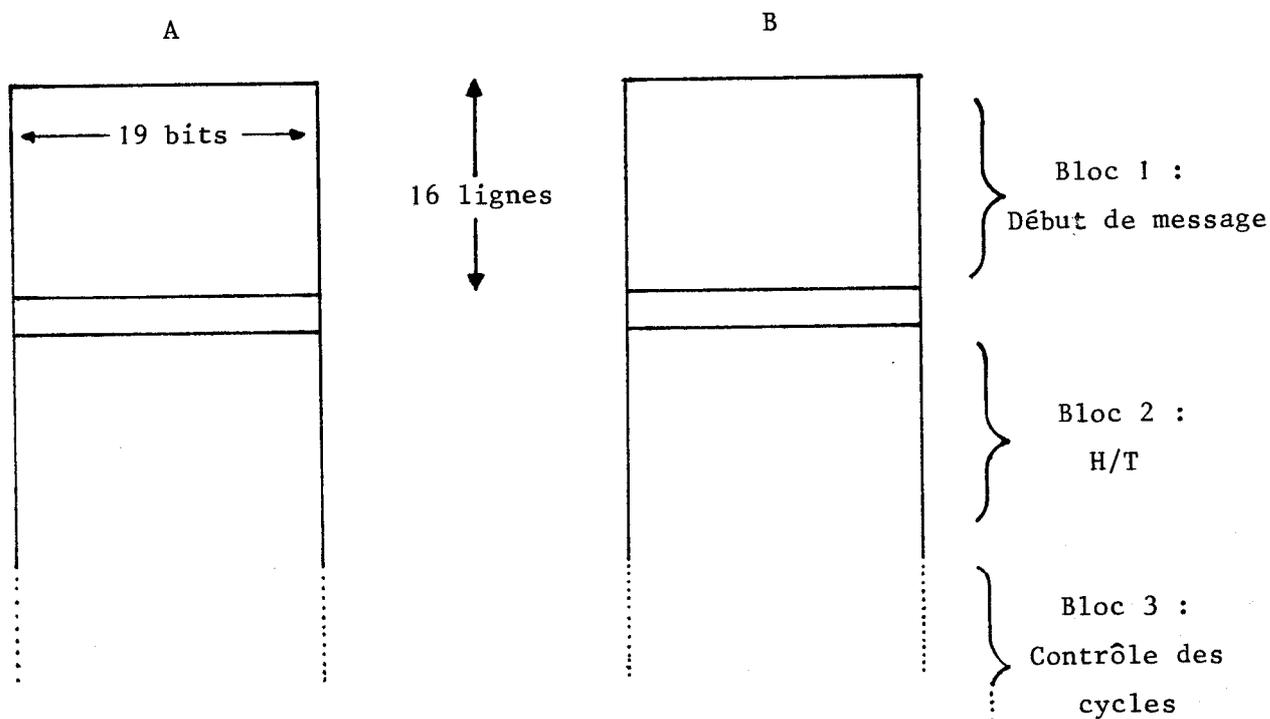
. Scrutation et messages des coffrets : tous les coffrets sont "scrutés". Ils reçoivent, comme on a vu (au § II.2.3.1), un message de 15 bits, composé comme suit :

<u>N° du bit</u>	<u>Contenu</u>
1	Toujours à 1 (sécurité du système)
2, 3 et 4	Transmission de l'information RAC, remise à zéro du compteur pièces et demande du contenu du compteur pièces
5 à 9	Commande des 5 voyants outils (feu fixe : Charn.)
10 à 14	Commande des 5 voyants outils (feu clignotant : charnière atteinte entre 80 et 100 %)
15	Bit de détection d'erreurs par imparité.

En retour, le message du coffret vers le calculateur a la forme :

<u>N° du bit</u>	<u>Contenu</u>	
1	Toujours à 1 (début du message)	
2	Hors tension/Sous tension	
3	Non contrôle cycle/automatique	
4	Fin de cycle	{ Ces 2 bits pouvant être à 1 dans le même message : cas de machine où le temps de non- engagement est voisin de zéro
5	Début de cycle	
6	Désamorçage (DES)	
7	Saturation (SAT)	
8	Risque de Désamorçage (RDES)	
9	Risque de Saturation (RSAT)	
10	Appel Maîtrise (Ap. Maîtr.)	
11	Changement d'outils (CO)	
12	Codage	{ l'un des deux au plus est à 1, (la valeur se trouve alors ci-dessous : bits 15 à 34)
13	Lecture pièces	
14	Acquittement du message-commande de 15 bits de la période précédente	
15 à 34	20 bits réservés aux codages ou à la valeur du compteur pièces (5 chiffres décimaux codés chacun sur 4 bits, soit : $4 \times 5 = 20$ bits)	
35	Bit d'imparité	
36 et 37	2 bits supplémentaires de fin de message.	

Actuellement, l'assistance de fabrication surveille 284 machines, c'est-à-dire que chaque scrutation détecte 284 messages de 37 bits : ces messages sont rangés alternativement à chaque période dans un des deux tableaux A et B. Chacun de ces deux tableaux est composé de 37 blocs, recevant chacun un des bits du message en un endroit bien précis, caractéristique du coffret qui l'a émis ; chacun des blocs est en effet composé de 16 lignes de 19 bits (+ 1 ligne pour l'heure), soit $19 \times 16 = 284$ bits, soit donc 1 site par coffret.



Chaque bloc est comparé (par disjonction) avec son homologue de l'autre tableau (qui a sauvegardé l'état antérieur), un résultat à "1" est alors caractéristique d'un changement d'état. On recherche dans la table des états permanents quel était l'état antérieur du coffret concerné, on inverse l'état puisqu'il y a eu changement, et suivant le cas, on effectue le traitement résultant de cette nouvelle situation.

II.3.2.5 - La tâche d'archivage MOAR

Cette tâche sert à mettre en forme les messages à "archiver" sur une bande magnétique ; ces messages découlent du traitement "TMPC". Elle est mise en éveil chaque fois qu'une demande "de mise en archive" est décodée par le module "VENTIL" (cf. la tâche édition).

Les messages donnant lieu à édition sur bande magnétique sont classés suivant neuf types donnant ainsi lieu à neuf en-têtes différentes ; en particulier, nous trouvons des messages de : supervision, pilotage, journal de bord, codages, DESAT en archive (ce type est effectué une fois dans la journée en "temps arrêté" ; il s'agit d'un archivage destiné au centre de traitement de l'information -"CTI"- qui communique le descriptif atelier à raison d'un message par coffret en service, et que l'on complète d'informations complémentaires issues du disque), fin de tournée (ce type est effectué en "temps arrêté", à la fin d'une tournée ; on enregistre tous les compteurs de pièces, et le décompte des temps : marche, arrêts, temps de pannes ..., à raison d'un message par coffret), début de tournée (se fait en "temps arrêté", enregistrement du numéro et de la date précise d'une tournée).

Les messages ne sont pas archivés immédiatement dès leur arrivée, mais passent par l'intermédiaire d'un "pool Buffer" de 160 mots. Le "T 2000" travaillant sur 19 bits, chaque mot est remis en forme sur quatre octets, de façon à pouvoir être traité directement par le "CTI" ; ainsi, les 160 mots de 16 bits du "pool Buffer" ne correspondent en réalité qu'à 80 mots utiles pour le "T 2000".

II.3.3 - Techniques de secours (reconfiguration - marche dégradée)

Pour être complet, enfin, tout système de ce type sur lequel repose en fait un grand nombre d'opérations indispensables à la bonne marche de l'atelier, doit obligatoirement comporter des possibilités de secours en cas de défaillance du matériel. Ces défaillances, suivant leur gravité, peuvent être classées en deux groupes que l'on classe suivant le traitement réalisé.

II.3.3.1 - Reconfiguration

Cette défaillance concerne tous les "périphériques" au sens large, autre que l'unité disque ; il s'agit d'une console de visualisation, de l'imprimante RTC (qui édite le journal de bord), du télé-imprimeur (supervision), de l'unité de bande magnétique (fonction archivage) ou même d'un coffret.

Sauf en ce qui concerne la défaillance de l'unité de bande magnétique (où l'archivage est supprimé) et le coffret (suppression de la surveillance du coffret), la reconfiguration permet la reprise de toutes les fonctions perturbées.

La reconfiguration est, soit manuelle (affectation particulière des fonctions assurées par l'unité défaillante vers une autre unité), soit automatique (affectation automatique suivant un descriptif prévu des périphériques quand survient une mise hors service automatique d'un périphérique). Les reconfigurations manuelles se font, soit depuis le téléimprimeur, soit, si celui-ci est perturbé, depuis n'importe quel périphérique.

II.3.3.2 - Marche dégradée

Dans le cas plus grave où c'est l'unité disque elle-même qui est défaillante, le fonctionnement du centre est maintenu en "marche dégradée".

Ceci a cependant pour effet de supprimer la fonction de pilotage et l'archivage. La marche dégradée ne peut être réalisée que pendant une campagne et non pendant une première tournée. L'exploitation de la phase de chargement est impossible.

CONCLUSION

L'assistance de fabrication MATRA est un système étoilé, centralisé. Le logiciel a été développé au niveau central autour d'un moniteur standard fourni par le constructeur ; au niveau primaire des machines, l'équipement choisi a été simplifié au maximum. Le coffret de saisie ainsi obtenu est

facile à dépanner ; par contre, il n'est capable de fournir que peu de renseignements et ne peut stocker l'information.

Ce système correspond à un cahier des charges précis, mais figé. Nous allons voir, dans le chapitre suivant, les remarques et l'enseignement qu'il nous est possible d'en dégager.

Chapitre 3

ETUDE CRITIQUE DU SYSTEME - EXTENSIONS

=====

INTRODUCTION

Le système "assistance de fabrication" que nous venons de décrire, est le résultat d'une étude et d'un travail approfondis. Il a donné des satisfactions, et son fonctionnement effectif démontre ses qualités, mais aussi ses défauts.

Précisons que le système a le mérite d'avoir été l'un des premiers implanté sur un site ; l'étude de son exploitation, que nous avons menée, a été riche en enseignements relatifs à la conception de systèmes futurs.

Sur la base de quelques remarques qui se sont dégagées de cette étude, nous nous proposons ici de déterminer des voies de progrès ou des possibilités d'extensions du système initial. Nous allons décrire, en fin du chapitre, deux réalisations importantes qui sont venues compléter récemment le système.

III.1 - Remarques concernant l'exploitation du système

Il est possible de représenter le système sous la forme d'un schéma fonctionnel (figure III.1).

C'est un système à structure centralisée ; la première conséquence en est une dépendance étroite avec la technologie, la capacité de l'élément central fixe les bornes de toute réalisation future. L'utilisateur doit demeurer dans des contraintes imposées.

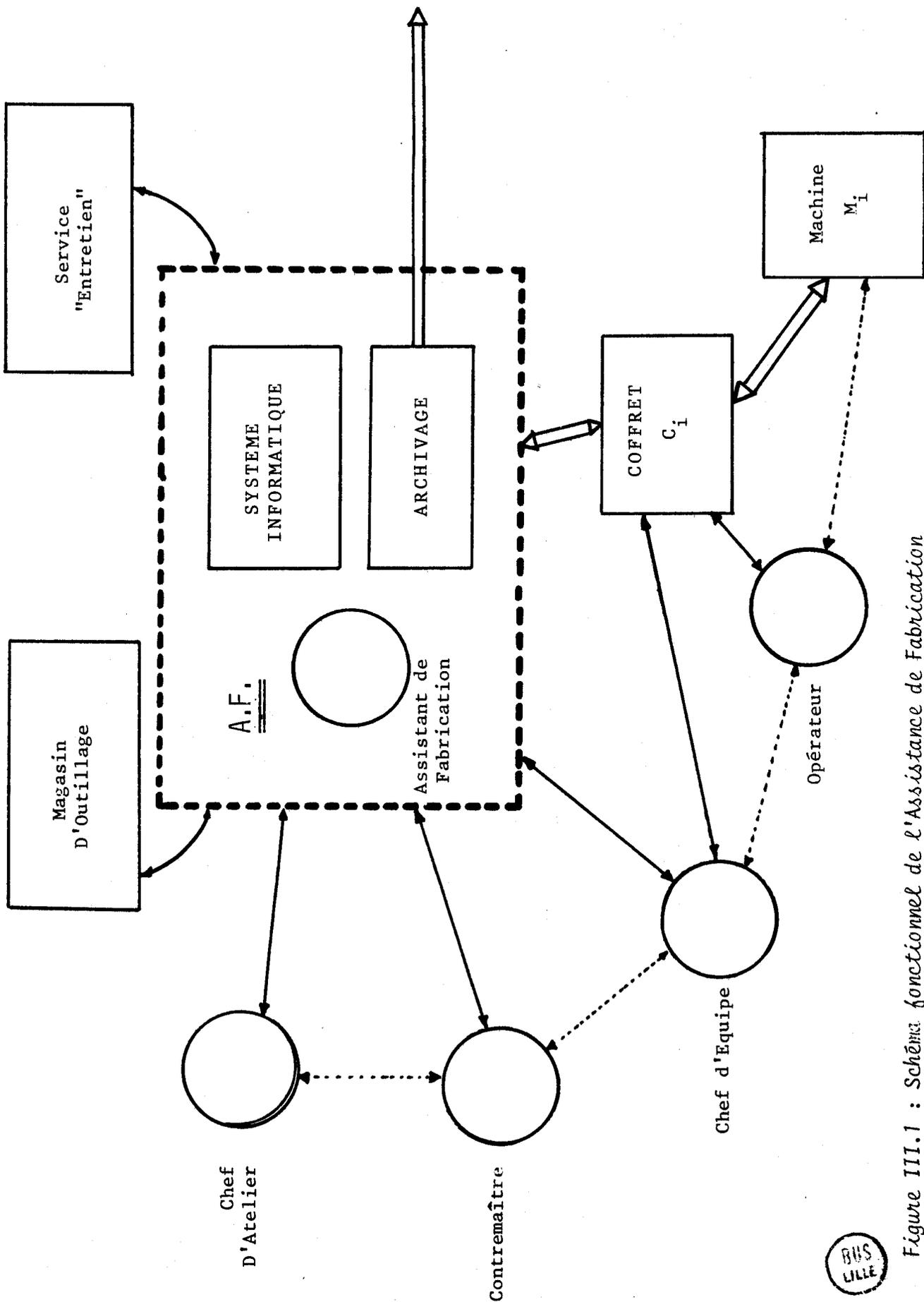


Figure III.1 : Schéma fonctionnel de l'Assistance de Fabrication

BUS
LILLE

Une grande quantité d'informations est élaborée au niveau du système central, mais seule une faible partie de cette information est directement accessible à partir du coffret. Ce fait semble un peu surprenant, car en pratique, c'est dans l'atelier même que l'information est utilisée. Pour répondre à ce besoin, le téléphone, peu pratique et encombrant, n'est qu'un moyen surajouté pour combler une lacune. Nous pensons que la disponibilité de l'information est une qualité majeure pour un tel système. Il importe, en effet, d'éviter toute lourdeur d'utilisation, et de ne point réclamer aux opérateurs humains une quantité d'informations supérieure à celle qu'eux-mêmes en retirent. A la limite, le danger pourrait être de faire ressentir le système comme un surveillant du travail fourni, et non comme un outil de travail utile, rapide et efficace, voire indispensable.

Notons que dans le système MATRA, outre la communication d'informations, l'opérateur est amené à répondre à certaines obligations impératives (RAC, changement d'outils).

Une enquête très rapide nous a fourni quelques réflexions des utilisateurs.

III.1.1 - L'opinion des utilisateurs

Du point de vue purement technique, il faut remarquer qu'après une période de mise en route, le taux des pannes se stabilise à un niveau très acceptable.

Le système remplit parfaitement une de ses tâches principales : l'acquisition en temps réel de l'information de base fournie par l'ensemble des machines placées sous sa surveillance.

Le maximum de satisfaction se retrouve, en conséquence, au niveau du suivi de la production : l'analyse des temps de cycle souvent très courts (moins de 20/100° de minute pour les culasses) permet de suivre de très près l'état mécanique des machines. Cette étude dépiste les éventuelles dégradations, tandis que l'analyse des autres temps machines assure la vérification des performances prévues.

Il en va de même pour les fonctions gestion des outils, saturation et désamorçage.

Au niveau des machines, les avis semblent par contre plus nuancés. Les tâches remplies par le système ne couvrent que partiellement les besoins des utilisateurs.

Il apparaît que l'assistance de fabrication n'est utilisée régulièrement que lorsqu'elle est complètement automatique (cas de DCy, FCy ...). La seule suggestion relevée au sujet du temps de cycle concerne le cas où un cycle a doublé ($t_{cy} = 2 T_{Cy}$), l'opérateur aimerait trouver sur le coffret un voyant de couleur pour le signaler. Il est en effet difficile dans certains cas (par exemple, les machines-transferts) de suivre l'évolution de ces temps. Autrefois, pour cet incident parfois bénin (un contact qui s'établit mal), toute la machine était arrêtée. Cet arrêt systématique occasionnait une perte de temps trop importante, il a été supprimé par la suite mais non remplacé par une fonction plus souple pour l'opérateur.

Dans le même ordre d'idée, il conviendrait de signaler la cause d'un arrêt automatique (RAC), cas de saturation, désamorçage ... L'arrêt de la machine, pour un incident qui semble anodin, pourrait contribuer également à donner cette impression de "surveillance mécanisée" que nous avons cité ci-dessus.

La fonction de gestion des outils semble, à l'opposé, plus diversement appréciée. L'amélioration est certaine pour le calcul de la position des outils par rapport à leurs charnières. Ce qui est plus gênant pour l'opérateur, c'est cet arrêt imposé par le système aux charnières. Un opérateur prend en compte d'autres informations pour gérer les outils dont il a la charge ; l'usure d'un outil dépend en effet non seulement du nombre de pièces usinées, mais aussi de la qualité et de la matière de ces pièces, du bon réglage des machines, de la qualité et de l'affûtage de l'outil... Avec son expérience, l'opérateur est capable de décider si le changement proposé est souhaitable ou non ; étant donné qu'il est responsable de sa production, nous pensons qu'il est souhaitable de lui laisser cette initiative, tout en lui offrant des informations supplémentaires (position par rapport aux charnières). Cette information est disponible actuellement, mais elle doit transiter par un moyen auquel il n'a pas accès (téléphone).

Pareillement, "l'appel maîtrise" ne se fait actuellement qu'avec un arrêt de la machine. Cet arrêt ne semble pas nécessaire ; il devrait être possible de contacter le chef d'équipe sans cette perte de temps ; actuellement, il n'est pas rare que l'opérateur préfère chercher lui-même son chef d'équipe.

En résumé, nous pouvons constater que, paradoxalement, c'est la partie du traitement "en différé" qui est la plus satisfaisante. Par contre, à l'opposé, les principales critiques concernant le traitement "en temps réel" portent toutes, d'une part sur le manque d'informations au niveau du coffret, et d'autre part sur les contraintes nouvelles que le système a imposé. Il faut enfin remarquer que les services essentiels, tels le magasin d'outillage ou la maintenance, ne sont pas prévus dans la configuration initiale. C'est une lacune qui nous paraît importante.

III.1.2 - Remarques concernant la réalisation technique

Nous venons d'affirmer (§ III.1) que la structure centralisée du système imposait des contraintes étroites aux utilisateurs. Ces principales contraintes sont le manque de souplesse et d'extensibilité.

Il n'est pas simple, dans une structure informatique de ce type, de créer de nouvelles modifications quand elles ne sont pas prévues. Le logiciel implanté est prévu pour assurer le contrôle d'un type bien précis de coffret ; leurs messages doivent comporter pour chaque sens (saisie ou commande) un nombre de bits précis. L'implantation d'un coffret spécial pour des machines pouvant usiner plusieurs types de pièces est impossible. Cet exemple montre bien à quel point le manque de souplesse est gênant dans un atelier pour lequel les transformations sont fréquentes autant qu'imprévisibles.

L'atelier peut également évoluer en grandeur par l'acquisition de nouvelles machines-outils. La structure de l'assistance de fabrication ne permet pas, parallèlement, l'extension du nombre des coffrets. Elle est prévue pour 300 machines et ne peut aller au-delà.

A part ce problème d'une extension physique, il n'est pas non plus possible d'étendre les fonctions du système. En ordre de grandeur, les différentes parties du logiciel occupent le volume suivant :

Programme "RTDMS" avec les tables d'entrées/sorties ; description des fichiers et divers spécifiques (RTC, Im- primante ... et le programme du cadenceur).....	8 K
Tâches particulières au sys- tème "SALOMON" implantées en mémoire centrale.....	8 K
Données implantées en mémoire centrale (tables, configura- tions ...).....	10,5 K
Zone "SWAPP" banalisée.....	1,5 K
	<hr/>
	= 28 K-mots

c'est-à-dire que le volume actuellement disponible de 28 K-mots est déjà saturé.

Une autre remarque importante concerne le moniteur RTDMS utilisé à Douvrin, lequel a lourdement paralysé le système. En particulier, toute nouvelle modification entraîne des difficultés pratiquement insurmontables. Par ailleurs, la lourdeur générale de la conception nécessite des occupations en mémoire très importantes, et une difficulté d'apprentissage de l'emploi du système informatique. L'assemblage et l'intégration de nouveaux modules soulève des difficultés très particulières.

III.2 - Voies de progrès et projet d'extension du système

Dans tout ce qui concerne ce paragraphe, l'avis des utilisateurs doit être prépondérant si l'on désire réaliser un outil efficace. Nous pensons que la recherche doit toujours accorder une place privilégiée aux utilisateurs de tout système futur. La revalorisation des tâches humaines est seule source de progrès.

