UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

IMPLANTATION DE MODULES DE CONTRÔLE ET DE SUIVI DANS UN CONTRÔLEUR DE CELLULE DE FABRICATION FLEXIBLE

par

GÉRALD DEMEULES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU GRADE DE MAÎTRE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES (M.Sc.A.)

Mai 1989

c Gérald Demeules 1989

National Library of Canada
Bibliothèque nationale du Canada

Canadian Theses Service
Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

The author has granted an irrevocable non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of his/her thesis by any means and in any form or format, making this thesis available to interested persons.

L'auteur a accordé une licence irrévocable et non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

The author retains ownership of the copyright in his/her thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège sa thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

ISBN 0-315-58170-0

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Ce mémoire intitulé:

IMPLANTATION DE MODULES DE CONTRÔLE ET DE SUIVI
DANS UN CONTRÔLEUR DE CELLULE DE FABRICATION FLEXIBLE

présenté par: Gérald Demeules

en vue de l'obtention du grade: Maître ès sciences appliquées (M.Sc.A.)

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. El Kébir Boukas, Ph.D, président

M. Gérald Turp, Ing.

M. Clément Fortin, Ph.D., directeur de recherche

À mon père et à ma mère

que cet ouvrage soit un témoignage de gratitude.

À mes frères et à ma soeur

À tous mes amis

RÉSUMÉ

Le contrôleur de cellule doit accomplir une série de fonctions spécifiques à l'intérieur de la fabrication intégrée et informatisée (CIM). Sa position au sein de la structure de contrôle de CIM lui confère un rôle de premier plan dans l'intégration des systèmes manufacturiers.

L'objectif principal de cet ouvrage consiste à développer et à analyser un modèle générique d'un contrôleur de cellule de fabrication flexible, et à étudier son implantation dans le contexte d'une fabrication intégrée et informatisée.

Des logiciels pouvant assumer des fonctions de contrôle et de suivi d'unités fonctionnelles d'une cellule d'usinage, incluant un système de communication, des modules d'interface aux usagers, de gestion de l'écran et de gestion des données furent développés et implantés dans un contrôleur de cellule. Un Micro-Vax II, un réseau de communication type ETHERNET et des machines-outils à commandes numériques constituent les principaux équipements utilisés dans cette recherche.

Une structure logique et certains éléments de base pour le développement d'un contrôleur de cellule générique complet ont ainsi été appliqués et validés.

ABSTRACT

The cell controller must perform a broad range of specific functions found in Computer Integrated Manufacturing (CIM). Because of its position within the control structure of CIM, the cell controller plays a vital role in integrating manufacturing systems.

The objective of this thesis is to develop and analyse a generic model for a flexible manufacturing cell controller, and to study its implementation in a CIM environment.

A software package handling device control and monitoring functions have been developed and implemented in a cell controller. It also includes a communication system and software modules to provide a user interface, a screen management and a data management. A Micro-VAX II, a ETHERNET communication network and a NC machine tool are the main equipment used in this study.

The logic structure and the basic elements for the development of a complete generic cell control have been applied and validated.

REMERCIEMENTS

Je tiens, en tout premier lieu, à remercier M. Clément Fortin, mon directeur de recherche, pour ses judicieux conseils, ses encouragements et son entière disponibilité au cours de cette recherche.

Je dois aussi mentionner le support technique fourni par le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) qui a permis la réalisation de cette étude.

Je désire aussi remercier tout le personnel du Royal Military College of Canada pour m'avoir motivé et encouragé à poursuivre mes études.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude à ma famille pour son support moral. Je dois aussi souligner l'aide précieuse que Suzanne et Réjean m'ont apporté pour la correction finale de ce document.

Finalement, je ne peux passer sous silence l'aide financière qui m'a été accordée par le Centre de recherche en science naturelle et génie du Canada (CRSNG), par M. Baldur et M. Fortin et par la société Cables Phillips.