La question qui se pose à présent, est de savoir si la technique actuelle est capable de répondre à ce postulat idéaliste. Une première difficulté apparaît : il est pratiquement impossible de recenser l'ensemble des besoins. L'assistance de fabrication en effet concerne non seulement l'atelier d'usinage, mais aussi tous les services que l'atelier utilise, la gestion de production, le service des méthodes...

Il faut donc se poser le problème de la définition des frontières du système, puis celui de la détermination des besoins dans l'espace et dans le temps à l'intérieur de ces frontières.

Pour répondre à ces réflexions, plusieurs projets ont été proposés. Ils visent, à l'intérieur de l'atelier, ou de l'atelier étendu aux services qui en dépendent directement, à combler les lacunes du système précédent.

Le premier, ci-dessous, découle d'une étude menée par la société MATRA elle-même. Les deux projets suivants (§ III.3) ont été suivis d'une réalisation sur le site de Douvrin.

III.2.1 - Principe du système complet

III.2.1.1 - But du projet

Le but principal du système complet n'est pas une amélioration fonctionnelle du précédent ; on se limitera, en pratique, à l'identité fonctionnelle avec le système précédent. Il s'agit uniquement d'améliorer les qualités opérationnelles : fiabilité, souplesse et facilité d'utilisation, intégration de nouveaux coffrets dits "coffrets SP". Cette dernière pourra étendre l'assistance de fabrication aux chantiers "cylindres" et "culasses" qui comprennent des machines spéciales, sur lesquelles il est possible d'usiner ou de traiter six types différents de

pièces, avec cinq classes différentes d'outils pour chaque type de pièces, soit au total 30 classes.

III.2.1.2 - Caractéristiques

Le synoptique du système est représenté sur la figure III.2.1.

Cette nouvelle architecture comporte un "système principal" identique à celui décrit dans le chapitre II. En second plan, on introduit un "système local" nouveau, chargé uniquement du contrôle des coffrets SP.

Le système local est asservi au système principal ; suivant la terminologie habituelle, on dira que le système principal fonctionne en mode "maître", et le système local en mode "esclave". Cependant, en cas de panne sur le système principal, le système local peut être remis en service.

Le système principal : de façon générale, il est conçu comme le système "SALOMON" ; dans sa configuration initiale, il est prévu pour 200 coffrets des trois types (SU, SM et SP), et il ne comprend plus que deux écrans de visualisation au lieu de trois ; l'unité centrale est un "T 2020".

Le système local : il est conçu pour traiter le problème particulier des machines "cylindres" et "culasses". Initialement, il comprend les 15 coffrets "SP" (20 entrées connectables). La configuration du calculateur comprend un "T 2020" avec "12 K mémoire", deux téléimprimeurs ("ASR 390"), un lecteur optique et une imprimante semi-rapide ("Logabax" 180 caractères seconde).

Les coffrets : les coffrets SM et SU sont les mêmes que les deux types décrits au chapitre II.

Le coffret SP a une présentation similaire ; il comporte tous les éléments du coffret SM et dispose de cinq compteurs de pièces supplémentaires (six au total).

La partie "gestion des outils" comprend, à présent, six voyants (correspondants aux six types de pièces), et un contacteur à six positions

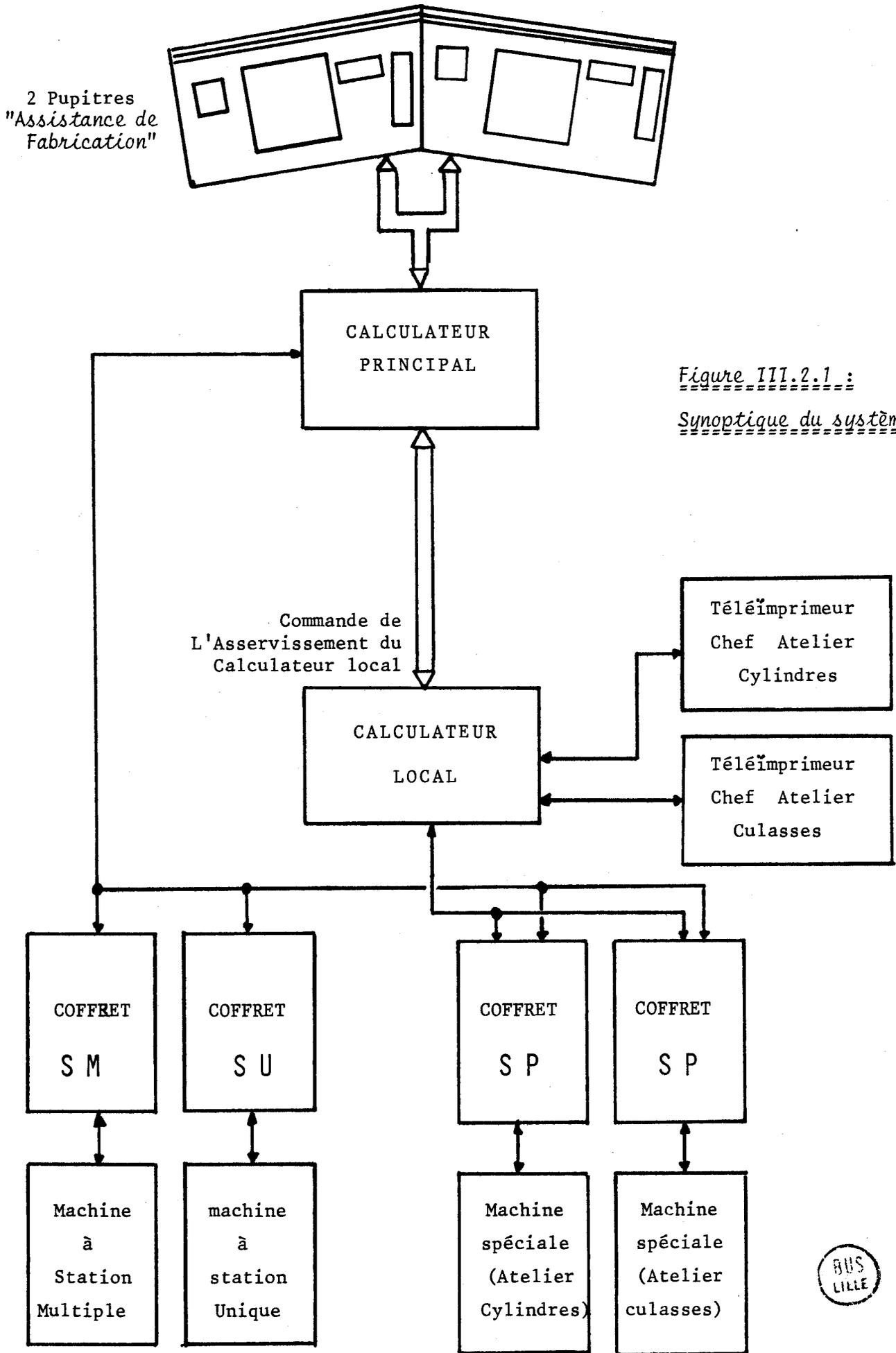


Figure III.2.1 :
Synoptique du système

pour sélectionner le type de pièces pour lesquelles on désire avoir une information sur l'usure des outils. Cette information est alors communiquée à l'aide de cinq autres voyants (correspondants aux cinq classes par type de pièces, soit au total les $6 \times 5 = 30$ classes d'outils).

III.2.1.3 - Principe du fonctionnement

Tous les coffrets sont liés au système principal (qui est, comme on l'a dit, le "maître"). C'est donc lui qui définit la cadence de scrutation des coffrets des trois types. Les calculateurs acquièrent alors chacun les informations transmises par les coffrets qui leur sont raccordés (l'instant précis où le calculateur local doit acquérir l'information des coffrets SP, lui est également fourni par le calculateur principal).

La taille des messages transmis par les coffrets au système principal reste de 35 bits ; par contre, le calculateur local reçoit, des coffrets SP, un message de 50 bits ; les 15 bits supplémentaires correspondent au codage du type de pièces en cours d'usinage et à l'acquittement du message du calculateur local.

Le système d'interrogation est le même que dans le cas précédent. Le système maître émet un train d'impulsions correspondant cette fois aux 50 bits du coffret SP ; les coffrets SM et SU ne répondant plus au-delà de 35 bits, cela n'a pas d'effet : les impulsions supplémentaires sont ignorées. La période de scrutation est toujours de 600 ms.

En cas d'arrêt du système principal, il est possible, manuellement par bouton poussoir, de remettre en route le système local. Celui-ci fonctionne alors en mode maître ; à l'aide de son propre système d'interrogation, il assure, alors seul, les fonctions du système principal pour les coffrets qui lui sont connectés. Le coffret SP possède deux systèmes de réception d'horloge d'interrogation ; celui piloté par le calculateur principal permet l'envoi d'un message sur les deux calculateurs, l'autre sur le calculateur local uniquement. Un verrouillage interdit le fonctionnement simultané des deux systèmes d'interrogation.

Enfin, le coffret SP, en plus du système de réception des messages du calculateur principal (identique au coffret SM), possède un second système destiné au calculateur local.

Le calculateur principal ne gère que les pièces de type 1 (RAC et relevé du compteur pièces). Le message du calculateur local, lui, est entièrement exploité (six types de pièces). Ses commandes sont liées à celles du calculateur principal par un "OU" logique. Le calculateur principal est prioritaire en cas de conflit d'accès au compteur pièces.

III.2.2 - Eléments du logiciel et remarques sur le système

D'emblée, pour se protéger des problèmes apparus sur le système précédent (cf. chapitre III.1.2), il a été envisagé d'utiliser un logiciel spécialement adapté au problème. Seul, il pourra se révéler d'un emploi pratique, simple et "puissant", c'est-à-dire efficace.

Le "monitoring" envisagé est développé suivant les principes de la programmation modulaire. Les trois modules principaux sont le superviseur, le moniteur d'entrée-sortie et le module de gestion du disque.

III.2.2.1 - Moniteur central

Il est chargé de gérer les différentes tâches du système. Suivant le principe de la programmation modulaire, le moniteur central, ou superviseur, n'a pas la possibilité d'interrompre un module : le moniteur n'a le contrôle qu'à la fin d'un module de programme. Toute interruption survenant est mise en attente d'ici là. Ce n'est qu'en fin de module qu'elle est prise en compte, s'il y a lieu (décision suivant l'ordre de priorité du module à exécuter à la suite). Cela implique, en pratique, un certain retard à la prise en compte des interruptions, et donc l'obligation pour limiter ce retard, de construire des modules limités dans le temps (de l'ordre de 5 ms au maximum). En contre-partie, chaque module est libre d'appeler à sa guise n'importe quel sous-programme, sans précautions particulières (problème de la "réentrance"). La gestion des tâches s'en trouve très simplifiée, de même que le verrouillage inter-tâches. Cela facilite, en outre, la documentation et l'écriture des programmes par des personnes différentes.

III.2.2.2 - Le moniteur des entrées-sorties

Il gère tous les échanges avec les périphériques. Il se compose d'un seul module qui lance, contrôle et arrête les échanges demandés.

Les périphériques sont de type : téléimprimeur, visualisation alphanumérique, imprimante semi-rapide.

III.2.2.3 - Le moniteur disque

Ce module intégré au moniteur central permet de gérer les fichiers sur le disque (256 au maximum). Son organisation permet le stockage, soit de données, soit de programmes ; cela permet de travailler en "overlay", c'est-à-dire de ne charger en mémoire centrale que des ensembles partiels du programme complet (DELE.).

III.2.2.4 - Les différentes tâches du système

Comme on l'a dit, au niveau fonctionnel, les tâches remplies sont identiques à celles du chapitre II. La refonte du logiciel, pour le système central, implique seulement de revoir et de mettre en forme éventuellement les tâches décrites par "SALOMON", pour en faire un ensemble cohérent avec le nouveau moniteur. Nous allons simplement dire ici quelques mots sur le système local.

Le système local assure la gestion des outils des machines spéciales ; par dialogue, au moyen des deux téléimprimeurs, il fournit les bilans outils pour les 30 classes, la production par type de pièces, l'édition des charnières par classe et la modification de ces charnières.

En fin de tournée, une édition donne pour chaque machine la production globale, la production par type de pièces et le bilan des changements d'outils par classe.

Les principaux programmes assurent donc, sous le contrôle d'un moniteur central identique au système principal, l'acquisition des messages-coffrets, le dialogue, l'édition de fin de tournée, la tâche d'initialisation permettant de réajuster le système après chaque interruption, et des programmes généraux (programmes de service, génération de tables, conversions mathématiques, etc...).

III.2.2.5 - Remarques générales sur le système

Le système qui vient d'être décrit est très intéressant, car il fait apparaître clairement comment l'utilisation d'un second ordinateur peut permettre d'étendre un système pour y inclure des applications non prévues initialement. Il fait apparaître, surtout, un degré de confiance supérieur au plan de la fiabilité et de la souplesse de l'ensemble.

Toutefois, le système conserve une identité fonctionnelle avec le système précédent, pour lequel nous avons déjà noté quelques remarques gênantes. Malgré l'identité fonctionnelle, il n'est pas possible d'employer directement le logiciel de l'ancien système. Cela suppose en effet une refonte complète des programmes actuels, c'est-à-dire une immobilisation probablement longue du système informatique. Il existe également des différences au niveau matériel (canal différent sur le T 2000/20 et le T 2000, l'imprimante rapide MDS au lieu d'une "CENTRONICS", le couplage différent des RTC, etc...).

Le système reste malgré tout figé, et présenterait des problèmes relativement importants si l'on voulait augmenter le nombre des coffrets ou effectuer des tâches différentes (gestion du magasin, des interventions du service de dépannage, des horloges de pointage du personnel, etc...). Dans tous les cas, l'écriture du programme d'une tâche demande l'intervention d'un spécialiste (ce qui n'aurait peut-être pas été le cas si l'on avait pu implanter un compilateur fortran, par exemple).

III.3 - Réalisations effectuées pour étendre le système MATRA

L'idée très séduisante d'utiliser un ordinateur supplémentaire chargé, soit de réaliser des fonctions inexistantes, sur l'ancien système, soit de compléter une fonction insuffisante, a finalement été retenue pour l'usine de Douvrin. Nous allons le voir très brièvement ci-dessous, et décrire son application : par exemple du magasin.

III.3.1 - Extension du système de Douvrin

Comme principe de base, on s'est fixé de ne pas perturber la fonction assistance de fabrication par la mise en place d'un nouveau système. Ce pari difficile a été obtenu en élaborant les nouvelles extensions, regroupées sous la dénomination "SAM" (système d'acquisition multiconsole), autour d'une configuration T 1600, laquelle a été reliée au T 2000 seulement après que les programmes soient prêts à fonctionner.

"SAM" utilise le moniteur de "Télémechanique RBOS/D" ; il constitue, en fait, un noyau de base auquel les différents utilisateurs peuvent adjoindre des tâches qui sont spécifiques à chaque application.

D'une façon générale, le système initial installé par MATRA reste inchangé. Il continue d'assurer l'acquisition et l'émission des messages vers les coffrets de l'atelier, et il s'occupe toujours entièrement de la fonction de pilotage.

Le calculateur T 1600 supplémentaire va se charger de toutes les tâches qui ne sont pas remplies ; c'est, en somme, une puissance de calcul en réserve sur laquelle les utilisateurs peuvent implanter les tâches qui les intéressent. Ainsi, huit téléimprimeurs ont été répartis à cet effet dans l'atelier d'usinage, permettant à tous les opérateurs qui y ont accès, d'utiliser toutes les ressources offertes par les différentes tâches d'une application donnée (assistance de fabrication, service de dépannage, magasin d'outillage ...).

Le système assure la gestion de ces périphériques et autres terminaux (console de visualisation, bande magnétique ...), ainsi que des terminaux de pointage ; il va également assurer la gestion des "overlays" des applications.

Le T 2000 se comporte vis-à-vis du système comme un terminal ; c'est le T 2000 qui a l'initiative des échanges. Une file d'attente est utilisée pour le stockage des messages devant être traités par une tâche d'application. Ces messages, d'une longueur fixe de 80 octets, comportent un ou plusieurs articles portant chacun sur une entrée coffret (avec l'heure et les paramètres éventuels). Pour l'instant, les seuls types de message reconnus sont relatifs aux cas de pannes survenant sur une machine, et

concernent tout particulièrement les services de maintenance (console de visualisation à la disposition du chef de l'équipe entretien).

Enfin, très judicieusement, le T 1600 supportant un compilateur FORTRAN IV, le système autorise l'écriture des tâches dans ce langage. A cet effet, il a été nécessaire de réécrire des sous-programmes d'entrées-sorties, de façon à pouvoir utiliser le système SAM pour la gestion des entrées-sorties.

III.3.2 - La gestion automatique du magasin d'outillage

Le problème du magasin a été défini dans le cahier des charges général de l'assistance de fabrication. Il s'agit d'assurer une gestion correcte du magasin, de façon à pouvoir répondre idéalement à toutes les demandes en outils (et aussi en pièces de rechange pour le service entretien). Le stock doit être aussi réduit que possible pour limiter les frais de stockage (volume de l'entrepôt, immobilisation du capital, frais de personnel ...).

Une étude, menée à l'Ecole des mines de Douai, s'est attachée à définir de façon approfondie un "cahier des charges fonctionnelles" d'un système de gestion du magasin. Ce système, directement intégrable dans le système régi par "SAM", pourrait résoudre dans certaines conditions le problème "magasin".

Le nombre total d'articles recensés est de l'ordre de 10 000. Le système assure (cf. le synoptique de la figure III.3.2) la surveillance des stocks (stock de sécurité, alarmes de différents degrés, points de commande, anomalies de consommation ...), le suivi des mouvements (sortie, réintégration, réservation et annulation, commande et annulation, entrée en magasin, retour chez le fournisseur), le suivi de la consommation (trop faible, trop élevée, ou consommation par un utilisateur inhabituel, modifications des prévisions, de la période de suivi), l'inventaire (réajustement entre la quantité réelle et la quantité théorique), la création, la modification et la suppression d'articles.

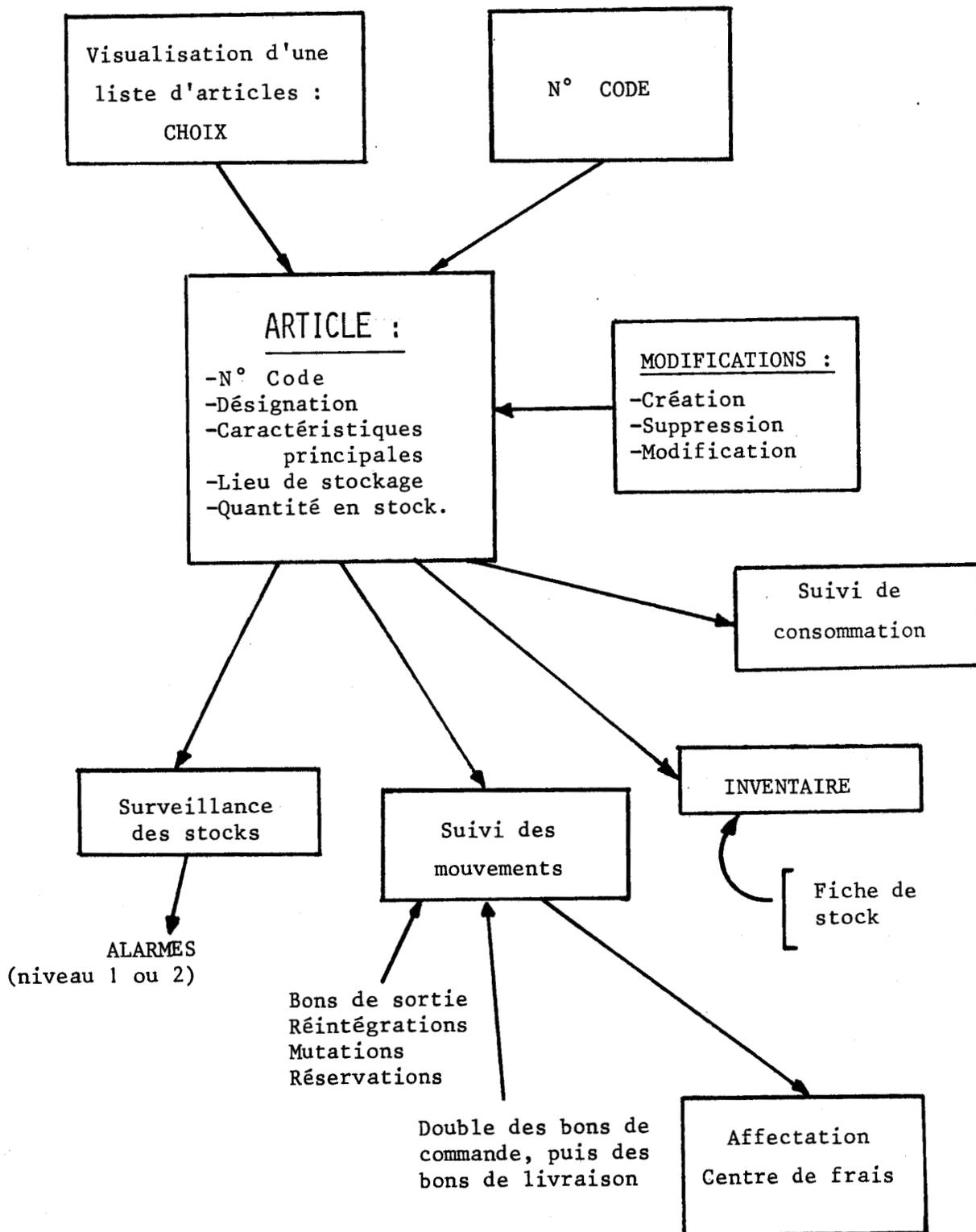


Figure III.3.2 : Synoptique des opérations concernant la vie d'un article du magasin

Toutes ces opérations peuvent être effectuées en "temps réel" à l'aide d'un simple téléimprimeur situé dans le magasin. Ce téléimprimeur pourra sans problèmes particuliers être rattaché au système "SAM".

CONCLUSION

Il apparaît de cette étude que le système réalisé à Douvrin a certes apporté une amélioration indiscutable à une situation antérieure où elle n'existait pas. Cependant, de par sa nature et ses limites, il s'est avéré nécessaire assez rapidement d'envisager d'autres solutions au problème. Un premier projet a dû être rejeté car il n'était pas possible de l'adapter de façon simple au système en place, et il conservait par ailleurs les structures et donc une partie des inconvénients du premier système. Plus modestement, les réalisations qui ont été effectuées, ont étendu le système initial sans chercher à résoudre dans l'immédiat l'ensemble des problèmes soulevés par cette étude.

CONCLUSION

=====

DE LA PREMIERE PARTIE

=====

VOIES DE PROGRES A LONG TERME

=====

L'étude préalable que nous avons menée et décrite dans cette première partie, nous a donc permis de définir un cahier des charges du problème global "assistance de fabrication". L'analyse des différents projets et réalisations nous a aidé à nous familiariser avec l'optique industrielle du problème, et à mieux cerner les difficultés (et la complexité) importantes que l'on rencontre pour tenter d'aboutir à une solution.

Le problème peut être structuré en trois parties :

au niveau de l'opérateur, il faut que l'assistance de fabrication lui apparaisse comme un outil de travail pratique et fiable, c'est-à-dire qu'il ne faut pas lui donner un surcroît de travail pour s'occuper d'une "assistance" dont il ne retire que peu de profit, mais au contraire, lui fournir toutes les informations citées au cahier des charges (chapitre I.4) et qui lui sont indispensables à son travail, tout en lui demandant un minimum d'effort de manipulation. Ainsi des relations directes avec son chef, les caristes, le service entretien et le magasin d'outillage pourraient lui permettre de réaliser de façon plus aisée la mission qui lui a été confiée.

au niveau des chefs d'équipe, des contremaîtres et des chefs d'atelier, une vision élargie de l'ensemble, ou au contraire suivant le cas, des données précises sur un point particulier de la chaîne d'usinage, pourrait leur permettre de mieux juger de la situation du chantier en temps réel, de pouvoir ainsi se situer par rapport à leurs optiques propres aboutissant ainsi, avec une plus grande facilité, à prendre les décisions

qui leur incombent en permanence.

l'assistant de fabrication qui est la personne supervisant cet ensemble complexe, reçoit toute l'information du système ; il peut ainsi, tel un "chef d'orchestre", diriger les diverses demandes, aiguiller les réponses, archiver, ... Ce travail, en fait considérable, est largement assisté par un support informatique relativement complet (calculateur, écran de visualisation, différents pupitres, imprimantes ...).

A partir d'un système initial dont l'exploitation a été riche en enseignements, plusieurs études et projets ont été menés, aboutissant parfois à des réalisations remarquables ainsi que nous l'avons dit.

L'accent a été mis, dans la majorité des cas, non sur l'aspect fonctionnel, mais sur des considérations de fiabilité, de choix d'une structure et tout particulièrement de souplesse et d'extensibilité. Il est naturel, et il convient d'insister sur ce point, de songer à l'usage ultérieur d'un matériel aussi onéreux. Sachant en particulier, sur un marché fluctuant, la nécessité pour un atelier d'évoluer librement, le matériel et le logiciel du système doivent pouvoir suivre l'évolution des techniques des machines-outils. A titre d'illustration, signalons ici que l'usine de Douvrin vient d'acquérir une nouvelle génération de machines-outils dont la commande est assurée par un automate programmable séquentiel "APS 30-20" (CGEE - Alsthom). Comment ces nouvelles machines vont-elles s'insérer dans le système ?

Le point suivant est une question de fiabilité, si le système est appelé, et c'est son but, à jouer un rôle très important pour l'atelier d'usinage, il est indispensable de se garantir des pannes qui, pour le système, au lieu d'aider l'atelier, entraveraient gravement celui-ci. De même, "fiabilité" englobe aussi la non-répercussion d'informations erronées ; cela est très important non seulement pour éviter des incidents graves, mais aussi pour le degré de confiance que les utilisateurs vont accorder au système, et donc pour l'usage qu'ils vont en faire.

Enfin, et surtout, l'assistance de fabrication est un moyen d'apporter une aide importante à ses utilisateurs. Il est capital, à notre avis, qu'elle soit l'un des moyens visant à l'amélioration des conditions de travail.

Les récents progrès de la technologie, avec notamment l'apparition de la micro-informatique, permettent aujourd'hui d'envisager des structures nouvelles qui pourraient permettre de mener à bien la réalisation d'une véritable assistance de fabrication. Il convient, pour cela, de repartir sur des bases nouvelles issues directement du cahier des charges établi et des conclusions de notre analyse. C'est la démarche que nous avons suivie dans la seconde partie de notre travail.

SECONDE PARTIE

DÉFINITION D'UNE ARCHITECTURE ET MODÈLE

D'UNE "ASSISTANCE DE FABRICATION"

Chapitre 4

PRESENTATION DU SYSTEME

INTRODUCTION

L'assistance de fabrication que nous allons présenter, peut se décomposer en trois niveaux que nous nommons arbitrairement : niveau primaire, niveau moyen et niveau supérieur. Suivant cette décomposition, nous allons, en premier lieu, dans ce chapitre, décrire ce système sous l'aspect fonctionnel et matériel.

Le cahier des charges, à la base de cette étude, reprend en grande partie l'analyse présentée au chapitre 1 de la première partie. Une attention plus particulière sera portée sur les qualités de fiabilité, souplesse et extensibilité.

Afin d'intégrer au mieux cet ensemble à la structure d'un atelier, trois niveaux de spécification fonctionnelle sont proposés.

IV.1 - Niveau primaire ou niveau machine-outil

A ce niveau, les utilisateurs du système sont les opérateurs et les chefs d'équipe.

Cette partie est celle qui doit directement s'adapter à l'environnement industriel, elle dépend ainsi étroitement des équipements en place dans l'usine.

Plusieurs cas peuvent alors se présenter (spécifications opérationnelles et technologiques).

IV.1.1 - Cas où les machines-outils sont équipées d'un automate programmable

Un grand nombre d'entreprises équipent désormais leurs ateliers d'automates programmables séquentiels qui permettent d'alléger considérablement le degré de spécialisation des machines-outils.

A Douvrin, les nouvelles machines-outils sont équipées d'automates de la gamme "ALSPA" (CGEE - ALSTHOM). Ces automates trouvent des applications sur des procédés de natures très diverses comportant un volume important de traitement d'informations élémentaires associé à un traitement numérique élémentaire. La principale caractéristique de ces automates est leur facilité de programmation. Les applications les plus fréquemment rencontrées sont : la commande séquentielle des machines-outils, le positionnement des organes mobiles, la surveillance, le conditionnement ... Suivant la configuration de base retenue, ces automates peuvent gérer des périphériques évolués : disques ou bandes magnétiques, téléimprimeur, imprimante, visualisation ... autour d'une unité centrale (MTS 30).

En ce qui concerne l'assistance de fabrication, cela signifie que l'information mise en forme et codée est disponible sur le site au regard de chaque machine.

IV.1.2 - Cas classique

Il n'existe, en général, aucune installation en dehors des machines-outils (armoire de commande cablée). Il conviendra alors de prévoir un système complet réalisant le codage et le traitement des informations disponibles.

La réalisation d'un tel ensemble a fait l'objet d'une étude séparée "{AYEN.}", nous nous bornerons ici à en présenter les aspects purement fonctionnels.

IV.1.3 - Description fonctionnelle

Les fonctions principales peuvent se résumer en trois blocs ; les trois premiers découlent essentiellement des informations DCY et FCY (début et fin de cycle - figure IV.1.1). Nous trouvons successivement : le calcul et la surveillance des temps de cycle, le comptage des pièces usinées, la gestion des outils, le dernier bloc résoud les informations en grande partie de type manuel : il est nommé "dialogue".

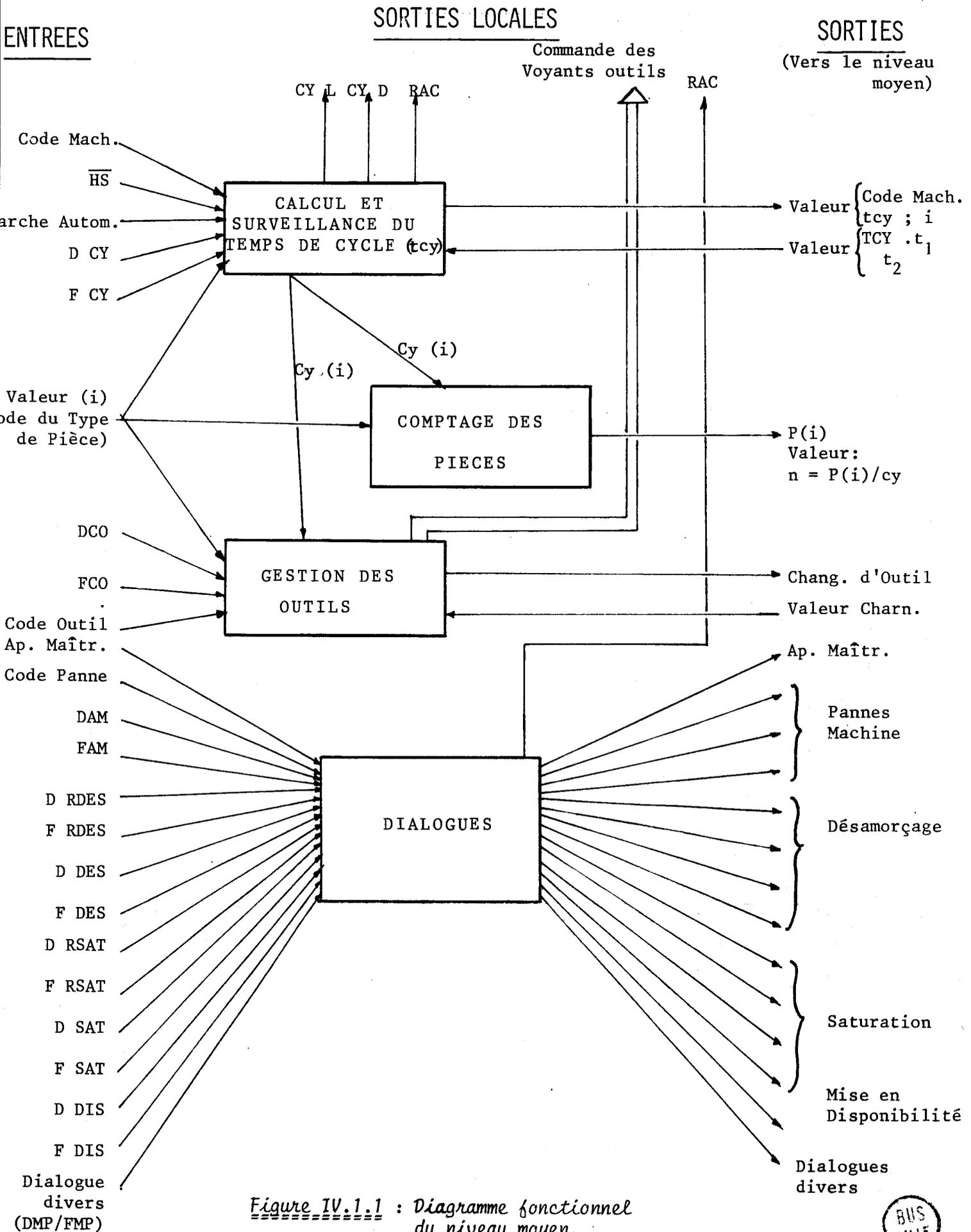


Figure IV.1.1 : Diagramme fonctionnel du niveau moyen.

IV.1.3.1 - Calcul et surveillance du temps de cycle

Quand la machine est sous tension (\overline{HS}) et en marche automatique, une impulsion (DCY) déclenche la surveillance du cycle, ce qui peut se traduire par les alarmes suivantes :

- . cycle long noté CY L : $T_{cy} < t_{cy} \leq t_1$
- . cycle doublé noté CY D : $t_{cy} = 2 T_{cy}$
- . refus d'autorisation de cycle noté RAC : $t_{cy} > t_2$

T_{cy} est le temps normal théorique d'un cycle, t_1 et t_2 sont des valeurs choisies à l'avance par l'utilisateur ; ces données sont chargées en début de tournée.

Quand le cycle s'est terminé normalement (cas où un arrêt RAC n'a pas été généré), sur l'impulsion FCY, le coffret charge sa valeur sur le premier mot de la mémoire de sortie vers le niveau moyen et déclenche le départ des deux modules suivants.

IV.1.3.2 - Comptage des pièces usinées

Suivant le descriptif de la machine, chaque cycle normalement déroulé entraîne l'usinage de n_i pièces du type P_i ; l'opération se résume alors à l'incrémentation de n_i d'un compteur correspondant à P_i , $\forall i \in [1, 10] \cap N$.

IV.1.3.3 - Gestion des outils

Ce troisième module se charge de l'ensemble du traitement relatif aux outils. Il gère les voyants "classe d'outils" en feu fixe ou clignotant suivant que l'on a atteint la charnière (Charn.), ou seulement un pourcentage près défini de cette charnière.

La valeur des charnières et le pourcentage à partir duquel les voyants doivent clignoter sont chargés lors de l'initialisation du système.

Vers le niveau moyen, on émet les informations relatives aux changements d'outils (avec un codage adéquat) qui sont survenus ainsi que le temps du changement d'outils. Si le premier bit (bit de poids fort) est à 1,

le changement n'a pas eu lieu à l'instant "charnière atteinte" ; dans ce cas, le premier mot de la zone "Dialogue 2" (figure IV.1.2) indique la valeur de la charnière au moment du changement ; si le deuxième bit est à 1, plusieurs changements d'outils ont eu lieu simultanément, les classes changées seront de même codées dans la zone libre de dialogue.

Le dernier des quatre blocs de la figure IV.1.1 est un module qui gère les différents dialogues. La principale fonction de celui-ci est la gestion de la mémoire d'échange.

IV.1.3.4 - Dialogues

Un module d'échange que nous étudierons au chapitre V, se comporte vis-à-vis du coffret comme une mémoire périphérique de 2 x 256 bits.

La première moitié (256 bits) est destinée à l'émission vers le niveau moyen, la seconde à la réception.

Le module dialogue a donc pour unique tâche d'écrire ou de lire dans ces mémoires. La figure IV.1.2, ci-dessous, décrit la zone de mémoire destinée à l'émission :

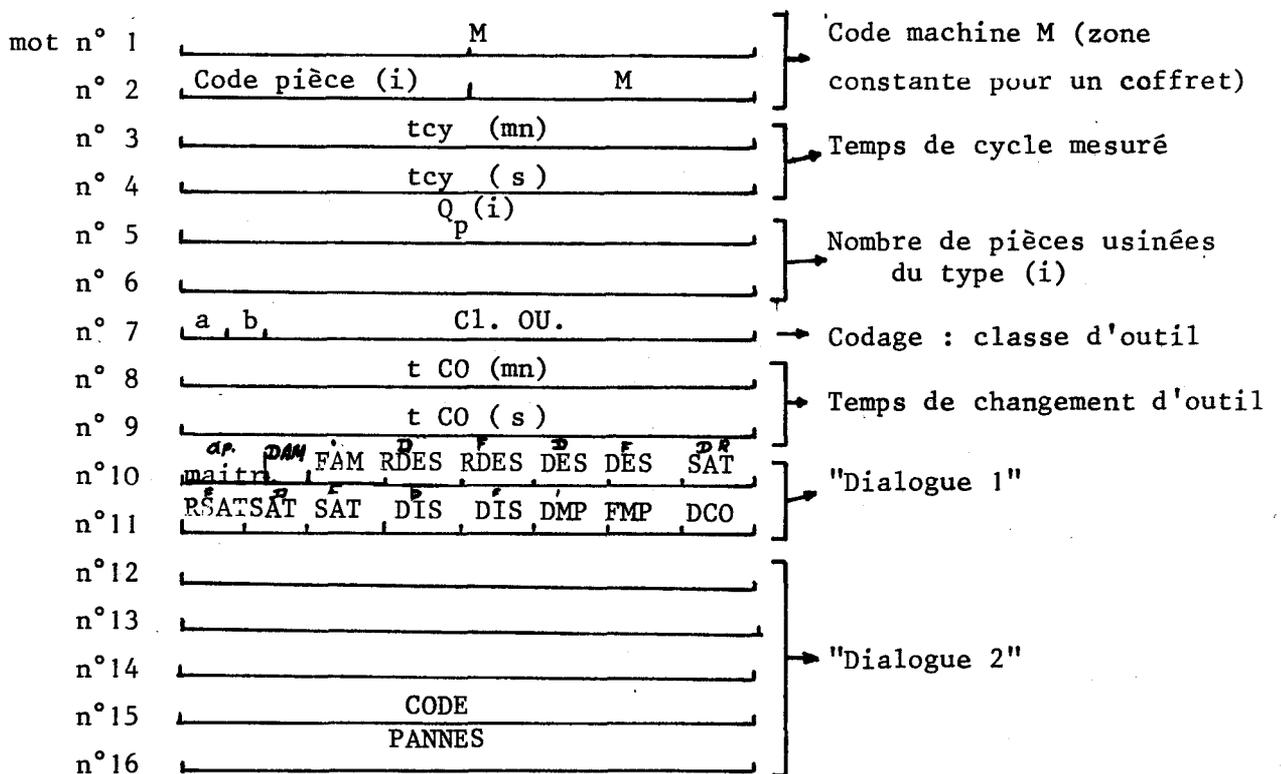


Figure IV.1.2 - Exemple type de message-coffret

Nous avons les limitations suivantes :

$$0 \leq M \leq 4096$$

$$0 \leq (i) \leq 16$$

$0 \leq t_{cy} \leq 256 \text{ mn} + 256 \text{ s}$ c'est-à-dire : $0 \leq t_{cy} < 4 \text{ h } 20 \text{ mn } 16 \text{ s}$
c'est la même limite pour un changement d'outil :

$$0 \leq \text{Nb PI}(i) \leq 32696$$

et enfin : $0 \leq \text{Cl.OU} < 64$

Les chiffres ci-dessus étant évidemment les plus grands nombres binaires qu'il est possible de formuler compte tenu du nombre de bits alloués respectivement à chacune des expressions correspondantes.

IV.2 - Le niveau moyen

Les utilisateurs du système à ce niveau sont les chefs d'équipe et contremaîtres, le magasin d'outillage et le service de maintenance.

IV.2.1 - Description fonctionnelle

L'intérêt de placer un niveau moyen dans le système est double.

Cela permet en premier lieu de limiter, de façon importante, toute panne qui pourrait survenir dans le système, ce que ne permettrait pas un système centralisé (chapitre VII).

D'autre part, c'est la solution qui permet le plus facilement les extensions ultérieures.

Le niveau moyen reçoit, en provenance des coffrets, N fois un message de 16 mots de 8 bits tel qu'il a été défini ci-dessus. N est le nombre de coffrets reliés au système, soit dans le cas du cahier des charges initial : $N = 300$. Si l'on admet que le service de maintenance, le magasin d'outillage et le magasin des pièces usinées sont tous trois centralisés et disposent chacun de la même unité d'échange que les coffrets, nous aurons donc en définitive pour entrée du système moyen, les matrices :

$$A_k \quad | \quad k \in [1, N+3] \quad \text{de dimension } 8 \times 16.$$

Les tâches du système sont :

l'implantation en mémoire de ces matrices,
puis, le traitement de ces données.

IV.2.1.1 - Initialisation des coffrets

L'initialisation des coffrets est une opération qui a lieu en début de tournée, pour prendre en compte toute modification effectuée depuis la précédente tournée sur tous les paramètres. Il s'agit de charger la valeur du nombre de pièces usinées pour chaque type de pièces $Q_p(i)$; de même, il faut recalculer la position des outils par rapport à leur charnière. S'il y a lieu, on charge également le descriptif machine : la valeur des temps de cycle $T_{cy}(i)$ et les valeurs t_1 et t_2 admises respectivement avant les alarmes CY L, CY D et RAC ; la valeur du nombre de pièces usinées par type pour un cycle et la ou les classe(s) utilisée(s) pour ce type (i). Enfin, il faut charger chaque matin l'heure de référence.

IV.2.1.2 - Fonction de pilotage

Cette fonction regroupe les tâches de l'assistance de fabrication. Vers le magasin d'outillage, les informations à générer sont les listes des outils pour l'ensemble de l'atelier qui sont situés entre 80 et 100 % de la charnière et ceux qui ont atteint leur charnière. Pour le service de maintenance, il convient d'extraire de l'ensemble des matrices le bit A_k (10, 2) pour toutes les valeurs de k, c'est-à-dire rechercher (figure IV.1.2) toutes les machines qui ont émis l'information "DAM" (Début d'Arrêt Machine).

Le magasin ayant sa gestion propre est un problème particulier à l'utilisateur. Le système moyen et supérieur réserve une place à ces programmes spéciaux.

Enfin, et c'est le rôle principal de ce niveau, il faut extraire des matrices A_k , pour l'assistant de fabrication, toutes les informations qui lui sont nécessaires pour son travail : la liste de tous les événements ou incidents survenus dans l'atelier.

A la demande, il faut fournir aux chefs d'équipe ou aux contremaîtres une information concise relative à un événement précis.