TABLE DES MATIÈRES

Page

RÉSUMÉ v

ABSTRACT vi

REMERCIEMENTS vii

LISTE DES TABLEAUX xi

LISTE DES FIGURES xii

LISTE DES ANNEXES xiv

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION 1

CHAPITRE 2 - ÉTUDE ET ANALYSE DES SYSTÈMES EN PLACE .. 5

2.1 - Introduction 5

2.2 - Organisation physique de l'atelier PAO 7

2.3 - Description des ressources informatiques et logiciels..... 15

CHAPITRE 3 - DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME DE COMMUNICATION POUR LA CELLULE D'USINAGE 24

3.1 - Introduction 24

3.2 - Description du système de communication 28

3.2.1 - Contrôleur à commandes numériques 29

3.2.2 - Serveur de terminaux 32

3.2.3 - Réseau de communication ETHERNET 33

3.2.4 - Contrôleur de cellule 33

3.2.4.1 - DOWNLOAD 34

3.2.4.2 - UPLOAD 40

3.3. - Conclusion 45

CHAPITRE 4 - IMPLANTATION DE MODULES DE SUIVI ET DE CONTRÔLE AU CONTRÔLEUR DE CELLULE 46

4.1 - Introduction 46

4.2 - Émulation du mode DNC/RUBAN 49

4.2.1 - État initialisation 53

4.2.2 - Format des blocs de commandes 56

4.2.3 - Synchronisation pour l'envoi de blocs de commandes 58

4.2.4 - État opérationnel 59

4.2.5 - État innoccupé 62

4.2.6 - État suivi sollicité 63

4.2.7 - État alarme sollicité 64

4.3 - Description des logiciels du contrôleur de cellule 64

4.3.1 - Module de gestion des données 65

4.3.2 - Module de gestion de l'écran 68

4.3.3 - Module interface de l'usager 70

4.3.4 - Module suivi des MOCNS 73

4.3.5 - Module de contrôle d'une MOCN 76

4.4 - Conclusion 84

CHAPITRE 5 - DISCUSSION ET CONSIDÉRATIONS FUTURES 88

5.1 - Discussion 89

5.2 - Considérations futures 94

CHAPITRE 6 - CONCLUSION 97

RÉFÉRENCES 99

ANNEXE A - ORGANISATION DE LA FABRICATION INTÉGRÉE ET INFORMATISÉE 106

A.1 - Concepts de base de l'intégration et de l'automatisation 107

A.2 - Description de la fabrication intégrée par ordinateur 111

A.2.1 - Conception assistée par ordinateur 116

A.2.2 - Technique de fabrication assistée par ordinateur 120

A.2.3 - Planification de la production assistée par ordinateur 122

A.2.4 - Fabrication et manutention assistées par ordinateur 125

A.2.5 - Conclusion 127

A.3 - Structure de contrôle 128

ANNEXE B - CONTRÔLEUR DE CELLULE 132

B.1 - Introduction 132

B.2 - Fonctions d'un contrôleur de cellule 139

B.2.1 - Fonctions de support 140

B.2.2 - Fonctions d'application 144

B.3 - Caractéristiques d'un contrôleur de cellule 148

B.4 - Tendances futures 153

B.5 - Approche globale pour le développement d'un contrôleur de cellule de fabrication 156

B.6 - Conclusion 162

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 2.1: Protocole de communication DEC/ETHERNET 7

Tableau 2.2: Logiciels d'application distribués sur le réseau local 17

Tableau 2.3: Logiciels d'usage général distribués sur le réseau 18

Tableau 2.4: Fonctions des contrôleurs d'équipement 19

Tableau 4.1: Traitement des données de suivi 75

Tableau 5.1: Sommaire des services rendus par les modules de logiciel 90

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 2.1: Infrastructure informatique 8

Figure 2.2: Agencement de la cellule d'usinage 11

Figure 2.3: Robot et tour 12

Figure 2.4: Fraiseuse 12

Figure 2.5: Contrôleur de la fraiseuse 13

Figure 2.6: Contrôleur du tour 14

Figure 2.7: Contrôleur du robot 14

Figure 3.1: Infrastructure initiale du réseau de communication 25

Figure 3.2: Processus complet de la communication DOWNLOAD 36

Figure 3.3: Organigramme du module de communication UPLOAD 42

Figure 4.1: Structure globale des logiciels développés 48

Figure 4.2: Principe de fonctionnement de l'émulation du mode DNC/RUBAN 51

Figure 4.3: Organigramme fonctionnel de l'état initialisation 54

Figure 4.4: Organigramme fonctionnel de l'état opérationnel 60

Figure 4.5: Format de l'écran du contrôleur de cellule 69
Figure 4.6: Organigramme de module d'interface à l'usager 71
Figure 4.7: Organigramme du module de suivi d'une MOCN 74
Figure 4.8: Organigramme du module de contrôle d'une MOCN 78
Figure A.1: Modèle conceptuel de la fabrication 108
Figure A.2: Modèle conceptuel de la fabrication intégrée et informatisée 115
Figure A.3: Modèle conceptuel du système manufacturier CAO 119
Figure A.4: Modèle conceptuel du système manufacturier PPAO 123
Figure A.5: Structure de contrôle 131
Figure B.1: Ligne de montage 133
Figure B.2: Agencement fonctionnel 133
Figure B.3: Agencement autour du produit 133
Figure B.4: Cellules de fabrication flexible 134
Figure B.5: Système informatique selon le niveau de contrôle 152
Figure B.6: Evolution de la fabrication cellulaire .. 154