IV.2.2 - Principe du fonctionnement et description matérielle

IV.2.2.1 - Caractéristiques des flux d'information vers l'atelier

Le point de départ de notre raisonnement est le suivant ; nous avons constaté dans le cahier des charges (§ II.1.1.3) que le régime de pointe du système était occasionné par les évènements quasi périodiques (700 000 par poste de 9 h pour 300 machines), et non par les évènements typiquement aléatoires (20 000 environ par poste de 9 h pour 300 machines).

Le système ayant à présent été doté d'un niveau primaire plus performant, nous allons pouvoir soulager efficacement les transmissions en utilisant la capacité de stockage du coffret.

Etant donné que les évènements aléatoires sont les moins fréquents, ce sont eux qui vont déterminer en partie le moment d'un échange, tous les autres évènements étant mémorisés dans le coffret dans l'attente d'un échange.

Les échanges entre les coffrets et le niveau moyen ont lieu à l'initiative des coffrets, de façon asynchrone, de deux manières différentes :

. soit à l'occurrence d'un incident survenant sur la machine (évènement aléatoire),

. soit en l'absence d'un tel évènement au bout d'un temps fixé afin de libérer la mémoire locale du coffret, laquelle est malgré tout restreinte.

Soit I le nombre maximum des évènements aléatoires pour un ensemble de N machines sur une période de T secondes, nous pouvons calculer le nombre maximum E_{\max} de matrices $A_k \mid k \in [1, N]$ à acquérir par seconde :

$$E_{\max} = N^+ \frac{I(N)}{T}$$

où N^+ désigne la partie entière positive de l'expression.

Si nous prenons pour I la valeur 20 000 qui représente la valeur la plus approchée par le cahier des charges, $T = 9 \text{ h} = 32\,400 \text{ s}$ et $N = 300$, la valeur trouvée de E_{\max} est :

$$E_{\max} = 0,617 \approx 1 \quad (\sim 38 \text{ évènements/mn}).$$

Nous verrons que l'unité d'échange effectue une transmission complète toutes les 1,5 secondes. Au niveau moyen, une unité d'échange serait donc insuffisante à assurer seule une transmission par seconde. Il est donc nécessaire d'utiliser au minimum deux unités. Nous préconisons pour $N = 300$ l'usage au niveau moyen de trois unités d'échange, ce qui correspond environ pour chacune à une utilisation de 50 % de sa capacité. C'est une marge de sécurité qu'il ne serait pas prudent de dépasser.

Le système de transmission comporte donc trois parties identiques et distinctes ; cette particularité est compatible également avec le problème de la fiabilité (chapitre VII). Chacune de ces trois parties comporte une ligne de transmission de type téléphonique reliant 100 coffrets. Au niveau moyen, cette liaison "multi-points" nous impose de placer une "station de contrôle" ; elle résoud les problèmes d'adressage et de partage de la voie de transmission. Tous les signaux transitent par cette station, elle a en outre, seule, l'initiative de sélection d'un coffret (émetteur ou récepteur). On pourra trouver dans {CLAV.} une étude approfondie d'un tel problème désormais classique, que nous ne traiterons pas ici.

Afin de nous assurer de la disponibilité complète de la transmission, le service de maintenance et le magasin d'outillage sont reliés par deux lignes propres au niveau moyen ; chaque ligne aboutit à l'autre extrémité à un téléimprimeur.

Après la prise en compte que nous venons de voir des matrices A_k , et leur traitement, la dernière fonction du niveau est le traitement des interrogations des chefs d'équipe et contremaîtres. Pour répondre à ce type d'information plus élaboré, il est nécessaire d'utiliser des téléimprimeurs ou des consoles de visualisation répartis dans l'atelier. Elles sont également rattachées au niveau moyen, et elles utilisent des programmes spéciaux spécifiques aux utilisateurs.

La figure II.1.1 (première partie) fait apparaître un découpage de l'atelier en treize parties pour 300 machines-outils. Si on fait correspondre un téléimprimeur par sous-groupe, nous obtenons environ cinq téléimprimeurs pour 100 machines.

IV.2.2.2 - Description matérielle

De ce qui précède, nous aboutissons à l'idée de placer un processeur par sous-ensemble de 100 machines. Cette idée se justifie :

. Par le coût du système : la charge de chacun des trois processeurs est faible puisqu'il leur faut simplement gérer cinq téléimprimeurs et traiter au maximum une fois toutes les 1,5 secondes une matrice A_k , le coût de chaque processeur en sera d'autant plus faible.

. Par les considérations de fiabilité : une charge plus faible pour chacun des processeurs signifie également la possibilité de récupérer les tâches d'une unité défaillante.

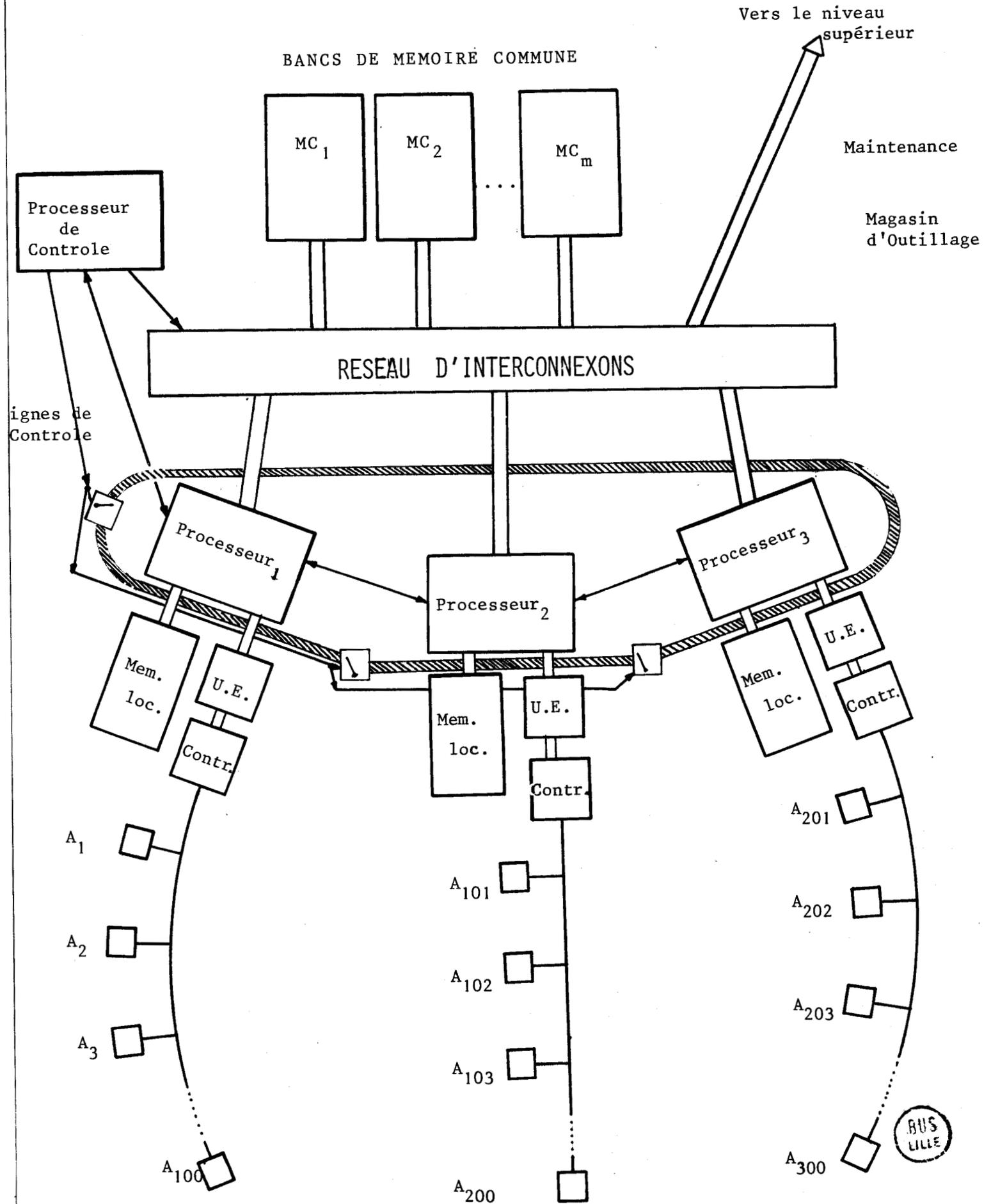
. Une liaison directe : simplifie les problèmes de liaison interne (notamment le réseau d'interconnexions), et donc cela simplifie les problèmes de commandes, de conflits, et en définitive de la programmation du niveau.

. Par le problème de l'extensibilité : les extensions ultérieures sont possibles par groupe de 100 machines (on peut imaginer aussi la solution intermédiaire de charger un peu plus le réseau précédent avant de passer à un nouveau réseau à $N + 1$ processeurs). Il n'est pas utile en effet dans un tel réseau de modifier les structures pour ces extensions.

Remarquons également que les unités centrales ne sont plus à présent et de loin, les plus lourdes charges financières d'un système informatique.

Pour compléter ce système multiprocesseur, une dernière unité calcule la commande du réseau d'interconnexions qui relie les processeurs exécutants d'une part avec les mémoires et le reste du système (niveau supérieur) d'autre part. Ce processeur est le centre de contrôle du niveau moyen. En cas de panne, l'ensemble de ces fonctions est repris (marche dégradée) par le niveau supérieur.

Figure IV.2.2 : Structure du niveau moyen



IV.2.2.3 - Problème d'accès en parallèle aux mémoires dans un système multiprocesseur (annexe 1)

Si l'on veut obtenir l'efficacité maximum d'un système multiprocesseur, une des premières obligations est de ne pas pénaliser le système par des conflits d'accès, notamment durant les échanges avec les mémoires communes.

Afin que plusieurs processeurs puissent accéder parallèlement à la mémoire, il faut diviser celle-ci en m "bancs mémoire" distincts, satisfaisant la relation : $m \geq N$ processeurs. Toutefois, cette relation n'est pas suffisante pour se garantir des conflits d'accès ; il faut également résoudre les deux problèmes suivants :

. trouver une règle d'implantation compatible avec les formes d'accès souhaités (compatibilité avec un "patron" P).

. résoudre le problème d'accès (réseau d'intercommunications).

Les échanges, qu'il y aura lieu d'effectuer avec la mémoire commune, sont de deux types, il s'agit soit de ranger une matrice A_k , soit de rechercher un type d'informations précis relatif à un ensemble de q machines par exemple la liste des machines en panne :

charger tous les mots $A_k(10, j) \quad \forall k \in [0, q], \forall j \in [1, 8]$

Dans le cas général, nous utilisons les lignes de A_k comme représentation d'une information, c'est-à-dire que nous considérons A_k comme des matrices colonne formées de mots de 8 bits ; la juxtaposition des A_k forme un pavage du plan de dimension 16×300 .

Les patrons qui nous intéressent, forment alors la famille des patrons linéaires :

$[1, 0]_{16}$ (accès aux colonnes A_k)
 $\{[0, 1]_q\} \mid q \in [0, 302]$ (accès aux lignes)

Ainsi posé, le problème conduit à un parallélisme virtuel d'ordre 302, c'est-à-dire correspondant à 302 demandes d'accès simultanées aux lignes ou aux colonnes vers une mémoire comportant un minimum de 302 bancs distincts.

Il est évident qu'un parallélisme aussi puissant n'est pas utile ici où l'on ne dispose que de trois processeurs. Il nous suffit de nous assurer qu'à un instant donné chacun des trois processeurs pourra accéder à une information donnée, même si celle-ci est située sur une même ligne ou une même colonne que l'information traitée par ses voisins.

On aboutit ainsi à la famille des patrons linéaires :

$$[1, 0]_3 \quad ; \quad [0, 1]_3$$

Dans ces conditions, si on se donne m bancs mémoire tels que $m \geq N$ processeurs, il est en général possible de trouver une règle d'implantation compatible avec ces deux patrons {LAWR.} , {SHAP.} , {BUN.}.

Le réseau de connexions découle directement de cette règle d'implantation, on peut également trouver dans {SHAP.} et dans {LAWR.} des exemples de commande d'un tel réseau.

IV.3 - Le niveau supérieur

Terminons enfin ce chapitre par quelques mots sur l'unité du niveau supérieur ; elle dessert l'assistant de fabrication. Son rôle est de superviser l'ensemble du système, et dans les cas les plus défavorables de panne, de se substituer à lui.

Pour la salle de contrôle du niveau supérieur, il est bon de reprendre la disposition à laquelle le personnel est habitué, à savoir trois pupitres identiques, comprenant un écran de visualisation, une imprimante lente et le dispositif de recherche de personnes.

Les fonctions de l'assistant de fabrication consistent, comme dans le système MATRA, à contrôler le déroulement des opérations, et à intervenir pour effectuer une recherche de personnes (agents de maîtrise et caristes). Toutefois, la tâche lui est simplifiée par les nouvelles fonctions automatiques (magasin d'outillage et dépannage). Il décide des reconfigurations du système, programme les points de consigne, et en fin de tournée, effectue les éditions qui lui sont commandées (bande magnétique, journal de bord ...).

L'archivage est réalisé automatiquement au fur et à mesure de l'arrivée des informations.

En conséquence, l'équipement informatique, qu'on pourra situer dans une salle commune avec le "niveau moyen", devra comprendre, outre les périphériques déjà cités, un mini ordinateur, un téléimprimeur, une unité disque, une imprimante et une unité de bande magnétique.

CONCLUSION

Nous venons de voir que le système comprend trois niveaux, à l'intérieur desquels l'information est créée là où elle va être utilisée. C'est ici un système essentiellement décentralisé, pour lequel l'accent principal a été porté sur les qualités de fiabilité et d'extensibilité. La disponibilité et la souplesse du système ainsi formé sont également des atouts majeurs par rapport à un système plus traditionnel.

Dans un tel système, on le conçoit aisément, les moyens de communication et le logiciel prennent une importance primordiale ; c'est pourquoi nous avons choisi de traiter ces deux problèmes séparément.

Chapitre 5

L'UNITE D'ECHANGE (U.E.)

=====

INTRODUCTION

L'unité d'échange est un organe indépendant du système général. Elle assure seule l'ensemble du processus d'échange d'un groupe de 16 mots de 8 bits (qu'on peut identifier à une matrice A_k) entre deux utilisateurs distants. L'unité est pourvue d'un modem pour piloter une ligne téléphonique, d'un circuit de transmission, d'un organe de stockage et enfin d'une logique de commande microprogrammée pour diriger l'ensemble. Nous allons étudier ici chacune de ces différentes parties.

V.1 - Description de l'unité

V.1.1 - Principe de l'unité

L'unité travaille en "Duplex": elle est capable d'émettre ou de recevoir simultanément. Vis-à-vis de l'extérieur, du côté local, un certain nombre d'indicateurs logiques ("flags") sont accessibles, indiquant les opérations qu'il est possible d'effectuer avec l'unité. On trouve ainsi C_1 et C_2 indiquant l'état de deux compteurs internes ; ils sont, respectivement, relatifs aux mémoires "émission" et "réception" ; ces indicateurs déterminent, pour le processeur extérieur, les possibilités d'accès aux mémoires correspondantes (quand l'émission précédente s'est déroulée correctement, ou quand un message nouveau a été reçu).

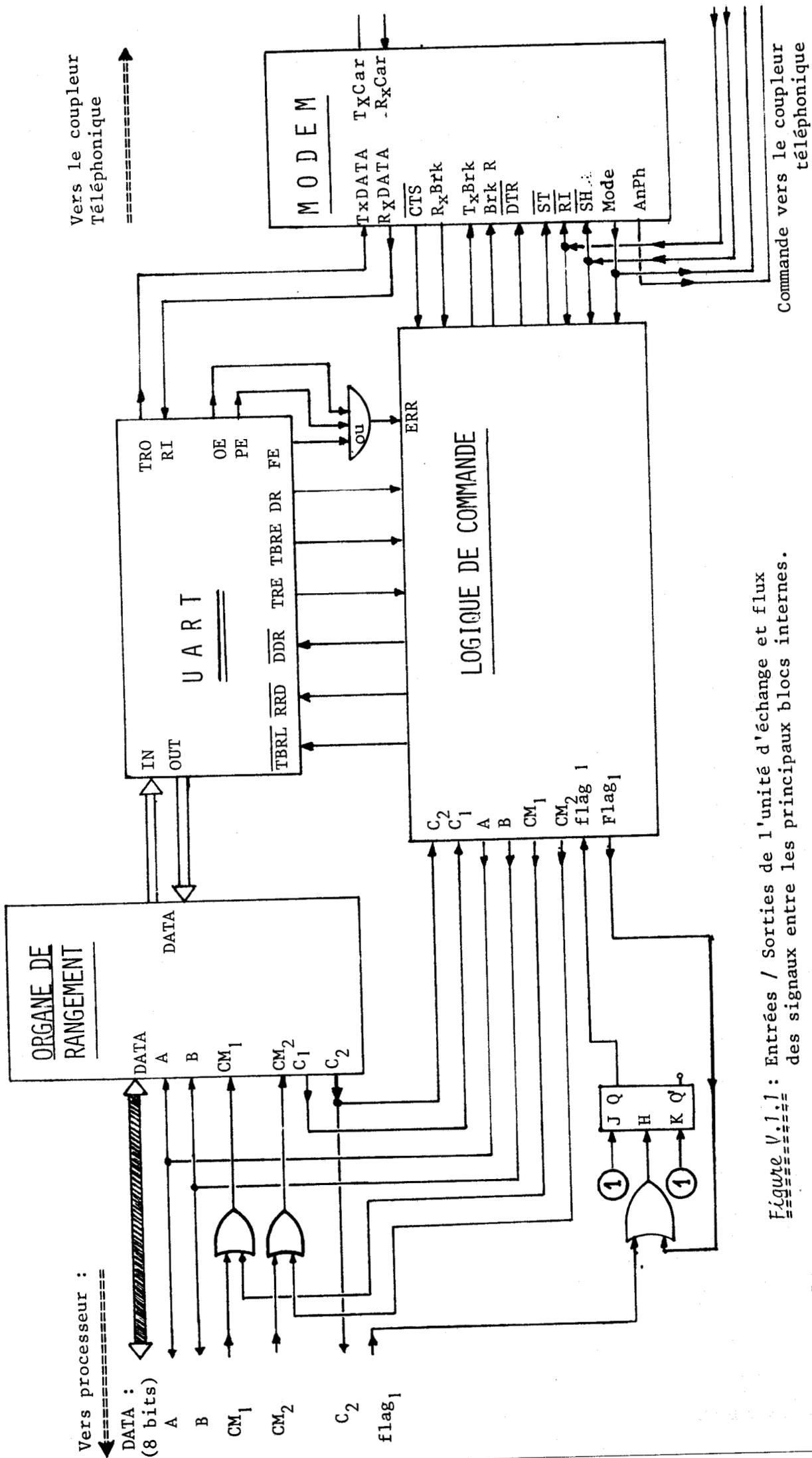


Figure V.1.1 : Entrées / Sorties de l'unité d'échange et flux des signaux entre les principaux blocs internes.



L'émission a lieu dès que le processeur libère l'accès à la mémoire émission ("flag 1") après chargement des 16 mots de 8 bits. La réception peut avoir lieu à tout moment si l'accès à la mémoire réception est libre (message précédent lu).

V.1.2 - Le circuit "modem"

Nous avons utilisé un circuit intégré "MC6860" (Motorola) : il assure la conversion simultanée ou non ("Duplex" ou "Half-Duplex") d'un signal numérique en un signal analogique. Suivant le cas, le signal est transmis par une "porteuse" dont les fréquences sont :

$$\begin{aligned} \text{. en mode émetteur} & : \begin{cases} \text{valeur "1"} : 1270 \text{ Hz} \pm 0,15 \text{ Hz} \\ \text{valeur "0"} : 1070 \text{ Hz} \pm 0,09 \text{ Hz} \end{cases} \\ \text{. en mode récepteur} & : \begin{cases} \text{valeur "1"} : 2225 \text{ Hz} \pm 0,31 \text{ Hz} \\ \text{valeur "0"} : 2025 \text{ Hz} \pm 0,75 \text{ Hz} \end{cases} \end{aligned}$$

Suivant la programmation (signaux fournis extérieurement), le modem est alors prêt à assurer ses trois fonctions automatiques.

V.1.2.1 - Emission d'un message

La réception d'un signal \overline{SH} place le modem dans le mode "émetteur" (le signal \overline{SH} est délivré par un coupleur téléphonique, il indique que le correspondant est en ligne).

Si le terminal de données est prêt (signal \overline{DTR}), le modem libère les relais de transmission ($AnPh = 1$). La réponse attendue est un "1" (2225 Hz), sinon la déconnexion a lieu automatiquement après une attente de 17 s.

Quand la réponse est correctement reçue pendant 150 ms, le modem émet alors "0" (1270 Hz) ; puis la sortie \overline{CTS} tombe à zéro, et le message est transmis (au total 750 ms après la réponse du correspondant).

V.1.2.2 - Réception d'un message

La réception du signal \overline{RI} place le modem dans le mode "récepteur" (le signal RI est délivré par le coupleur téléphonique pour annoncer l'appel d'une autre unité).

Comme précédemment, si $DTR = 0$ (\overline{DTR}), le modem émet un signal $AnPh = 1$ activant les relais de transmission du coupleur téléphonique ; cela lui permet alors d'envoyer sa réponse (signal de 2225 Hz de fréquence) vers l'origine de l'appel. Après la réponse normale (sur 1270 Hz) au bout d'un temps identique à celui du modem émetteur (750 ms après le début de l'émission de 2225 Hz), CTS prend la valeur zéro (\overline{CTS}) ; les données reçues sont converties en binaire et dirigées vers le "terminal de données". Dans le cas contraire (pas de réponse de l'émetteur), la déconnexion automatique survient après 17 s.