LISTE DES ANNEXES

Page

Annexe A. Logiciel de contrôle d'une MOCN en mode de fonctionnement "Émulation du mode DCN/TAPE" 106

Annexe B. Logiciel de suivi d'une MOCN 132

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Après avoir traversé deux révolutions industrielles, plusieurs facteurs poussent l'industrie d'aujourd'hui vers de nouvelles stratégies de fabrication et de gestion manufacturière. La compétition mondiale (produit de qualité à bas prix), l'évolution de la technologie (Machine-Outils à Commandes Numériques - MOCN, informatique, microprocesseur, etc.), les nouvelles stratégies de production (juste à temps, contrôle global de qualité, flexibilité, technologie de groupe) sont autant de facteurs qui contribuent aux changements observés dans l'industrie moderne. Certains qualifient ces changements technologiques et cette nouvelle philosophie manufacturière de troisième révolution industrielle. Il serait cependant plus juste de parler d'évolution industrielle, puisque la mise en place de ces nouveaux éléments est un processus qui ne peut se faire du jour au lendemain. En effet, il existe une quantité innombrable d'éléments (ordinateurs, automates, logiciels, MOCNs, réseaux locaux, protocoles de communication, etc.) qui constituent une telle organisation. Les difficultés rencontrées pour intégrer tous ces éléments en un tout fonctionnel et unifié ont considérablement ralenti cette

révolution. L'absence de modèles génériques, de normes et protocoles internationaux étaient souvent les sources de ces diffficultés, spécialement au niveau des contrôleurs de cellule.

Problématique

Le contrôleur de cellule se trouve au coeur de la structure de contrôle de la fabrication intégrée par ordinateur. Il a pour tâche d'intégrer l'équipement sur le plancher manufacturier avec les fonctions de conception et de planification manufacturière de l'usine. Le contrôleur de cellule doit donc être compatible avec les systèmes et l'équipement de l'usine. Il est aussi essentiel de bien cerner les fonctions du contrôleur de cellule à l'intérieur de l'usine informatisée et intégrée.

Pour atteindre ce niveau d'intégration, il faut aussi développer deux éléments de base qui donneront un aspect générique au contrôleur de cellule. Ces deux éléments sont un système de communication et une stratégie de contrôle de l'équipement manufacturier. Ces deux éléments n'ont pas encore été clairement établis et efficacement intégrés à l'usine informatisée et intégrée.

L'objectif principal de ce mémoire consiste à dévelop-

per et analyser un modèle générique d'un contrôleur de cellule de fabrication et d'étudier son implantation dans le contexte d'une fabrication intégrée et informatisée (Computer Integrated Manufacturing - CIM).

Méthodologie

Le développement d'un contrôleur de cellule dans un contexte d'intégration complet est un travail de longue haleine. Ce projet seul ne peut s'attaquer à un objectif d'une telle envergure. Néanmoins, quelques unes de ses fonctions furent développées.

Puisque ce projet marque le début du développement d'un contrôleur de cellule, les concepts et les systèmes manufacturiers de la fabrication intégrée et informatisée doivent d'abord être étudier. Cette étude fera ressortir une structure de contrôle pour l'usine dans son ensemble et les fonctions d'un contrôleur de cellule de fabrication générique. La conclusion de cette étude permet d'élaborer une approche de développement pour ce type de contrôleur. Les annexes A et B sont une synthèse de cette partie du projet.

Pour appliquer efficacement notre modèle, l'équipement et les ressources informatiques utilisés lors de cette recherche doivent être minutieusement étudier. Le chapitre

2 décrit ces mêmes ressources.

Un logiciel, pouvant assumer des fonctions de contrôle et de suivi d'unités fonctionnelles d'une cellule de fabrication flexible, sera ensuite développé et implanté dans un contrôleur de cellule. Ce logiciel inclue un système de communication (relié aux équipements manufacturiers), des modules d'interface aux usagers, de gestion de l'écran et de gestion de données. Une structure logique et certains éléments de base pour le développement d'un contrôleur de cellule générique complet seront ainsi appliqués et validés.

Les chapitres 3, 4 et 5 décrivent les logiciels développés et implantés dans le cadre de cette recherche. Le chapitre 6 discute de ces logiciels en relation avec le modèle de référence d'un contrôleur de cellule décrit aux annexes A et B.

CHAPITRE 2

Etude et analyse des systèmes en place

2.1 Introduction

Le lieu de recherche de ce projet est situé au Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) à Montréal. Les ressources reliées au développement d'un contrôleur de cellule sont regroupées à l'intérieur du groupe de Production Assistée par Ordinateur (PAO). L'objectif principal du projet mené au CRIQ dans le cadre de cette recherche, consiste à développer un logiciel de contrôle et de suivi d'une unité fonctionnelle, incluant un système de communication avec les éléments de la cellule et des modules d'interface aux usagers, de gestion de données et de gestion de l'écran.

L'environnement de l'atelier PAO du CRIQ est constitué de systèmes hétérogènes provenant de vendeurs différents. Les logiciels implantés dans le contrôleur de cellule doivent communiquer avec ces systèmes. Il est donc logique d'étudier ces systèmes déjà en place avec lesquels le contrôleur de cellule devra interagir. La communication et l'échange d'informations entre ces systèmes doivent être

rendus intelligibles au contrôleur de cellule par l'addition de diverses interfaces de communication.

Ce chapitre étudie et analyse deux facteurs qui constituent l'environnement du contrôleur de cellule. Ces facteurs sont:

a. L'organisation physique de l'atelier PAO du CRIQ (types d'équipements, réseau de communication, etc.);
b. Ressources informatiques et logiciels (CAO/FAO, GMAO, fonctions des contrôleurs de MOCNS, etc.).

Le premier facteur présente tous les aspects physiques de l'atelier PAO, principalement ceux reliés à la communication. Les réseaux de communication, l'infrastructure informatique, les équipements à l'intérieur de la cellule seront brièvement décrits. Le deuxième facteur étudie les logiciels et les ressources informatiques distribués à travers le réseau local de l'atelier PAO.

Ce chapitre ne s'intéresse pas au fonctionnement interne des systèmes constituant l'environnement de l'atelier PAO du CRIQ. Seul l'ensemble des ressources et des fonctions rendues disponibles par ces systèmes sont d'intérêt.

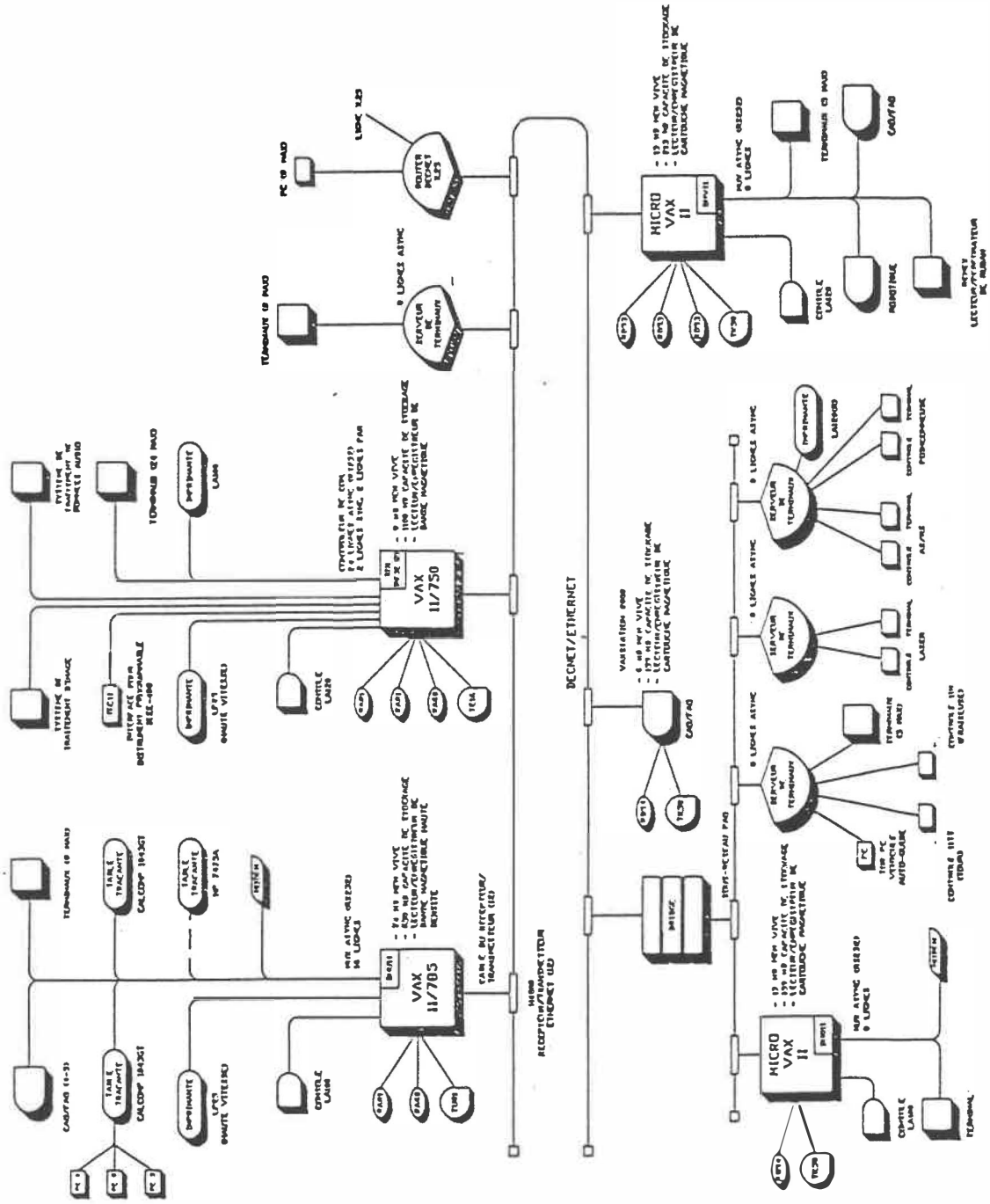
2.2 Organisation physique de l'atelier PAO