V.1.2.3 - Déconnexion automatique

Un signal, continument nul de 150 ms (valeur 1070 Hz) reçu, provoque la mise à 1 de la sortie R_xBrk ; suivant la programmation du circuit, la déconnexion survient 0,3 ou 1,5 s après (dans notre cas, la valeur retenue est 0,3 s). Toutefois, il est possible de remettre R_xBrk à 0 pour reprendre la communication par la commande \overline{BR} .

Pour provoquer la rupture, il suffit donc pour l'émetteur de forcer l'entrée \overline{DTR} à 1 pendant plus de 34 ms (car le modem émet alors un zéro pendant 3 s), avant de "raccrocher".

V.1.3 - Le circuit "transmission de caractères" {CHAU.}

V.1.3.1 - Programmation

Le circuit intégré "TMS 6011" ("Texas-Instrument") assure la sérialisation pour la transmission ou la parallélisation, pour la réception d'un mot de longueur comprise entre 5 et 8 bits (8 bits dans notre cas). Il contrôle les bits de début et fin de mot (fiabilité de la transmission). La programmation qui enclenche les fonctions précédemment définies, est fournie par l'extérieur (par exemple au moyen de "cavalier") ; une impulsion sur l'entrée MR réinitialise le circuit ; on peut alors charger en parallèle un mot sur le registre de contrôle par une impulsion sur l'entrée CRL.

V.1.3.2 - Emission d'un message

La transmission d'un message se fait à travers un registre tampon de 8 bits. Lorsque ce registre est vide, la sortie TBRE a la valeur "1", il est possible de charger un mot en portant l'entrée TBRL à "0".

Le circuit se charge alors de l'émission en série du mot, à une cadence égale à 1/16 de celle des impulsions de l'horloge dont le signal est reçu sur l'entrée TRC.

V.1.3.3 - Réception d'un message

La réception peut se faire parallèlement à l'émission d'un message, dès que le registre de contrôle est chargé. Le mot est reçu en série sur l'entrée RI pour être rangé dans un registre "réception". Dès que le mot est complet, la sortie DR passe à "1", il peut alors être lu (en parallèle), pour cela il faut placer l'entrée RRD à "0"; cette opération ayant été effectuée, on restaure DR à "0" en plaçant l'entrée DRR à "0".

On trouvera dans la notice MOS/LSI ; TMS 6011 JC NC ; UART toutes les informations relatives à ce circuit et sa programmation.

V.1.4 - Les circuits de mémorisation (figure V.1.4)

Cette appellation désigne les mémoires proprement dites et les circuits directeurs du bus-mémoire ("drivers").

V.1.4.1 - Le connecteur de bus

Le circuit intégré MC 6881 (Motorola) sert à connecter trois lignes issues de la mémoire avec trois lignes dirigées soit vers l'extérieur (processeur local), soit vers le circuit de transmission. Le sens de l'information dans le circuit est déterminé par programme suivant le tableau ci-dessous :

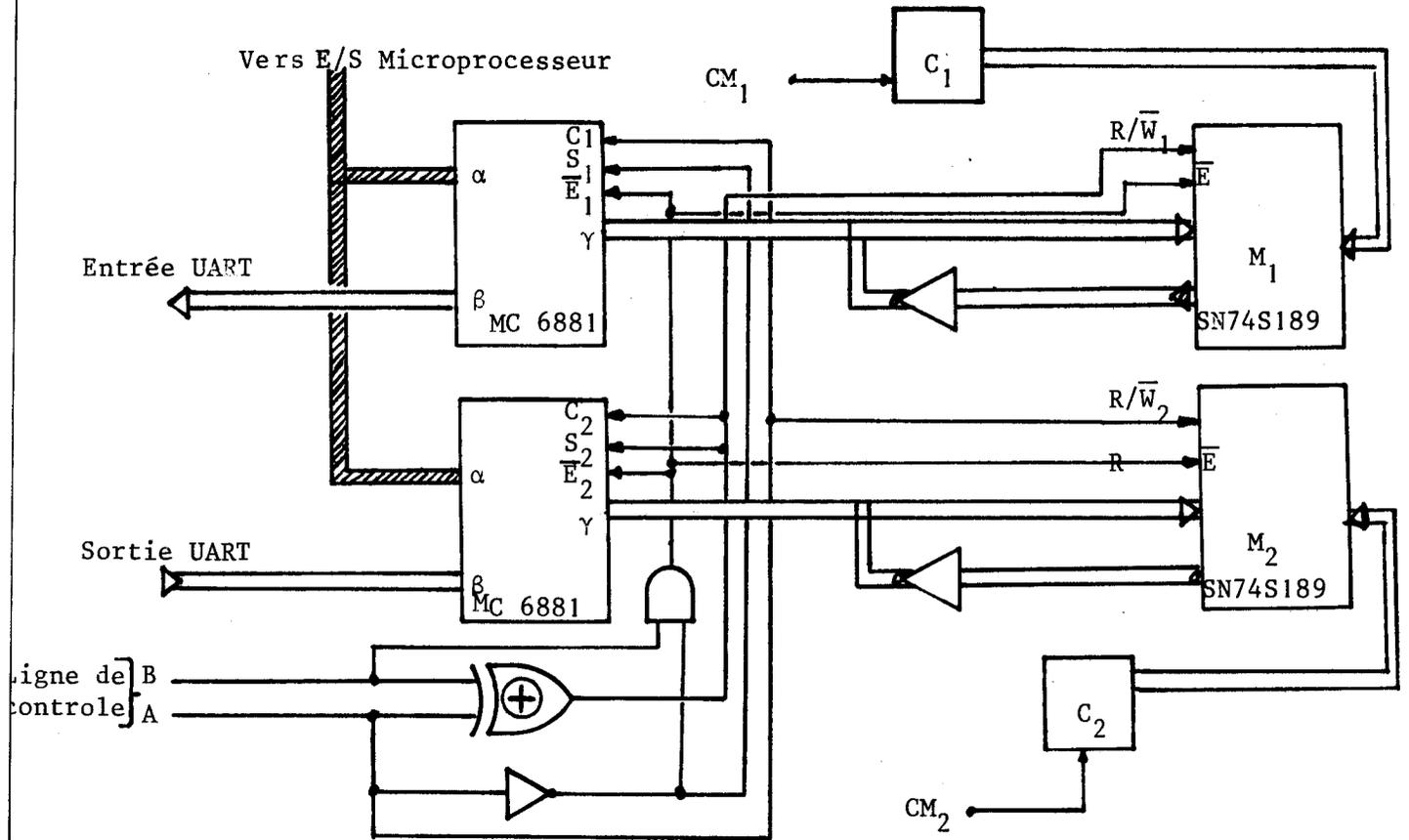


Figure V.1.4 : Organe de rangement (Connecteur de BUS et mémoire)

	<u>CONNECTEUR DE BUS</u>			<u>MEMOIRE</u>	
	<u>C</u>		<u>SELECT</u>	<u>R/\bar{W}</u>	
	1	21	2	1	2
<u>ETAT $\bar{A}\bar{B}$</u> UART vers mémoire M_2 Microprocesseur vers mémoire M_1	0	01	0	0	0
<u>ETAT $A\bar{B}$</u> Mémoire M_2 vers microprocesseur Mémoire M_1 vers UART	1	10	1	1	1
<u>ETAT $A\bar{B}$</u> Mémoire M_1 vers UART UART vers mémoire M_2	1	00	0	0	1
<u>ETAT $\bar{A}\bar{B}$</u> Unité au repos	HAUTE IMPEDANCE AUX BORNES				

①

②

③

④

BUS
LILLE

Enable E	Contrôle C	"Sélect" S	Direction /sens de l'information	
0	0	0	$\beta \rightarrow \gamma$	(a)
0	0	1	$\gamma \rightarrow \beta$	(b)
0	1	0	$\alpha \rightarrow \gamma$	(c)
0	1	1	$\gamma \rightarrow \alpha$	(d)
1	x	x	haute impédence	(e)

V.1.4.2 - Les états logiques

Les états (a) et (d) ne se produisent jamais vu le câblage réalisé. Le tableau sous la figure V.1.4 donne les valeurs des quatre états de l'unité de mémorisation :

- (1) - Réception : M_2 reçoit l'information ; M_1 libre d'accès.
- (2) - Emission : M_1 délivre l'information ; l'accès à M_2 est libre.
- (3) - "Duplex" : émission et réception simultanées.
- (4) - Organe au repos.

Ces quatre états sont commandés par deux variables booléennes A et B, suivant le schéma combinatoire de la figure V.1.4.

V.1.4.3 - Les mémoires

Les mémoires M_1 et M_2 sont utilisées respectivement pour l'émission et la réception de 16 mots de 8 bits. Chacune est constituée de deux circuits intégrés SN 54S189 (Texas-Instrument) ; ce sont des mémoires à accès rapide.

L'adressage est effectué par deux compteurs C_1 et C_2 commandés, suivant le cas, soit par l'unité, soit par l'extérieur, par un train d'impulsion (de 16 bits) sur les entrées CM_1 et CM_2 .

V.1.5 - La logique de commande (figure V.1.5)

V.1.5.1 - Liste des entrées-sorties du bloc "logique de commande"

Nom du signal	Provenance : E = Extérieur à I = Interne à l'unité d'échan- ge	Description - usage
Flag 1	E microproces- seur	Activité du microprocesseur vis-à-vis des mémoires de l'unité
C ₁	I Organe de stockage	Issu du compteur C ₁ , sert à déterminer l'instant où C ₁ est dans l'état "1111"
C ₂	"	Idem (pour le compteur C ₂)
TRE	I UART	Indique que le registre du transmetteur est vide
TBRE	I UART	Indique que le buffer du transmetteur est vide
DR	I UART	Indique que le registre récepteur a été chargé
CTS	I MODEM	Indique la disponibilité du modem et de la ligne
R x Brk	I/E MODEM	Réception d'une coupure de ligne
RI	I/E MODEM/LIGNE	Réception d'un appel sur la ligne

Nom	Destination	Description
A, B	E microproces- seur I organe de stockage	Commande de l'état de cet organe
CM ₁ , CM ₂	I "	Commande de l'incrémentatation des compteurs C ₁ et C ₂
TBRL	I UART	Chargement du buffer du transmetteur
RRD	I UART	Déconnection (en haute impédance du buffet de réception)
DRR	I UART	Remise à zéro de l'indication "donnée prête"
DTR	I MODEM	Indique au modem que l'on est prêt à émettre ou à recevoir
Brd R	I "	Abandon de "coupure ligne"
T x Brk	I	Signal de "coupure ligne" à transmettre



ENTREE

ORTIE

V.1.5.2 - Commande de l'unité

Le réseau de Pétri qui décrit la logique de l'unité de contrôle, est donné par la figure V.1.5.

Nous pouvons constater, en première lecture, que le réseau est non sauf structurellement ; cependant, la conformité du réseau est malgré tout assurée par les réceptivités : suivant les différents cas pouvant survenir, le retour dans l'état initial "DTR. \overline{A} .B" ne peut avoir lieu qu'à partir d'une transition et une seule.

Il est possible de quitter l'état initial de trois façons différentes :

. Pour effectuer une émission (arc de gauche) ; la transition correspondante est déclenchée par le processeur (flag_1) à la condition que celui-ci ait chargé la mémoire d'émission (M_1). Dans ce cas, la valeur du compteur 1 est "1111" et $C_1 \neq 1$ (C_1 prend la valeur 1 quand le compteur est dans l'état "0000"). La disjonction avec le mode "Duplex" ou le mode réception est assurée par RI.

L'échange est alors initialisé (demi-duplex, émission : $A.\overline{B}.\overline{SH}$ et \overline{DTR}) ; dès que le modem et le circuit de transmission de caractères sont prêts ($\overline{TBRE}.\overline{CTS}$), le compteur 1 est incrémenté de un (CM_1) et le premier mot est émis (mot de l'adresse "0000"). Les mots suivants sont émis successivement dès que le mot précédent a libéré la place ($TBRE$) ; τ_1 est la réceptivité correspondant à la fin d'une temporisation de 50 ns nécessaire à la recherche d'un mot dans la mémoire 1. Quand le compteur 1 est à nouveau en "0000" ($C_1 = 1$), la boucle de programme est interrompue, l'indicateur flag_1 est remis à 1 (Flag_1), et on retourne à l'état initial après avoir testé l'état des variables A et B. Cela permet d'assurer la conformité du réseau (réseau sauf et vivant), car dans ce cas, aucune marque ne circule dans la partie réception. Dans le cas d'un "Duplex", il faut attendre la fin des deux parties du graphe avant de retourner à l'état initial.

Durant le déroulement de ce processus, deux types d'incidents peuvent survenir :

le destinataire du message détecte une erreur de transmission, dans ce cas, le compteur 1 est réinitialisé et l'on reprend l'émission.

la porteuse n'est pas reçue à un niveau suffisant (coupure de ligne), le compteur 1 est remis à zéro, un message "COUPUR." est généré et l'on

retourne à l'état initial. La valeur flag_1 étant inchangée, il suffit pour reprendre l'émission de décrémenter de un le compteur 1.

Ce problème de la fiabilité de la transmission sera traité séparément.

. Pour recevoir un message (arc de droite) ; la transition correspondante est déclenchée par la "sonnerie d'appel" RI, sous réserve que le message précédent ait été lu (C_2 , relatif au compteur 2, joue un rôle analogue à C_1 décrit ci-dessus). La disjonction avec l'arc précédent est assurée par flag_1 .

De même que précédemment, l'échange est alors initialisé, avec cette fois les valeurs relatives à la réception. Le premier mot reçu est chargé en mémoire ($\overline{\text{RRD}}$) et nous retrouvons, de même que pour l'émission, une boucle de programme de laquelle on sort en fin de réception ($C_2 = 1$), ou à la suite d'un incident de transmission.

Remarquons que dans le cas d'un défaut dans le message (parité, cadrage, survitesse), l'unité réceptrice émet une "rupture de liaison" ($T_x\text{Brk}$) :

$$\text{ERR} = \text{PE} + \text{FE} + \text{OE} = 1$$

avant de réinitialiser le compteur 2 pour attendre un nouvel envoi.

. Pour émettre ou recevoir simultanément (arc central) ; nous sommes alors dans le cas "Duplex". Après l'initialisation correspondante du système, nous nous replaçons dans les deux cas précédents qui se déroulent alors simultanément.

On ne peut revenir vers l'état initial que par la transition centrale (A.B.C., C_2), c'est-à-dire uniquement dans le cas où les deux parties du graphe se sont déroulées jusqu'à leur terme : émission et réception complètes ou incident.

L'utilisation d'un réseau de Pétri nous a permis pour l'unité de commande de nous assurer de ses propriétés en testant celles du réseau (conformité).

En outre, un réseau de Pétri est une représentation générale qui peut être utilisée indépendamment du matériel, on peut par exemple utiliser de façon simple un automate programmable pour effectuer la commande. On pourra trouver dans {TOU1.} des méthodes d'implantation d'un réseau sur ces machines.

V.2 - Problème de la sécurité des transmissions

V.2.1 - Les erreurs détectées par l'unité

Le circuit de transmission de caractères détecte trois types de panne : les erreurs de parité (PE), les erreurs de cadrage (FE), et enfin les survitesses de transmission par rapport au rangement en mémoire (OE).

L'un de ces signaux entraîne, à travers une porte "ou", le signal ERR (figure V.1.1.).

C'est évidemment une unité réceptrice qui détecte ce message, la procédure est alors la suivante (figure V.1.5) :

ERR déclenche, dès qu'elle se produit, la transition qui force le modem à générer une rupture de liaison ($T_x\text{Brk}$) vers l'unité émettrice. Le compteur C_2 est réinitialisé à "0", et l'on se replace dans l'état " $\overline{A.B.DTR}$ " : attente d'un mot nouveau.

L'unité émettrice recevant le signal de coupure le transmet à la logique de commande ($R_x\text{Brk}$), déclenchant la transition correspondante. Le compteur C_1 est remis à "0", le signal coupure est supprimé (Brk R) et l'on reprend l'émission depuis le premier mot.

Quand la transmission a été interrompue (coupure de ligne - TD), les modems arrêtent la liaison au bout de 17 s au maximum (voir "déconnexion automatique") ; durant tout cet intervalle de temps, la liaison pourrait reprendre. Ce temps peut sembler important, mais rappelons qu'il s'agit d'un cas "anormal" (coupure de ligne), dans le cas d'une transmission correcte, la liaison est coupée en 0,3 s par l'émission d'un signal de 1070 Hz de fréquence (valeur "0") comme nous l'avons dit (§ V.1.2.3).

V.2.2 - Codes détecteurs et correcteurs d'erreurs

V.2.2.1 - Nécessité et choix d'un code détecteur d'erreur

Malgré les précautions élémentaires que l'on vient de citer, il est bien évident que toutes les erreurs ne pourront pas être évitées. Parce que le bruit thermique subsiste toujours, quelle que soit la qualité d'une transmission, il nous faut admettre comme principe général, que l'on n'est jamais sûr qu'un message reçu soit juste.

Toutefois, il est possible d'améliorer la sécurité d'une transmission par l'usage de codes détecteurs et correcteurs d'erreurs. On sait {CLAV.} que pour cela, le seul moyen de détection est l'émission, avec l'information utile, de digits supplémentaires. Ces digits ou "digits de redondance" répondent à une loi L connue de l'émetteur comme du récepteur, et dépendent, bien sûr, dans leur nature des digits utiles sinon ils ne serviraient qu'à la détection de leurs propres erreurs.

Pour choisir une loi L, on peut penser que la connaissance des lois de probabilité des erreurs rencontrées permet de choisir le code détectant en moyenne le maximum d'erreurs. C'est le problème de la synthèse des codes non résolus à l'heure actuelle {CLAV.}. En outre, la statistique des erreurs sur une même ligne est variable dans le temps.

En l'absence d'un critère mathématique, il nous reste donc une grande liberté dans le choix d'un code ; notre seule contrainte est la forme du message (matrice A_k) qui est fixée, et une mise en oeuvre commode du code ne consommant pas trop de matériel.

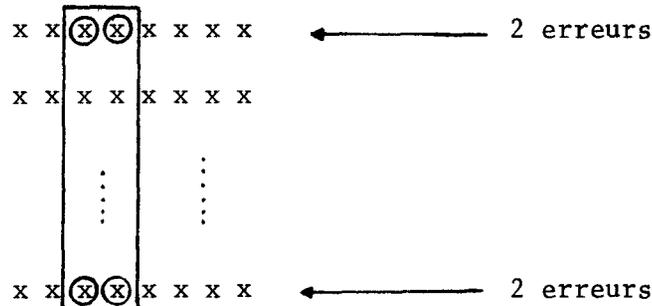
V.2.2.2 - Code à parité entrelacée

Nous avons vu que l'unité d'échange assure une première forme de "contrôle de parité" qu'on peut qualifier d'horizontale. Elle a lieu pour les mots de 8 bits constituant les lignes d'une matrice A_k . Ce premier système, très simple, est sans doute également le plus employé de nos jours. Ce code détecte l'erreur (ERR), si le nombre d'erreurs sur une ligne est impair (1, 3, 5 ou 7 erreurs).

Pour réaliser un code à parité entrelacée, il nous faut effectuer la même opération sur les colonnes. Toutefois, il faut réserver un mot supplémentaire à cet usage dans la matrice A_k , par exemple le dernier mot. Par ailleurs, cette forme de contrôle n'étant pas prévue sur l'unité d'échange, ce mot devra être codé avant de charger la mémoire de l'unité émettrice, et décodé après une unité réceptrice. Un diagnostic d'erreurs devra enclencher une procédure réclamant à l'émetteur la répétition du message. Une répétition, à nouveau erronée, donne lieu à édition et met hors service l'unité k responsable de l'erreur jusqu'à l'intervention du service de dépannage.

Sous ces conditions, indiquons la puissance d'un tel codage :

- . l'erreur double pour l'ensemble du message est toujours détectée,
- . l'erreur quadruple est détectée sauf dans le cas de quatre erreurs placées en rectangle dans la matrice :



- . l'erreur sextuple est détectée dans tous les cas ...

Il apparaît que la puissance du code est la conséquence directe d'une redondance élevée.

CONCLUSION

L'unité d'échange entre deux processeurs logiques d'un réseau, que nous venons de décrire, est un organe simple et autonome. Sa commande, microprogrammée, est suffisamment souple pour pouvoir s'adapter à un problème donné. Une reprogrammation simple réalise les modifications nécessaires.

On peut remarquer la lenteur relative de cette unité d'échange. Cependant, le temps de réponse d'un système est une caractéristique en relation directe avec sa complexité et son prix.

Dans le cas envisagé, la vitesse choisie permet d'exploiter une structure réellement parallèle à tous les niveaux.

En ce qui concerne la fiabilité des transmissions, plusieurs codes détecteurs d'erreurs peuvent être envisagés (code de Fire, Hamming, Berger, Mac Donald ...) {CLAV.}. La souplesse du système permet à l'utilisateur futur (à l'appui des données de l'exploitation du réseau), d'en déterminer un de manière rationnelle. En l'absence de telles données, nous nous sommes

bornés à la mise en oeuvre d'un code éprouvé (code à parité entrelacée) et dont la puissance est suffisante pour un bon nombre de configurations d'erreurs. La place ainsi utilisée, et le traitement des données nécessitent toutefois une légère modification de la forme des matrices A_k .