L'infrastructure informatique du CRIQ Montréal est illustrée à la figure 2.1. L'épine dorsale de cette infrastructure est un réseau de communication de type ETHERNET. Ce réseau est constitué de deux segments qui sont reliés ensemble par un pont. Le premier segment relie principalement le matériel informatique qui supporte les systèmes de hauts niveaux (conception, planification manufacturière). Le deuxième segment circule à travers les éléments près du plancher manufacturier. Son protocole de communication supporte les deux premières couches du modèle de référence ISO/OSI [40]. Les cinq autres couches suivent un protocole propre au fabricant. La tableau 2.1 décrit ce protocole de communication.

Couches	Protocole
7. Application	Protocole particulier à ETHERNET
6. Présentation	
5. Session	
4. Transport	
3. Réseau	
2. Liaison de données	ISO/IS 7498 IEEE 802.3
1. Liaison physique	ISO/IS 7498 IEEE 802.3

Protocole de communication DEC/ETHERNET

Tableau 2.1



Infrastructure informatique

au laboratoire du CRIQ à Montréal

Figure 2.1

Les équipements suivants (strictement distribués par Digital) sont directement reliés au médium de communication:

a. Un mini-ordinateur type Digital VAX II/785;
b. Un mini-ordinateur type Digital VAX II/750;
c. Deux micro-ordinateurs type Digital Micro-VAX II;
d. Un poste de travail type Digital VAX-STATION 2000;
e. 4 serveurs de terminaux type DEC Serveur 100 et 200;
f. 1 pont type Digital LAN/BRIDGE;
g. 1 routeur type DECNET X.25.

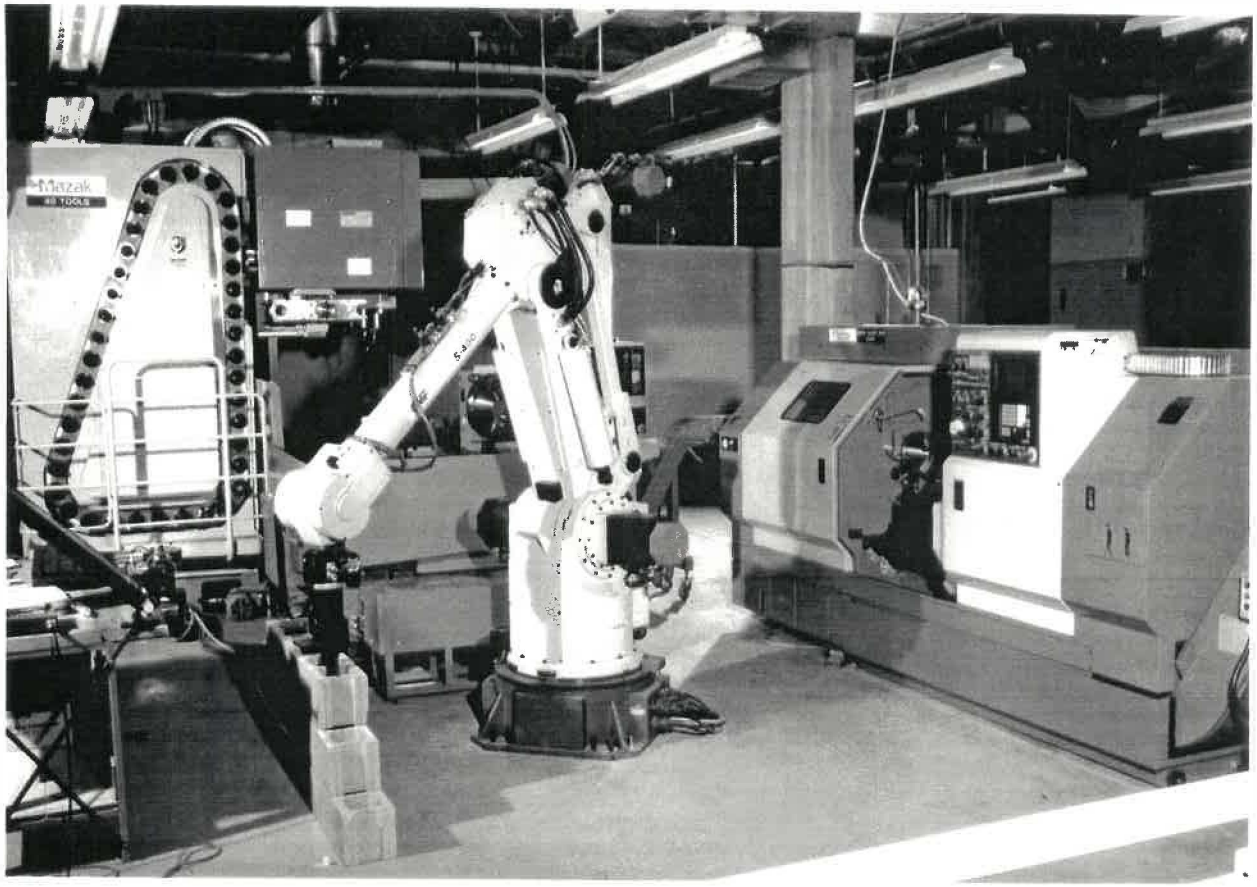
Les deux ordinateurs de type VAX 785 et 750 sont peu utilisés par le groupe PAO. Seul les services de compilation et des bibliothèques de sous-routines (graphiques, mathématiques, etc.) sont utilisés pour les besoins de programmation. Le Micro Vax II relié au premier segment supporte les systèmes de conception, de simulation robotique et de gestion des ressources manufacturières. Le poste de travail VAX STATION 2000 est utilisée uniquement pour la conception. Le Micro Vax II, relié au deuxième segment, agira comme contrôleur de cellule pour la cellule d'usinage et la cellule de matériaux en feuilles. Les quatre ser-

veurs de terminaux série 100 et 200 fournissent 8 ponts entrée/sortie RS-232c à 3 et 7 fils respectivement pour relier terminaux, imprimantes, contrôleurs de MOCNs, PLCs, robots ou tout autres équipements supportant le standard de communication RS-232c au réseau. Un routeur est aussi disponible pour relier 8 IBM PC (standard de communication X.25) au réseau. Finalement un pont permet de rejoindre les deux segments.

L'équipement à l'intérieur de la cellule d'usinage se liste comme suit:

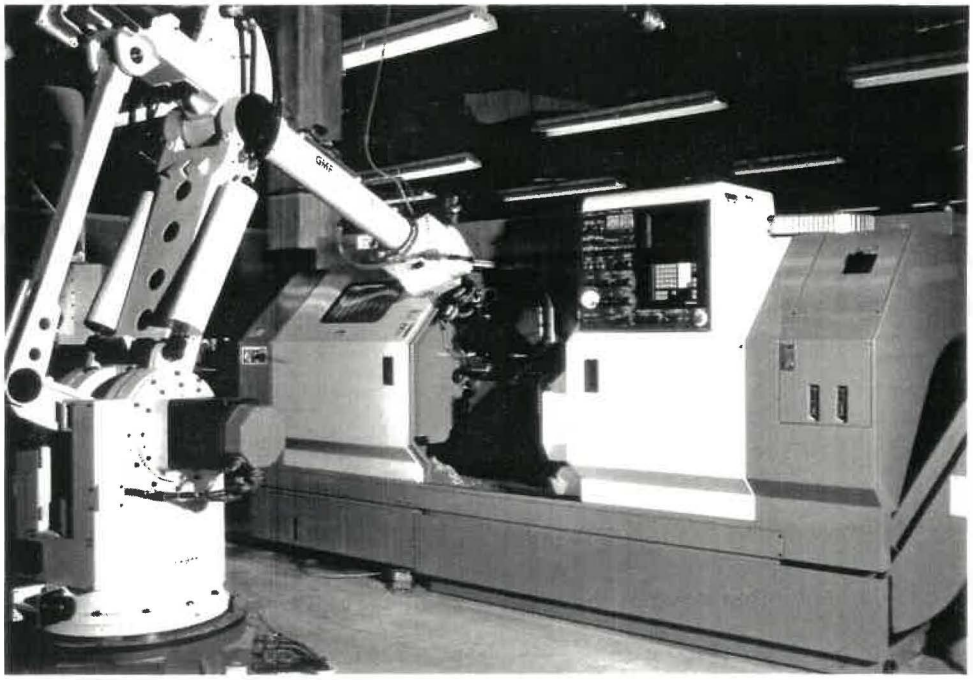
a. Deux machines-outils à commandes numériques (MOCNs):
   1. Une fraiseuse verticale 4 axes, type MAZAK SV-20;
   2. Un tour avec deux tourelles 4 axes, type MAZAK QS-30N;
b. Un robot à 6 axes de liberté avec capteurs de forces et moments, type GMF S400;
c. Un véhicule auto-guidé.