Chapitre 6

LOGICIEL DU SYSTEME (NIVEAU MOYEN ET SUPERIEUR)

=====

INTRODUCTION

Nous avons successivement présenté le type d'information échangé entre le niveau primaire et les autres niveaux ; la structure, au niveau moyen, qui traite cette information, enfin le principe général de l'échange. Nous allons définir à présent les opérations qui se déroulent au niveau moyen, puis au niveau supérieur, afin d'assurer le fonctionnement de l'ensemble.

Dans un premier temps, nous distinguons sept types différents de matrices A_k , relatives aux informations-coffrets, service de maintenance et magasin d'outillage. Ceci permet de définir les programmes de traitement correspondants, au niveau moyen ; nous étudions enfin le niveau supérieur.

VI.1 - Acquisition et décodage au niveau moyen d'un message A_k

VI.1.1 - Les différents types de messages-coffret

L'exemple décrit (figure IV.1.2) fait apparaître certaines contraintes peu compatibles avec la précision des temps, la place nécessaire pour loger les bits de redondance ; nous remarquons que le codage d'un temps précis occupe un volume de trois mots, en outre, à l'intérieur d'un même message, plusieurs codages peuvent s'avérer utiles pour rendre compte des écarts entre les informations.

D'autre part, cette structure figée n'est ni souhaitable, ni rentable dans le cas général.

Nous allons donc définir sept types différents de messages, ce qui permet de réaliser toutes les fonctions nécessaires.

Tous les messages commencent par un numéro définissant le type auquel ils se rattachent ; ce numéro est suivi par le code du coffret émetteur (M_k), et le type de pièces en cours d'usinage ("0000" pour les machines usinant un seul type de pièces). Tous les messages se terminent par 8 bits de redondance (code à parité entrelacée) ; la description ci-dessous concerne donc les mots 4 à 15 du message.

VI.1.1.1- Les "alarmes" (A_k^1)

Les alarmes regroupent toutes les causes d'arrêt (y compris les "risques") de la machine.

Il s'agit des informations concernant les saturations (DRSAT, FRSAT, DSAT et FSAT), les désamorçages (DRDES, FRDES, DDES et FDES), l'appel maîtrise (Ap. Maîtr.), les pannes (DAM et FAM), les cycles trop longs ($t_{cy} > t_2$) ayant entraîné un arrêt de la machine (RAC), le début d'un changement d'outils (DCO) et enfin la mise en disponibilité ou le manque de personnel (DDIS, FDIS, DMP et FMP).

Les mots A_k^1 (4) et A_k^1 (5) contiennent la valeur du compteur pièces du type de celles usinées au moment de l'évènement. L'information est codée à la suite sur trois mots :

$$A_k^1 (6 + 3n) = \text{type d'information, heure.}$$

$$A_k^1 (7 + 3n) = \text{date de l'évènement (minutes).}$$

$$A_k^1 (8 + 3n) = \text{date de l'évènement (secondes).}$$

où $n \in \{0, 1, 2\}$

Ce codage permet la prise en compte de trois évènements quasi simultanés, la précision obtenue sur le temps est importante. Il n'est pas utile de prévoir un plus grand nombre d'évènements "simultanés" car, dès le premier évènement, l'émission est déclenchée. Il est peu probable de voir survenir deux autres évènements dans l'intervalle de temps requis pour la transmission, si cela se produisait, le coffret est capable de le mémoriser.

Le mot A_k^1 (15) est inutilisé, sa valeur est toujours nulle.

VI.1.1.2 - Les temps de cycles : (A_k^2) et (A_k^3)

Les évènements DCY et FCY sont les plus fréquents pour l'ensemble des machines (§ II.1.1.3), pour ne pas surcharger le réseau de transmission, il n'est pas souhaitable et au demeurant inutile, de faire un échange à chaque cycle. Pour nous assurer d'un intervalle de temps minimum entre deux messages d'une même machine, nous distinguons deux catégories de temps de cycles (tcy) :

- . Dans le premier cas, un des temps de cycles mesuré, au moins, est supérieur à 4 mn et 16 s. Il est alors nécessaire d'utiliser deux mots pour coder ce temps :

$$A_k^2 (4 + 2n) = \text{valeur du temps de cycle (tcy) - minutes -}$$

$$A_k^2 (5 + 2n) = \text{valeur du temps de cycle (tcy) - secondes -}$$

où $n \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$

Cela permet le codage de tous les temps :

$$4 \text{ mn } 16 \text{ s} < \text{tcy} < 4 \text{ h } 20 \text{ mn } 16 \text{ s}$$

Ce message est transmis dès que six cycles ont été mesurés.

- . Dans le deuxième cas, $\text{tcy} \leq 4 \text{ mn } 16 \text{ s}$ un seul mot suffit pour le codage :

$$A_k^3 (4 + n) = \text{valeur du temps en secondes.}$$

où $n \in [0, 1] \subset \mathbb{N}$

Ce message se produit tous les 12 cycles quand aucun des cycles mesurés n'est supérieur à 4 mn 16 s. Si après avoir dépassé six mesures, survient un cycle d'une valeur supérieure, tous les précédents sont émis tandis que le nouvel arrivant formera le premier (et le deuxième) mot du prochain message (du type A_k^2). La fin du message A_k^3 est alors nulle.

Si un changement de type de pièces usinées survient alors que l'une ou l'autre des deux listes n'est pas complète, les temps enregistrés sont émis, la fin du message est identiquement nulle (sauf évidemment le mot 16).

VI.1.1.3 - Gestion des pièces et changement d'outils (A_k^4)

Ce message est émis, soit à la suite d'un changement d'outils, soit à la suite d'un changement de type de pièces usinées. Dans ce dernier cas, étant donné qu'il n'y a pas eu de changement d'outils, la fin du message est nulle.

Dans tous les cas, les mots A_k^4 (4) et A_k^4 (5) contiennent la valeur du compteur-pièces du type en cours d'usinage (bits A_k^4 (2, m) où $m \in [5, 8]$).

Dans le cas d'un changement de type de pièces, la valeur du compteur de pièces précédemment usinées se trouve en A_k^4 (14) et A_k^4 (15). Les mots suivants contiennent le codage des changements d'outils effectués (s'il y a lieu), ils sont suivis du temps global de changement d'outils A_k^4 (12) et A_k^4 (13).

VI.1.1.4 - Messages de l'opérateur (A_k^5)

Le mot A_k^5 (4) est réservé à l'information "FAM" caractérisée par le codage d'un type de panne.

Les mots A_k^5 (5), A_k^5 (6) et A_k^5 (7) contiennent la date exacte de cette fin d'arrêt machine.

Le reste du message est réservé à l'utilisateur pour réaliser les fonctions spécifiques de dialogues avec l'opérateur (fonctions $DIAG_1$ à $DIAG_5$ du tableau I.4.6 du cahier des charges).

VI.1.1.5 - Les services annexes (A_k^6) et (A_k^7)

Il s'agit des messages émis par le magasin d'outillage A_k^6 et le service de maintenance A_k^7 .

Pour A_k^6 , le message consiste en une interrogation du fichier : déterminer les machines, avec leur descriptif (nombre d'outils par classe), dont les outils ont atteint une valeur située entre 80 et 100 % de leurs charnières respectives. Cela permet de préparer les ensembles d'outils qui vont être bientôt utilisés.

Le message A_k^7 est également une interrogation du fichier, pour rechercher cette fois, les machines sur lesquelles une intervention a été réclamée. Il s'agit d'un rappel, l'annonce d'un incident étant éditée automatiquement.

VI.1.2 - Acquisition et reconnaissance des messages

C'est le processeur de contrôle qui supervise l'acquisition des messages. A chaque processeur est normalement attribuée une ligne téléphonique reliée à 100 coffrets environ. Dans la phase de réalisation, il conviendra d'effectuer l'étude de ces liaisons dans le but d'assurer une charge sensiblement équivalente sur chaque ligne (figure IV.2.2).

Toutefois, le processeur de contrôle garde la possibilité d'attribuer une ligne à un processeur différent, à l'aide des connecteurs de bus représentés sur la figure. C'est également le processeur de contrôle qui transmet les messages A_k^6 et A_k^7 vers un processeur défini par sa disponibilité, et les règles de priorité des tâches ; la même procédure s'applique enfin pour les messages relatifs au niveau supérieur.

Chaque processeur possède une mémoire locale contenant le programme de chargement et de reconnaissance des messages. Dès qu'un message a été attribué à un processeur, celui-ci en opère le traitement. Le message est chargé en mémoire, ce qui permet de libérer l'unité d'échange.

Le programme résidant a pour tâche suivante la reconnaissance du premier mot - A_k^i (1) - du message, ce qui entraîne le chargement et l'exécution du programme correspondant.

Nous allons à présent décrire ces programmes.

VI.2 - Le logiciel du niveau moyen

L'ensemble du logiciel, au niveau moyen, est implanté dans la mémoire commune sous la forme d'un ensemble de petits "modules" de programmes, strictement indépendants et destinés chacun à une tâche bien précise. La mémoire locale de chaque processeur, que nous venons de décrire, est suffisante pour contenir, outre le programme résidant, le plus grand de ces modules, des zones de travail et une place pour un minimum de deux messages A_k .

VI.2.1 - Initialisation des coffrets

En début de tournée, un grand nombre de coffrets sont mis en service en un court intervalle de temps ; il est donc nécessaire de recourir à une procédure d'initialisation spéciale.

L'initialisation a pour but de recalibrer la valeur des compteurs de pièces pour tenir compte d'un fonctionnement des machines entre deux tournées. En retour, le coffret doit prendre connaissance des nouvelles valeurs, éventuelles, des paramètres (§ IV.2.1), de l'heure de référence ...

L'échange a lieu en mode "Duplex" alternativement pour chaque coffret en service : le coffret envoie un message de type A_k^5 contenant la valeur des compteurs-pièces ayant changé. Il reçoit en retour la liste des paramètres à modifier. Cette liste est fournie (au niveau supérieur) par l'assistant de fabrication. Cette tâche consiste donc en un simple échange des "nouvelles".

Le message A_k^5 est simplement rangé à sa place dans la mémoire commune, venant ainsi remplacer les valeurs précédentes. Avant de passer à un nouveau message, le processeur charge et exécute le module "gestion d'outils", afin de sauvegarder la surveillance de l'usure des outils.

VI.2.2 - Fonction de pilotage

Cette fonction regroupe toutes les tâches de l'exploitation temps réel. Elle se compose essentiellement du traitement des sept types de messages A_k .

La procédure suivie dans chaque cas est la même : on procède à l'acquisition et à la reconnaissance du message, cela permet de déterminer un module de programme, celui-ci est chargé localement et exécuté.

VI.2.2.1 - Les messages d'alarme (A_k^1)

La figure VI.2.1 représente le réseau de Pétri relatif au module "messages d'alarme".

Nous trouvons, sur la figure, les places suivantes :

- 1 - Place d'entrée dans le module
- 2 - ranger les mots A_k^1 (4) et A_k^1 (5)
- 3 - Test type d'évènement mot A_k^1 (6)

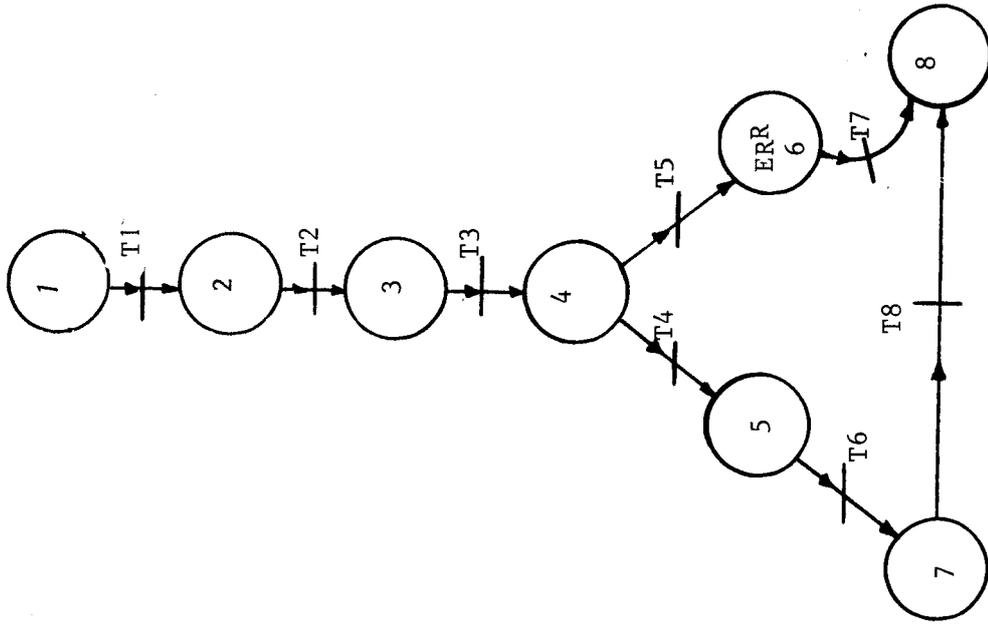


Figure VI.2.2 : Traitement relatif
aux messages de type A_k^2

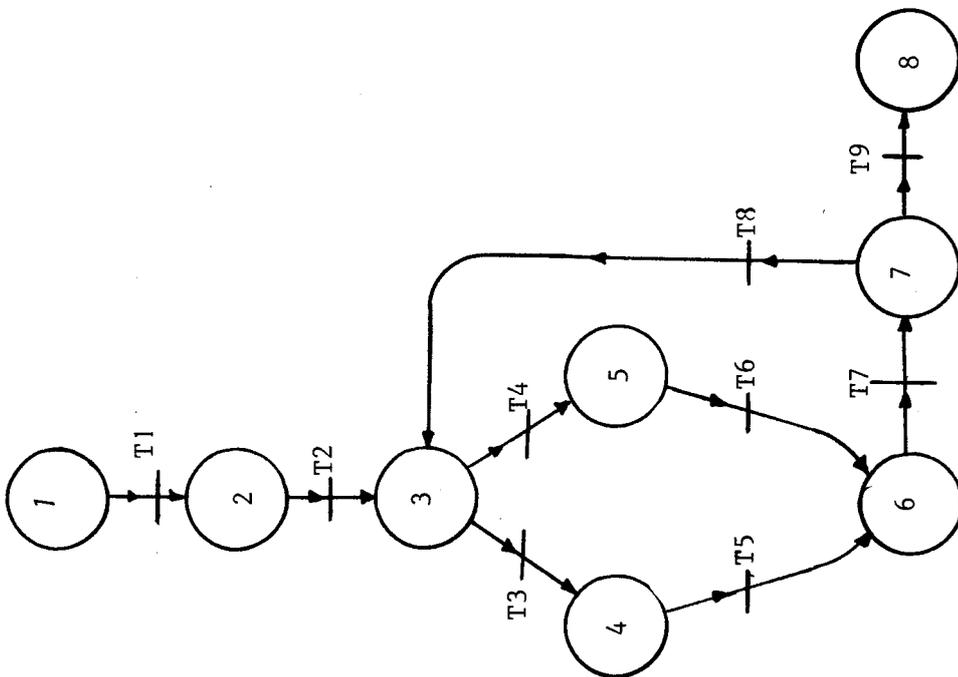


Figure VI.2.1 : Traitement relatif
aux messages de type A_k^1



- 4 - Edition vers le service dépannage
- 5 - Edition vers le niveau supérieur
- 6 - Passage à l'évènement suivant (incréméntation de 3)
- 7 - Test : mot nul ?
- 8 - Place de sortie du module

Les transitions sont :

- T1 - Module chargé
- T2 - Mots rangés
- T3 - Edition, service de dépannage (résultat test)
- T4 - Edition, niveau supérieur (résultat test)
- T5 - Edition terminée (service dépannage)
- T6 - Edition terminée (niveau supérieur)
- T7 - Incréméntation effectuée
- T8 - Mot non nul (résultat test)
- T9 - Mot nul (résultat test)

Le rappel (figure VI.2.4) de la forme des messages A_k nous indique que les mots A_k^1 (4) et A_k^1 (5) contiennent la valeur du nombre de pièces usinées (type en cours d'usinage). Cette valeur est rangée en mémoire. La place (3) du réseau sert alors à tester le type d'évènements contenu en A_k^1 (6) : DAM entraîne une édition sur le téléimprimeur du service de dépannage, tandis que les autres informations (SAT, DES, DCO, Ap. Maîtr., DIS et MP) sont transmises à l'assistant de fabrication.

Après une incréméntation de (3), nous retrouvons soit un mot contenant une nouvelle information, soit un mot nul, auquel cas le traitement est terminé ; dans le cas contraire, on retourne dans l'état (3).

VI.2.2.2 - Les messages "temps de cycle" (A_R^2) et (A_R^3)

La figure VI.2.2 représente le réseau de Pétri relatif à ce module.

Nous trouvons, sur la figure, les places suivantes :

- 1 - Place d'entrée dans le module
- 2 - Calcul de n
- 3 - Incréméntation compteur-pièces
- 4 - Test validité

- 5 - Appel archivage (niveau supérieur)
- ERR 6 - Procédure d'erreur
- 7 - Archivage
- 8 - Place de sortie

Les transitions sont :

- T1 - Module chargé
- T2 - Fin de calcul de n
- T3 - Incrémentation effectuée
- T4 - Test positif (information valide)
- T5 - Test négatif (information non validée)
- T6 - Archivage prêt
- T7 - Fin de procédure d'erreur
- T8 - Fin d'archivage

Ce module est destiné à mettre à jour les compteurs-pièces, et à archiver les temps de cycle dans le cas où un RAC n'a pas été généré.

n est le nombre de cycles contenus dans le message : $n \leq 6$ pour A_k^2 et $n \leq 12$ pour A_k^3 (figure VI.2.4). L'incrémentation du compteur-pièces (du type en cours d'usinage) a lieu en (3), en multipliant par n le nombre de pièces usinées à chaque cycle (ce nombre est fourni par le descriptif atelier), et en ajoutant ce nombre à la valeur précédente du compteur.

La nouvelle valeur ne doit pas être supérieure à celle obtenue en ajoutant à l'ancienne valeur, la valeur équivalente à 12 cycles d'usinage (6 dans le cas A_k^2). Dans le cas contraire, il y a édition d'un message d'erreur suivi d'une procédure d'erreur choisie par l'utilisateur.

Dans le cas normal, le message est archivé au niveau supérieur, états (5) et (7).

VI.2.2.3 - Message "Changement d'outils ou de type de pièces"

La figure VI.2.3 représente le réseau de Pétri relatif à ce module.

Nous trouvons, sur la figure, les places suivantes :

- 1 - Place d'entrée dans le module
- 2 - Test changement : d'outils ou de type de pièces ?
- 3 - Test valeur A_k^4 (14) et A_k^4 (15) ; A_k^4 (4) et A_k^4 (5)

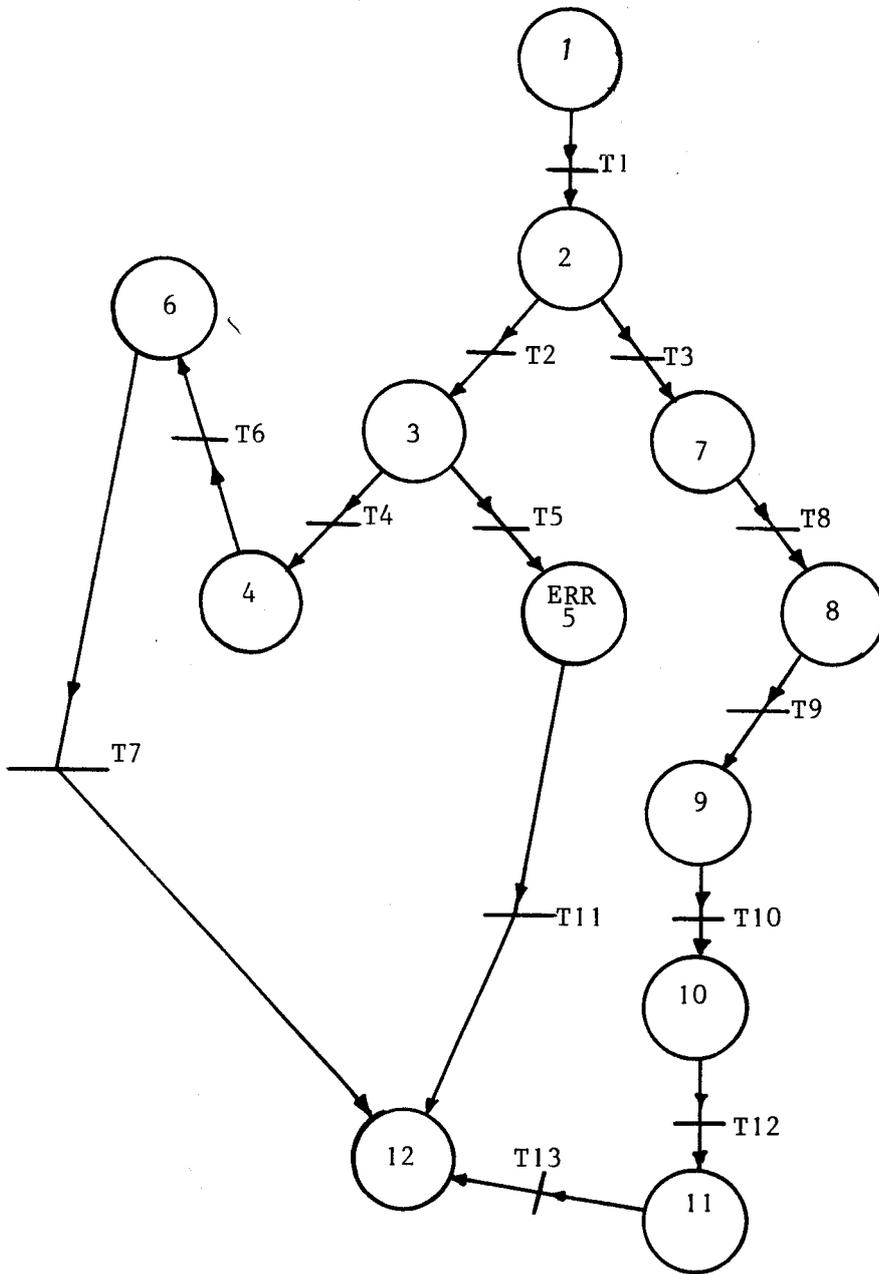


Figure VI.2.3 : Traitement relatif aux messages de type A_k^3



- 4 - Appel archivage (niveau supérieur)
- ERR 5 - Procédure d'erreur
- 6 - Archivage
- 7 - Ranger les mots A_k^4 (4) et A_k^4 (5)
- 8 - Mettre à zéro les compteurs d'usure correspondants
- 9 - Edition magasin d'outillage
- 10 - Appel niveau supérieur
- 11 - Transmission au niveau supérieur
- 12 - Place de sortie

Les transitions sont :

- T1 - Module chargé
- T2 - Changement de type de pièces usinées (résultat du test)
- T3 - Changement d'outils (résultat du test)
- T4 - Information valide
- T5 - Erreur
- T6 - Archivage prêt
- T7 - Fin d'archivage
- T8 - Mots rangés
- T9 - Compteurs à zéro
- T10 - Edition terminée
- T11 - Fin de procédure d'erreur
- T12 - Niveau supérieur prêt
- T13 - Fin de transmission

Dans un premier temps (état 2), il faut reconnaître si le message concerne un changement d'outils ou de type de pièces usinées ; cela se fait par la comparaison avec zéro du mot A_k^4 (6), lequel n'est nul que dans le cas d'un changement de type de pièces usinées. Dans ce dernier cas, les mots A_k^4 (14) et A_k^4 (15) contiennent la valeur du compteur-pièces du type précédemment usinées. Ils doivent avoir la même valeur que celle trouvée à l'exécution du module ci-dessus (§ VI.2.2.2). La valeur du compteur-pièces des pièces en cours d'usinage se trouve en A_k^4 (4) et A_k^4 (5), elle doit correspondre à la valeur mémorisée lors de l'arrêt précédent de l'usinage de ce type de pièces. Le test (3) permet soit la détection d'une erreur, soit, dans le cas contraire, l'archivage de l'évènement et le retour à l'état initial (fin du module).

Type A_k^1	Type A_k^2	Type A_k^3	Type A_k^4	MOTS:
Code Coffret émetteur M_k	1			
Type pièces (i)	Type pièces (i)	Type pièces (i)	Type pièces (i)	2
Valeur	(tcy - minutes)	(tcy - secondes)	Valeur	3
Compteur-pièces	(tcy - secondes)	"	Compteur-pièces	4
Type INF./ t (heure)	(tcy - minutes)	"	Code CO 1	5
t (minutes)	(tcy - secondes)	"	Code CO 2	6
t (secondes)	(tcy - minutes)	"	Code co 3	7
Type INF./ t (heure)	(tcy - secondes)	"	Code CO 4	8
t (minutes)	(tcy - minutes)	"	Code CO 5	9
t (secondes)	(tcy - secondes)	"	Code co 6	10
Type INF./ t (heure)	(tcy - minutes)	"	t CO (minutes)	11
t (minutes)	(tcy - secondes)	"	t CO (secondes)	12
t (secondes)	(tcy - minutes)	"	Valeur du compteur-	13
0 0 0 0 0 0 0	(tcy - secondes)	"	pièces de la tourn. préc.	14
Digits de Redondance	Digits de redondance	Digits de redondance	Digits de redondance	15
				16

Figure VI.2.4. : Les quatre principaux types de messages coffrets.



Dans le cas d'un changement d'outils, on enregistre (pour archivage) la valeur du compteur-pièces - A_k^4 (4) et A_k^4 (5) - (état 7), on affecte zéro à tous les compteurs d'usure relatifs aux classes changées (état 8), on signale enfin l'évènement au magasin d'outillage et au niveau supérieur.

VI.2.2.4 - Message "opérateur" (A_k^5)

Cette partie, on l'a dit, est destinée à offrir à l'utilisateur des moyens souples pour répondre à une tâche précise. Il n'est donc pas, à priori, de module définissant cette fonction ; c'est l'utilisateur lui-même qui crée ses programmes en fonction de ses besoins.

Nous avons toutefois choisi d'utiliser ce type de message pour tout ce qui concerne les pannes machines, afin, précisément, de permettre à l'utilisateur d'y inclure toutes les données qu'il pourra juger nécessaires.

On y trouve évidemment le temps d'arrêt machine, le code des pannes rencontrées mais aussi des renseignements d'ordre administratif tels l'affectation du centre de frais ...

L'essentiel du traitement consiste alors en une édition destinée au service de maintenance, aux services comptables, et enfin un archivage.

VI.2.2.5 - Message "magasin d'outillage" (A_k^6)

Les questions que le magasinier est amené à poser au système, portent en définitive toutes sur le nombre d'outils d'une certaine catégorie qu'il faut réaffûter parce qu'ils vont servir incessamment.

L'utilisateur aura donc à fournir les catégories qui lui semblent importantes : ainsi, par exemple, l'ensemble des outils utilisés par un chantier donné. En effet, tel chantier, sous l'effet des commandes de l'atelier de montage, peut tout à coup devenir prioritaire sur les autres. A l'intérieur de ces chantiers, on distingue également des priorités portant sur les machines (machines "de tête").

Nous voyons ainsi se dessiner un ordre de priorité dans le travail d'affûtage, c'est-à-dire en fin de compte dans le travail du magasin d'outillage.

Le niveau moyen possède en mémoire toutes les données relatives à l'usure des outils, il pourra donc répondre rapidement aux questions que nous venons de présenter.

Si la règle d'implantation en mémoire commune (§ IV.2.2.3) a été bien choisie, le temps d'attente de l'information pourra être très réduit.

De façon quotidienne (ou hebdomadaire), on peut également fournir, au magasinier (par exemple à sa demande), la liste exhaustive des outils dont l'usure est proche de 100 %.

VI.2.2.6 - Le service de maintenance

Ce service (§ VI.2.2.1) est automatiquement prévenu des pannes survenant sur les machines.

Les questions que le service peut alors poser au système, rejoignent exactement celles que nous venons de décrire pour le magasin d'outillage, mais appliquées cette fois aux pannes des machines. On y inclut en outre, à présent, le dispositif de recherche de personnes, car à tout moment, pour une raison ou pour une autre, le chef de service peut être amené à rappeler une équipe de dépannage en déplacement. Cette fonction est le rôle de l'assistance de fabrication.

VI.2.2.7 - Dialogue avec le niveau supérieur

Une dernière forme de message que peut recevoir un processeur au niveau moyen, sont les messages du niveau supérieur.

A tout moment, le niveau supérieur peut demander une information d'un type précis. Le message émis n'a pas une structure constante comme les sept types que l'on vient de décrire. Le processeur, au niveau moyen, fonctionne alors en mode "esclave", chargeant s'il y a lieu, à tour de rôle, les modules nécessaires pour formaliser la réponse souhaitée.

VI.3 - Le niveau supérieur

Le logiciel, au niveau moyen, assure la résolution de tous les problèmes qui n'ont pas trouvé de solution automatique, ainsi que la gestion de l'archivage.

Par rapport au système MATRA, la tâche de l'assistant de fabrication est plus aisée :

- . Pour les alarmes, il conserve le traitement des saturations, désamorçages et appels maîtrise, les pannes étant traitées automatiquement.

- . La fonction archivage est la même que celle du système MATRA.
- . L'assistant de fabrication a enfin la charge d'effectuer les recherches de personnes qui lui sont commandées.
- . Il programme l'initialisation du système et la modification des paramètres.

Nous verrons que son rôle est prépondérant dans le cas d'un fonctionnement en marche dégradée (cas des pannes).

CONCLUSION

Le système que nous proposons présente de remarquables qualités de souplesse et d'extensibilité. Le choix que nous avons fait de classer l'information en différentes catégories, ouvre à l'utilisateur de larges possibilités de programmation. Selon les besoins, il serait possible pour un nouveau type de coffret de créer de nouvelles catégories de messages ; cela implique un complément de mémoire commune au niveau moyen, et complique légèrement le réseau de connexion. Il est à fortiori possible de supprimer des fonctions devenues inutiles ou de les remplacer, cela présente un intérêt financier certain.

L'extension du système n'est, à priori, pas limitée, si ce n'est par la complexité croissante du réseau de connexion et donc de sa commande.

Le système présente enfin une fiabilité appréciable, cela fera l'objet du dernier chapitre.

Chapitre 7

LES PROBLEMES DE LA FIABILITE

INTRODUCTION

Le problème de la fiabilité du système, que nous avons rencontré à plusieurs reprises dans notre étude, reste, dans tout ensemble industriel, un problème crucial.

Nous avons déjà cité (§ IV.2.2.2 et V.2.1) quelques solutions possibles pour assurer la protection du système contre les pannes graves ou pour détecter les erreurs. Nous présentons ici quelques procédures susceptibles de permettre une exploitation rationnelle et sûre du système.

En premier lieu, nous envisageons le problème de reconfiguration et de marche "dégradée" permettant d'assurer un maximum de fonctions. Nous étudierons ensuite les possibilités de tester le niveau inférieur, afin de s'assurer de son bon fonctionnement.

VII.1 - Fonction "dégradée" et reconfiguration du système

Ce paragraphe envisage différents cas de pannes pouvant survenir au niveau supérieur et au niveau moyen.

VII.1.1 - Arrêt du calculateur au niveau supérieur

Le processeur de contrôle, au niveau moyen, est informé de cet arrêt soit automatiquement (perte du signal), soit par un ordre frappé manuellement sur le téléimprimeur de supervision. Les échanges avec le niveau supérieur sont alors verrouillés. Le niveau moyen, relativement indépendant, est capable de continuer à assurer seul ses fonctions : l'acquisition et le traitement des messages A_k . Les fonctions relatives au magasin d'outillage et au service de maintenance se déroulent normalement.

Les fonctions perturbées sont celles normalement remplies par l'assistant de fabrication, et l'archivage.

L'assistant de fabrication a alors la possibilité de reconfigurer le système comme suit :

Un nouveau programme est chargé au niveau du processeur de contrôle (niveau moyen) attribuant un des processeurs exécutants aux alarmes et à l'archivage ; une nouvelle valeur des priorités des messages A_k est définie. En effet, l'augmentation sensible de la charge des autres processeurs ne va plus permettre, dans le cas le plus défavorable, l'exécution en temps réel de tous les messages. L'engorgement n'aura pas lieu au niveau de la transmission (le nombre d'unités d'échange est constant), mais au niveau du traitement. Or, l'acquisition des messages est prioritaire (pour libérer les unités d'échange). Il faut donc fixer une priorité dans le traitement de ces messages. Chaque mémoire locale possède une zone pouvant charger jusqu'à deux messages A_k ; au delà, il faudra ranger tous les messages non traités dans la mémoire commune. Cela a lieu pour tous les messages ne donnant pas lieu à une action immédiate : A_k^2 et A_k^3 . En cas de nécessité, il faut également ranger (niveau prioritaire supérieur) les messages A_k^4 , A_k^5 , A_k^6 et A_k^7 . Le message le plus prioritaire est donc A_k^1 ("alarmes"). Le magasin d'outillage et le service de maintenance ont recours directement à l'assistant de fabrication si leurs demandes n'ont pu être satisfaites.

VII.1.2 - Les pannes au niveau moyen

Au niveau moyen, on peut recenser plusieurs types de pannes.

Dans le cas où l'un des processeurs exécutants est hors service, nous avons deux possibilités : la plus simple est de se ramener au cas précédent ; mais nous disposons, cette fois, d'une facilité supplémentaire : le niveau supérieur. La seconde possibilité est donc d'adresser directement au niveau supérieur tous les messages non traités. Cela suppose la possibilité, pour le calculateur supérieur, d'accéder à la mémoire commune en lieu et place du processeur défaillant.

Une autre possibilité est de conserver inchangée la programmation du niveau moyen, le processeur défaillant étant remplacé par le niveau supérieur. L'exploitation du système permettra de déterminer laquelle de ces possibilités donne le plus de satisfactions.

Dans le cas où l'unité de contrôle est elle-même en panne, la solution est plus délicate. Les processeurs exécutants, plus simples, ne peuvent remplacer l'unité défaillante ; la seule possibilité est de confier cette tâche au niveau supérieur. Cela pose le problème des connexions d'une part : il faut en effet remplacer physiquement le processeur défaillant par le calculateur supérieur, par exemple manuellement ; d'autre part, la charge supplémentaire est importante. L'exécution, au niveau supérieur, des tâches moins importantes (éditions diverses, mise en forme de l'archivage ...) est suspendue. Ces tâches ne seront effectuées qu'après le retour à l'état normal.

VII.1.3 - Cas d'une coupure de transmission

La sécurité des transmissions a été présentée dans le paragraphe V.2., nous nous plaçons ici dans le cas plus général de la fiabilité d'un réseau. Ce problème, à nouveau, fixe le coût de la transmission. On sait {COU1.} que la solution la plus sûre est celle d'un réseau étoilé, décentralisé ; c'est aussi la plus chère. Un bon compromis fiabilité - coût est le réseau décentralisé avec une ligne multipoint.

La solution que nous avons proposée (§ IV.2.2), représente une solution moyenne : réseau décentralisé à trois lignes multipoint, dans la configuration initiale ; elle permet l'extensibilité de l'un et la fiabilité de l'autre, par groupes de 100 coffrets.

Plusieurs configurations de pannes peuvent être envisagées. Le premier problème rencontré est celui de la détection de la panne. En effet, contrairement aux systèmes moyen ou supérieur, lesquels fonctionnent en permanence sous la surveillance du processeur de contrôle ou de l'assistant de fabrication, les noeuds du réseau ne demandent pas d'intervention des opérateurs.

Si l'on veut éviter d'entretenir un personnel de surveillance qui risque de n'être que très peu sollicité, donc coûteux et par ailleurs sans doute inattentif, il convient de prévoir un maximum de dispositifs d'alarme et de contrôle {CLAV.}.

En ce qui concerne la ligne elle-même, les équipements d'extrémité (modem et coupleur) détectent la perte du signal (cf. le signal $\overline{\text{TD}}$, § V.2), cela permet de tester les liaisons. Si une coupure est détectée à ce niveau, il n'y a guère de solution, en dehors de la prévision d'une seconde ligne de secours. Il faut confier au coffret correspondant la tâche de mémoriser l'information jusqu'à ce que la liaison ait pu être rétablie. Si la capacité de mémoire du coffret est dépassée, on est bien forcé alors de se résigner à la perte de l'information. Seront sauvegardés les compteurs-pièces; les informations concernant un changement d'outils sont effectuées ultérieurement, de même que l'information concernant les pannes ou les temps d'arrêt. L'information destinée à l'archivage (temps de cycle) et l'heure précise des événements seront perdues.

La surveillance des unités d'échange, elles-mêmes, ou des stations de contrôle de la ligne pose un problème particulier. Il faut avoir recours à un dispositif d'alarme spécial dont on pourra trouver plusieurs exemples dans {CLAV.}. Citons simplement ici le dispositif "watch-dog". C'est un dispositif monostable, excité à intervalles réguliers; en cas de défaillance d'un noeud, le dispositif non réveillé retourne à l'état stable et provoque une alarme locale, et éventuellement une reconfiguration automatique.

Si la défaillance a lieu au niveau moyen, étant donnée la gravité d'une telle situation (100 coffrets hors du réseau), et la simplicité des unités en cause (donc d'un coût relativement bas), il nous paraît intéressant d'envisager la possibilité d'ajouter à ce niveau un ensemble supplémentaire (unité d'échange et station de contrôle) dans le réseau. Ce groupe supplémentaire, si le processeur de contrôle est programmé dans ce sens, prend la place de l'unité défaillante de façon automatique.

Si la défaillance se produit, par contre, au niveau d'un coffret, il faut avoir recours au service de maintenance. L'unité défaillante est remplacée par une unité identique, en état de marche, le temps d'effectuer la réparation en atelier.

Enfin, une dernière façon, naturelle, de procéder est d'inclure le réseau de communication dans les séquences de tests des coffrets, dont nous allons donner à présent quelques aspects.

VII.2 - Procédures de tests automatiques du niveau primaire

Le problème d'un test en ligne des coffrets est le suivant : on n'est pas capable d'accéder simplement aux entrées du coffret (pour en déduire l'influence sur la sortie), sans perturber, de façon appréciable, l'acquisition des informations machines.

La question est donc la suivante : peut-on, à partir d'un message en entrée (interrogation), obtenir un message en sortie (par exemple du type A_k^5), qui soit caractéristique d'une panne donnée ?

Il sera possible de détecter des erreurs, si la réponse du coffret ne contient pas des informations redondantes avec des informations obtenues par d'autres voies, ou déduites d'informations obtenues antérieurement.

A partir de ces réflexions, nous proposons un message test de la forme suivante :

- . Heure de référence : elle doit coïncider avec celle du niveau moyen. La réponse occupe trois mots : A_k^5 (4), A_k^5 (5) et A_k^5 (6)
- . Valeur d'un compteur-pièces différent de celui utilisé au moment du test (et choisi aléatoirement). La réponse occupe les mots A_k^5 (7) et A_k^5 (8), elle doit coïncider avec la valeur en mémoire.

- . Valeur du compteur-pièces correspondant aux pièces en cours d'usinage. La réponse occupe les mots A_k^5 (9) et A_k^5 (10), elle doit correspondre à une valeur comprise entre celle mémorisée, et la même augmentée d'une valeur correspondant à 12 cycles.
- . A l'issue d'une panne : codage de la panne et le temps d'arrêt de la machine (mots A_k^5 (11), A_k^5 (12) et A_k^5 (13)), ces valeurs, déjà reçues une première fois, peuvent être rapprochées de celles recueillies sur le téléimprimeur du service de maintenance.
- . Les deux derniers mots servent à tester, comme un dispositif "écho" {CLAV.}, la ligne de transmission, en renvoyant, inchangés, deux mots transmis par le niveau moyen.

Les tests pourraient avoir lieu, selon les besoins, soit en début ou en fin de tournée, soit, quand pour un type de pièces usinées données, un coffret reste muet pendant un temps supérieur à 24 TCY. L'absence de messages du type A_k^2 ou A_k^3 pourrait alors en effet laisser supposer qu'une défaillance s'est produite. L'initiative, la formulation

L'initiative, la formulation et l'analyse de la réponse des tests sont entièrement à la charge du niveau supérieur, à l'exception bien entendu de la partie émission.

VII.3 - Simulation de fonctionnement des coffrets

Les messages-tests que nous venons de décrire, sont insuffisants pour dépister toutes les pannes qui pourraient survenir à l'intérieur d'un coffret. Il nous faut vérifier si, à partir des entrées qu'il reçoit de la part des machines, le coffret restitue bien tous les messages qu'on en attend. A cet effet, il est indispensable de retirer le coffret du réseau pour le placer sur un simulateur, lequel, à partir d'une séquence connue, testera successivement l'ensemble des fonctions du coffret.

La vérification d'un coffret, pour être efficace, doit être systématique et périodique ; par exemple, une fois par trimestre ou par semestre par le service de maintenance.

Le coffret, retranché du réseau, est remplacé par une unité similaire. Le coffret à tester est placé pendant 24 heures sur le simulateur qu'on peut représenter schématiquement par la figure VII.3.

Les signaux de tests comportent les 25 informations suivantes :

Code machine

$\overline{\text{HS}}$

Marche automatique

DCY

FCY

Code du type de pièces usinées

DCO

FCO

Code changement d'outils

Ap. Maîtr.