La figure 2.2 montre l'agencement de ces équipements à l'intérieur de la cellule. Les figures 2.3, 2.4 et 2.5 illustrent les deux MONCs et le robot.

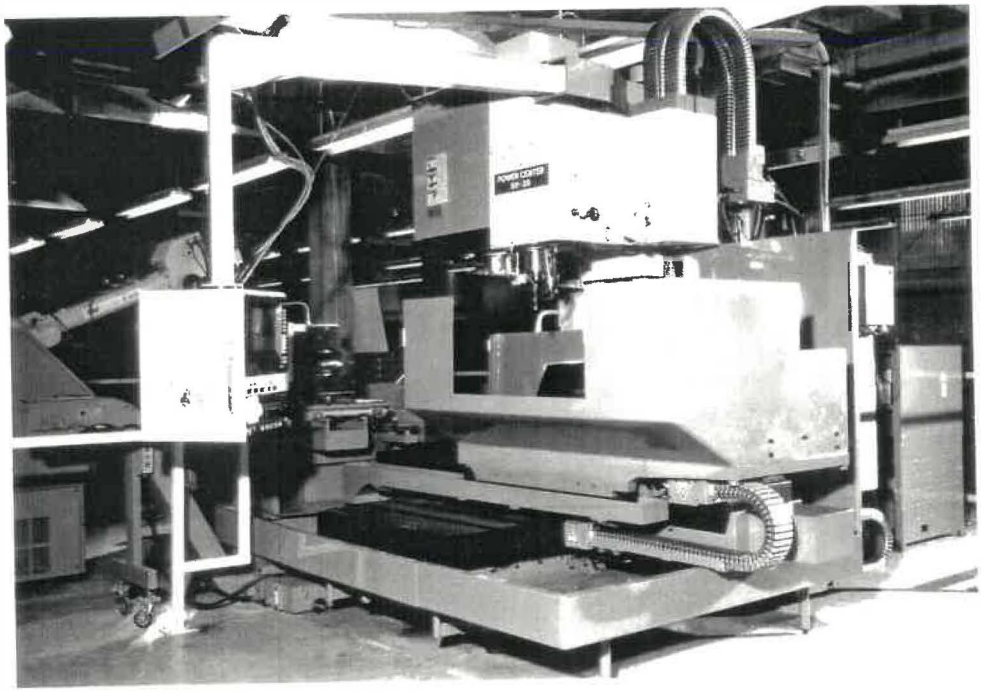


Agencement de la cellule d'usinage

Figure 2.2



Robot et tour
Figure 2.3



Fraiseuse
Figure 2.4

Les MOCNs sont munies d'un contrôleur à commandes numériques, type FANUC série 11 (voir figures 2.5 et 2.6). Le robot est muni d'un contrôleur de type GMF-Karel (voir figure 2.8). Chacun de ces contrôleurs (moyennant quelques modifications) peut être relié à une interface de communication RS-232c. Les deux MOCNs sont aussi équipées d'une interface-robot pouvant accepter quelques commandes spécifiques et fournir de l'information afférents aux les conditions d'opération de la MOCN (voir annexe R de la référence 7). Les fonctions que fournissent ces contrôleurs seront décrites à la section 2.3.