DAM

FAM

DRDES

FRDES

DDES

FDES

DRSAT

FRSAT

DSAT

FSAT

DDIS

FDIS

DMP

FMP

Code panne (après FAM)

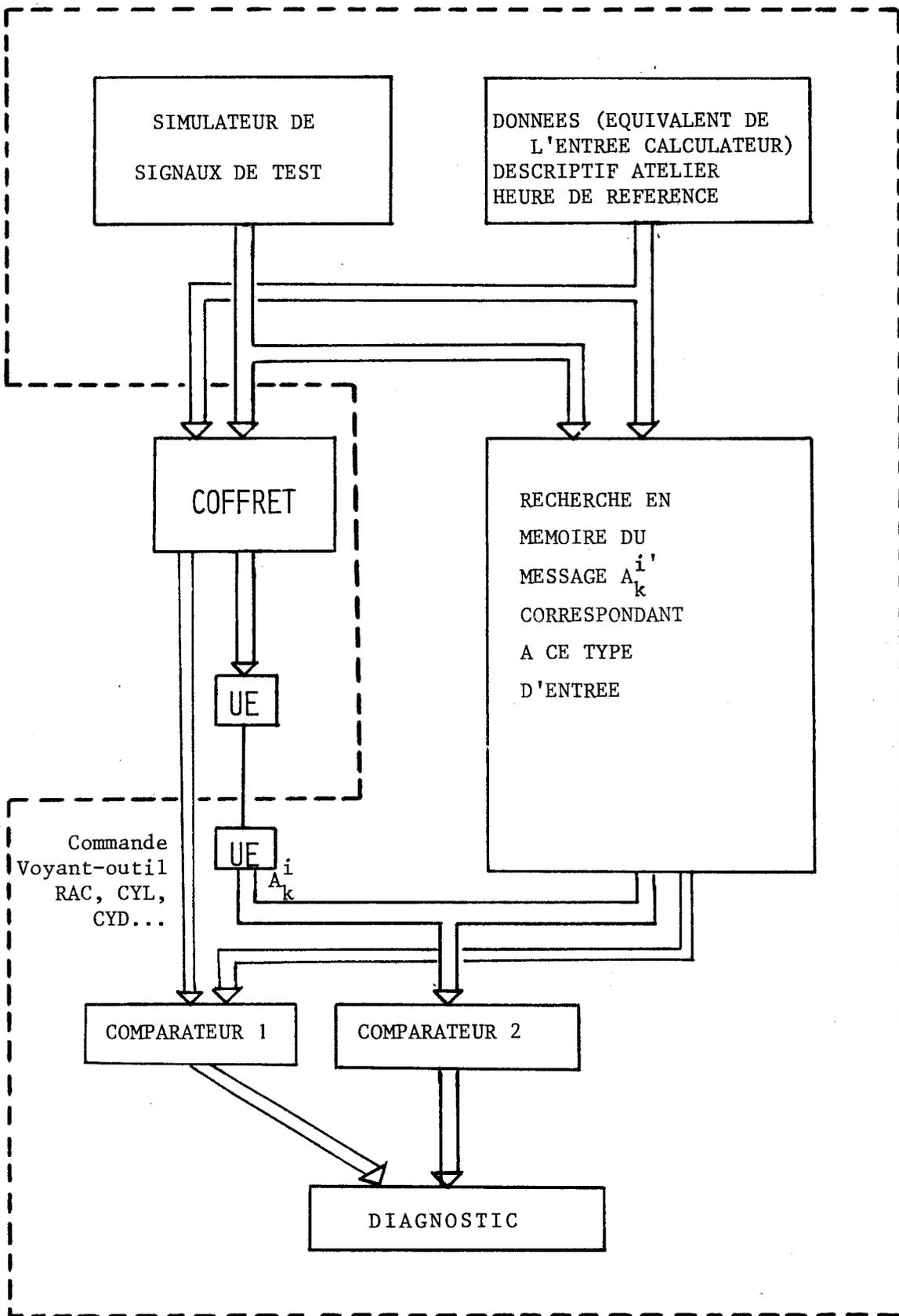


Figure VII.3 : *Simulateur de coffret*



Le simulateur fournit, en outre, au coffret les informations normalement reçues du niveau moyen (heure de référence, descriptif atelier).

La séquence de test fournie peut être programmée à l'avance (combinaison d'informations élémentaires) ou simplement elle explore systématiquement chacune des informations. Parallèlement, le simulateur construit le message normalement attendu de la part du coffret : il s'agit, d'une part des commandes vis-à-vis des voyants outils de la machine (vers le comparateur 1), et d'autre part des messages A_k destinés au niveau moyen (vers le comparateur 2). Un diagnostic de bon fonctionnement est effectué à l'issue des deux comparateurs. Remarquons que l'accès au comparateur 2 a lieu à travers une unité d'échange, ce qui permet de tester également l'unité d'échange du coffret.

La procédure est explorée un grand nombre de fois, afin de détecter des pannes de type aléatoire.

Nous reconnaissons une procédure d'identification très classique dans la détection des pannes {PAU.}

CONCLUSION

La fiabilité d'un système quel qu'il soit, et à fortiori d'un réseau, est un problème très délicat car lié au problème du coût.

Si le coût était indifférent, il suffirait de choisir un réseau décentralisé, étoilé dont tous les organes seraient doublés. Cet exemple extrême, et fort peu réaliste, laisse apparaître clairement combien ce problème peut influencer sur le prix de revient du système.

Notre système décentralisé à lignes multipoint offre un bon compromis. A l'intérieur du réseau, il est possible, ainsi que nous l'avons montré, de créer plusieurs contrôles, lesquels, s'ils ne peuvent prévenir les pannes, du moins en permettent une détection rapide. Dans la majorité des cas,

Dans la majorité des cas, une reconfiguration soit automatique, soit manuelle permet la sauvegarde d'un nombre important des fonctions du système. Ce système offre donc à ses utilisateurs un maximum de sécurité.

CONCLUSION GENERALE

=====

Les problèmes, que nous venons d'évoquer, relatifs aux ateliers d'usinage, présentent de nombreux points délicats dans la mesure où ils s'appliquent à de grands ensembles complexes. L'assistance de fabrication nécessite l'acquisition et le traitement d'un ensemble important d'informations, dans un milieu en mouvement perpétuel réclamant d'importantes capacités d'adaptation.

L'étude du système MATRA nous a permis de constater que, alors que l'acquisition de l'information de base ne pose plus de problèmes, le traitement immédiat que cette acquisition entraîne, recèle quelques faiblesses. A partir de l'archivage, le service des méthodes est capable, sans inconvénients majeurs, de réaliser toutes les opérations qui lui sont nécessaires. A l'inverse, au moment de l'acquisition, le système ne peut satisfaire, dans un traitement que l'on qualifie de "temps réel", toutes les fonctions que ses utilisateurs ont réclamées au cours de l'exploitation. L'information fournie à l'opérateur reste insuffisante, le magasin d'outillage et le service de maintenance demeurent en dehors du système ...

Les premières extensions proposées pour le système ont déjà recommandé l'usage d'un ensemble multiprocesseur ; mais l'implantation de ce projet aurait nécessité trop de modifications dans l'ancien système, et donc une charge financière importante sans apporter de solutions radicales aux inconvénients cités ci-dessus. Plus efficaces furent les réalisations effectuées par la suite sur le système ; elles rattachent, en effet, le service de maintenance et le magasin d'outillage. Cependant, ces améliorations pénalisées par la lourdeur et la rigidité du système initial demeurent limitées.

La seconde partie du mémoire, consacrée à l'étude d'un système original, réunissant toutes les idées recueillies, nous a permis de montrer comment l'usage d'un réseau décentralisé à trois niveaux peut résoudre quelques-uns des problèmes que nous venons de rappeler.

Un des aspects essentiels du système proposé est son adaptabilité. Quand on connaît le prix de revient d'un ensemble de cet ordre, il semble, en effet, indispensable de s'interroger sur sa portée. Il faut veiller à ce que le système ne devienne pas trop petit ou trop limité devant des besoins nouveaux apparus après sa conception. Quelle que soit la précision des perspectives effectuées sur l'entreprise, la souplesse et l'extensibilité restent des arguments majeurs pour l'assistance de fabrication.

Le réseau, par sa structure même, peut recevoir les extensions ultérieures ou les modifications de programmes sans un effort d'adaptation trop important ; la programmation est facilitée par l'usage d'une structure modulaire, et par la prévoyance de larges zones réservées à l'implantation de programmes utilisateurs.

Dans un tel système, on le conçoit, les communications entre les différents niveaux jouent un rôle essentiel. L'usage d'une unité d'échange, microprogrammée et spécialement adaptée, permet de libérer dans une large mesure l'ensemble du système informatique. L'étude et la synthèse de cette unité, en particulier, ont été grandement facilitées par l'usage des réseaux de Pétri qui nous a permis une meilleure approche dans un formalisme simple.

Enfin, il convient de signaler que le niveau primaire a fait l'objet, dans notre équipe, d'une recherche particulière dont les résultats feront prochainement l'objet d'une seconde thèse de 3^e cycle.

D'autre part, les travaux résumés dans ce mémoire possèdent un caractère essentiellement théorique. Dans la perspective d'une utilisation pratique des résultats obtenus, nous envisageons de poursuivre nos recherches afin de réaliser une simulation globale du système proposé, laquelle permettra alors d'apporter des solutions appréciables dans le milieu industriel.

ANNEXE

=====

ACCES PARALLELE A UNE MEMOIRE {LENF.}

=====

GENERALITES

Un "banc-mémoire" est un sous-ensemble d'une mémoire tel qu'il soit possible d'y accéder indépendamment du reste de la mémoire.

Une mémoire a donc autant d'accès en parallèle possibles qu'elle possède de bancs-mémoires distincts. Dans un multiprocesseur, une opération simultanée de lecture ou d'écriture dans la mémoire conduira fatalement à des conflits d'accès, si le nombre de processeurs est supérieur au nombre de bancs de la mémoire. Cette relation n'est cependant pas suffisante, si nous prenons par exemple le cas d'une matrice, et que nous rangeons chacune de ces colonnes dans un banc de mémoire ; l'accès aux lignes pourra se faire simultanément tandis que l'accès aux colonnes ou aux diagonales sera la source de conflits.

Il faut donc d'une part se donner un "patron" pour définir la façon d'accéder à l'information, et d'autre part déterminer une "règle d'implantation compatible" avec ce patron. Nous allons présenter quelques résultats sur la compatibilité entre l'implantation des tableaux à deux indices, et l'accès en parallèle à certains sous-ensembles de ces tableaux.

PATRON ET REGLE D'IMPLANTATION

Les éléments des tableaux à deux indices sont représentés par des points (i, j) de $Z \times Z$ puisque seul leur emplacement importe.

Un patron d'ordre N est un sous-ensemble P de $Z \times Z$ contenant N éléments dont le point $(0,0)$:

$$P = \{(0,0), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\}$$

La coupe selon le patron P autour du point (i, j) est le sous-ensemble :

$$P(i, j) = P + (i, j) = \{(i, j), (x_2+i, y_2+j), \dots, (x_N+i, y_N+j)\}$$

Ainsi les patrons :

$$P_1 = \{(0,0), (0,1), (0,2), \dots, (0, N-1)\}$$

et
$$P_2 = \{(0,0), (1,1), (2,2), \dots, (N-1, N-1)\}$$

définissent respectivement les lignes et les diagonales d'une matrice ou des fractions de ces dernières, si le nombre N de processeurs est inférieur à l'ordre de la matrice. Plus généralement, nous appellerons :

patron linéaire $[x, y]_N$ le sous-ensemble

$$\{(kx, ky) \mid k \in \mathbb{Z} \text{ et } 0 < k < N\} \text{ de } \mathbb{Z} \times \mathbb{Z}$$

Les lignes, colonnes, diagonales et contre-diagonales d'une matrice carrée sont les patrons linéaires $0, 1_N, 1, 0_N, 1, 1_N$ et $1, -1_N$ respectivement.

une règle d'implantation est une application :

$$R : \mathbb{Z} \times \mathbb{Z} \longrightarrow 0, 1, \dots, M-1$$

Son interprétation est que l'élément a_{ij} est rangé dans le banc-mémoire R(i, j). Une règle d'implantation R est :

compatible avec un patron P si pour tout (i, j) appartenant à $\mathbb{Z} \times \mathbb{Z}$ la restriction de R à P(i, j) est injective. Autrement dit R est compatible avec un patron P si les éléments de toute coupe selon P sont rangés dans des bancs de mémoire deux à deux distincts.

REGLE D'IMPLANTATION HELICOÏDALE

H.D. Shapiro a démontré le théorème suivant :

Considérons une mémoire à N bancs et une famille finie de patrons linéaires de type $[x, y]_N$. Il existe une règle d'implantation périodique compatible avec cette famille si et seulement s'il existe une règle d'implantation hélicoïdale compatible. {SHAP.}

Il nous a donc paru intéressant de reporter ici quelques mots sur l'implantation hélicoïdale.

Une règle d'implantation hélicoïdale est définie, pour tous entiers u et v positifs ou nuls, par

$$L_{u,v} : Z \times Z \longrightarrow \{0, 1, \dots, M-1\}$$

$$(i, j) \longmapsto ui + vj \pmod{M}$$

Proposition : la règle d'implantation $L_{u,v}$ est compatible avec le patron linéaire $[x, y]_N$ si et seulement si

$$(1) \quad M \geq N \operatorname{pgcd}(ux + vy, M)$$

Preuve : soit r l'entier $ux + vy$ et Δ son pgcd avec M . Les entiers $r' = r/\Delta$ et $M' = M/\Delta$ sont premiers entre eux. Montrons que si l'inégalité (1) est vérifiée, il ne peut exister deux entiers a et b , $0 \leq a, b < N$ tels que les éléments (ax, ay) et (bx, by) soient rangés dans le même banc de mémoire. Cette condition équivaudrait à :

$$a(ux + vy) \equiv b(ux + vy) \pmod{M}$$

c'est-à-dire $ar \equiv br \pmod{M}$

Il existerait donc un entier c , $0 \leq c < N$ tel que $cr = cr'\Delta$ soit un multiple de $M = M'\Delta$. Les entiers M' et r' étant premiers entre eux, M' devrait diviser c , ce qui est impossible puisque $M' = \frac{M}{\Delta} \geq N > c$.

En revanche lorsque l'inégalité (1) n'est pas vérifiée, c'est-à-dire lorsque $M' < N$ les éléments $(0,0)$ et $(M'x, M'y)$ du patron linéaire $[x, y]_N$ sont tous les deux rangés dans le même banc puisque :

$$uM'x + vM'y = M'r = Mr' \equiv 0 \pmod{M}$$

Dans ce cas il y a donc incompatibilité entre la règle d'implantation et le patron.

Un cas particulier important est celui où M et N sont égaux (le nombre de processeurs est égal au nombre de bancs-mémoire). La condition de compatibilité est alors que $r = ux + vy$ soit premier avec N . Si en outre N est une puissance de 2, la règle d'implantation $L_{u,v}$ est compatible avec l'accès aux lignes (patron $[0, 1]_N$) si u est impair,

- l'accès aux colonnes (patron $[1, 0]_N$) si v est impair,
- l'accès aux diagonales (patron $[1, 1]_N$) si $u + v$ est impair,
- l'accès aux contre-diagonales (patron $[1, -1]_N$) si $u - v$ est impair.

Il est clair que deux de ces conditions (mais deux seulement d'entre elles) peuvent être satisfaites simultanément. Ainsi en choisissant u et v impairs, on range la matrice de sorte que l'accès à toute ligne ou à toute colonne peut être effectué en parallèle. L'accès aux diagonales est alors une source de conflits.

Certaines règles d'implantation hélicoïdale permettent l'accès parallèle aux quatre patrons énumérés ci-dessus si le nombre de bancs de mémoire est le double du nombre de processeurs. Si $N = 2^n$ et $M = 2N$, il suffit, d'après la proposition ci-dessus, de choisir u et v impairs. Lawrie {LAWR.} a démontré que sous ces hypothèses la règle d'implantation $L_{\sqrt{N}+1, 2}$ permet en outre l'accès simultané à tous les éléments de n'importe quel bloc carré de dimensions $\sqrt{N} \times \sqrt{N}$ (ceci n'a évidemment de sens que si n est pair c'est-à-dire si N est une puissance de 4).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

=====

- {ANDR.} : C. ANDRE, E. BOERI, J. MARTIN : "Synthèse et réalisation de système logique à évolution simultanée" - R.A.I.R.O. Avril 1976 -
- "Conception de systèmes séquentiels totalement autotestable à partir de réseaux de Pétri" - R.A.I.R.O. Novembre 1976 -
- {ARSA.} : J. ARSAC : "Les systèmes de conduite des ordinateurs" (Dunod 1974)
- {AYEN.} : E.K.O. AYENG : - Thèse de Doctorat de 3^e Cycle Université de Lille (Soutenance prévue fin 1978) -
- {AFCE.} : Groupe de Travail "Systèmes Logiques" de l'AF CET : "Pour une représentation normalisée du cahier des charges d'un automatisme logique"
(A2₁ $\overset{\Delta}{\equiv}$ Automatique et Informatique Industrielle - Novembre 77 - n° 61)
- {BERN.} : P. BERNHARD : "Commande optimale, décentralisation et jeux dynamiques" (Dunod 76)
- {BEZI.} : P. BEZIER & LETAC : "Contrôle de production et commande numérique de machines-outils" (Technique de l'ingénieur H 300-1)
H 8340-16)
- {BLAN.} : M. BLANCHARD & E. DACLIN : "Synthèse des systèmes logiques" - Cepadues 76 -
- {BLEU.} : G. BLEUZE : "Modélisation et simulation d'une chaîne d'usinage d'un moteur automobile"
Thèse Docteur-Ingénieur - U.S.T. Lille 1 - Janvier 1975
- {BOUL.} : G. BOULAYE : "La microprogrammation" (Dunod 71)

- { CARN. } : José CARNER GROSPELLIN : "Etude d'une structure numérique décentralisée de commande et de contrôle industriels"
Thèse de Docteur d'Université - Toulouse - Juillet 76
- { CHAU. } : G. CHAUVEL : "Description et fonctionnement du circuit de transmission de caractères TMS 6011"
- { CLAV. } : J. CLAVIER, G. COFFINET, M. NIQUIL & F. BEHR : "Théorie et techniques de la transmission des données" (Masson 77)
- { CORC. } : CORCUS : "Les systèmes d'exploitation des ordinateurs" (Dunod 74)
- { COU1. } : M. COURVOISIER & J.C. GEFFROY : "Méthodologie pour la conception d'un système numérique de commande-contrôle prenant en compte les conséquences des pannes" (IRIA - LAAS n° 1357)
- { COU2. } : M. COURVOISIER : "Localisation des pannes simples d'une machine séquentielle à partir des séquences de synchronisation"
(Automatisme T. XVII n° 10 - Octobre 72)
- { COUR. } : F.F. CORY : "A practical guide to minicomputer application" (I.E.E.E.)
- { DELE. } : R. DELEGLISE : "Moniteurs temps réels sur petits calculateurs"
(Automatisme T. XX n° 1 et 2 - Janvier - Février 75)
- { DOUC. } : J.P. DOUCET & B. DUBUISON : "Utilisation de la technique des codes correcteurs d'erreur pour un archivage"
(Automatisme T. XVII n° 10)
- { DOU1. } : G. DOUMEINGTS : "Production, automatique, informatique, un cocktail
{ DOU2. } difficile à doser !" - Informatique & Gestion n° 66 - 1976
" Compte rendu sur les journées d'étude Informatique & Gestion Industrielle" - A.D.E.P.A. -
- G. DOUMEINGTS & J.P. SAGASPE : "La production assistée par calculateur"
(A2_i - Novembre 1975 - n° 41)
"La synthèse des systèmes hiérarchisés d'automatisation de fabrication" (A2_i - Octobre 1975 - n° 40)

- { DURE. } : G. DUREAU : "Système hiérarchisé d'automatisation de fabrication"
(Automatisme T. XVIII n° 6 et 7 - Juin - Juillet 73)
- { ERCH. } : J. ERCHER & F. ROUBELLAT : "Application de la commande hiérarchisée à
un problème industriel d'ordonnancement"
(Compte rendu de la fin d'étude - DGRST n° 1253)
- { FAUC. } : J. FAUCONNIER & H. HAMON : "Contrôle de production" - Technique de
l'ingénieur (H 8200) -
- { FOSS. } : A.H. FOSSARD, M. CLIQUE & N. IMBERT : "Aperçu sur la commande hiérar-
chisée (R.A.I.R.O. n° Août 1972)
- { HERB. } : HERBERT, CHANG, MANNING & METZE : "Fault diagnosis of digital systems"
(J. Willey edts, 1970)
- { LAPE. } : Ph. LAPEYRE : "Modèle de décision pour le choix d'un matériel informa-
tique" - (Informatique et gestion n° 68)
- { LAWR. } : D.H. LAWRIE : "Access and alignment of data in an array computer"
(IEEE - Trans. Comput. - Vol. C-24, 12 - Dec. 1975)
- { LENF. } : J. LENFANT : "Accès parallèle à une mémoire" - Support du cours "Le
traitement parallèle" - IRIA - 29 Mai / 2 Juin 1978 -
- { LILE. } : H. LILEN : "Le premier système de régulation industrielle décentralisée
à microprocesseurs" (A2_i - Février 1976 - n° 44)
- { MANO. } : H. DU MANOIR : "Réduction du volume des micro-programmes par une méthode
d'optimisation de l'allocation des registres" (R.A.I.R.O.
Février 74, B-1)
- { MISU. } : D. MISUNAS : "Petri Nets and speed independant design"
(A.C.M. Communications vol. 16 n° 8 - 1973)
- { PAU. } : L.F. PAU : "Diagnostic des pannes dans les systèmes" (Cepadues 1975)

- {PUN.} : L. PUN, J.L. ABATUT, J.ARACIL : "Pratique de l'automatisation intégrée"
(Dunod 1975)
- {RICH.} : J.P. RICHARD : "Génération des tests de détection des pannes multiples
pour un circuit combinatoire" (Automatisme T. XVII n° 10)
- {RIMB.} : J.P. RIMBOLD : "Comment réaliser une chaîne modulaire et simple d'acqui-
sition et de traitement pilotée par ordinateur programmable"
(A2_i - Juin - Juillet 75 - n° 38)
- {SHAP.} : H.D. SHAPIRO : "Theoretical limitations on the use of parallele memories"
(Ph. D. Thesis, University of Illinois)
- {SHI. } : SHI-KUO CHANG : "A model for distributed computer system design"
(IEEE Transaction on system man and cybernetics vol SMC-5 n° 6)
- {SOUR.} : M. LE SOURNE & J.J. GIROD : "Réseau d'acquisition de données et de télé-
traitement géré par un petit ordinateur" (R.A.I.R.O. 1972 B-1)
- {STOU.} : T.M. STOUT : "Economic justification of computer control systems"
(Automatica vol. 9 - 1973)
- {SULP.} : M. SULPICE & G. CHEVALIER : "Système de commande et d'acquisition numérique
décentralisée" (Automatisme T. XXI n° 1 et 2)
- {TITL.} : A. TITLI : "Commande hiérarchisée et optimisation des processus complexes"
(Dunod 1975)
- {TOU1.} : J.M. TOULOTTE : "Réseaux de Pétri et automate programmable"
(Automatisme - Juillet - Août 1978)
- {TOU2.} : J.M. TOULOTTE : "Dispositifs de commande en temps réel" (Dunod 1975)
- {VIDA.} : P. VIDAL : "Contrôle des processus industriels"
(Cours universitaire - Lille 1)