Contrôleur de la fraiseuse
Figure 2.5

Contrôleur du tour

Figure 2.6

Contrôleur du robot

Figure 2.7

2.3 Description des ressources informatiques et logiciels

L'infrastructure décrite à la section 2.2 supporte plusieurs logiciels. Ces logiciels peuvent être divisés en trois catégories:

a. logiciels d'usage général;
b. logiciels d'application;
c. Fonctions des contrôleurs d'équipement.

La première catégorie, les logiciels d'usage général, est principalement utilisée pour le développement d'applications spécifiques. Ces logiciels sont généralement formés d'un langage d'exploitation, d'un éditeur, d'un compilateur, d'un système de gestion de données, de sous-routines de fonctions graphiques et mathématiques, etc..

La deuxième catégorie s'identifie à des classes de logiciels remplissant une tâche bien déterminée. Dans la fabrication, ces logiciels assistent l'usager dans les tâches telles la conception (modèle géométrique, analyse, gamme d'usinage, etc), la planification de la production, la gestion des ressources manufacturières, etc. Ces logiciels offrent souvent les modes interactifs et de programmation.

Finalement, il y a les services directement fournis par des modules implantés au contrôleur des équipements. Les fonctions typiquement dispensées par ces modules peuvent être des systèmes de communication, des systèmes de prises de positions, et gestion d'outils, capteur de forces, etc..

Cette description couvre seulement les fonctions de ces logiciels et est nullement intéressée par leur fonctionnement interne. Il s'agit en quelque sorte, d'identifier les ressources et les données rendues disponibles par ces systèmes. Cette approche est également utilisée par le protocole MAP lors de la définition du modèle abstrait (Virtual Manufacturing Device) [40]. Cette description est présentée sous forme de tableaux (voir tableaux 2.2 à 2.4).

Tous ces logiciels peuvent interagir avec le contrôleur de cellule ou être directement utilisés par ce dernier. Les modules de conception, de simulation et de gestion de ressources manufacturières accomplissent des fonctions que l'on attribue aux niveaux supérieurs du contrôleur de cellule (voir annexe A.3). Néanmoins, ils fournissent l'information technologique qu'utilisera le contrôleur de cellule pour accomplir ces tâches (programmes de commandes, ordre de tâches, etc.). Il existe peu de logiciels d'application pouvant accomplir les fonctions d'un contrô-

LOGICIELS	FONCTIONS
Modules de CAO/FAO Type "UNIGRAPHICS II"	1. Système graphique (interactif ou programmation) pour une description géométrique de la pièce (surfacique et filaire). 2. Module de génération de gamme d'usinage (interactif ou programmation) de commandes numériques et simulation graphique. 3. Module de gestion de base de données. 4. Module d'analyse par éléments finis et modèles graphiques. 5. Module de modélisation solide d'objet.
Simulation robotique Type "ROBOTICS"	1. Module de définition d'un modèle robotique et de simulation. 2. Module de lecture d'un fichier d'une pièce sur "UNIGRAPHICS II" pour la définition d'un robot. 3. Programmation hors-ligne d'un robot et simulation graphique.
Gestion manufacturière Type "I-Manufacturer" de "INFO-POWER"	1. Gestion des ressources manufacturières (inventaires, en cours, achats, etc.). 2. Générations d'horaires de production (court terme, moyen terme, long terme).
Gestion de base de données rationnelle distribuée par "ORACLE"	Outils de gestion de base de données, de réalisation des applications, de consultation, de support décision et de conception de système.

Logiciels d'application distribués sur le réseau local

Tableau 2.2

LOGICIELS	FONCTIONS
Compilateur Fortran VMS et Pascal VMS	Voir ref. [55]
Système d'exploitation VMS	Voir ref. [52 et 53]
Bibliothèque graphique GKS et mathématique	Fonctions graphiques et mathématiques
Gestion du réseau Ethernet	Voir ref. [56]
Bibliothèque des sous-routines systèmes	Voir ref. [52]
Editeur	Voir ref. [53]

Logiciels d'usage général distribué sur le réseau

Tableau 2.3

leur de cellule (voir annexe B.2). Seuls les modules de gestion manufacturière et de gestion de base de données rationnelles peuvent être directement utilisés par les contrôleurs de cellule. Les logiciels d'usage général sont pour l'instant, les plus utilisés et demeurent les principaux outils de développement d'un contrôleur de cellule.

Les fonctions des contrôleurs d'équipement de la cellule de fabrication ont aussi une grande influence sur le développement du contrôleur de cellule . Les fonctions de

EQUIPEMENT	FONCTIONS
Contrôleur à commandes numériques type "FANUC" Série 11M (Fig. 2.7)	1. Module de gestion d'outils. 2. Changement d'outils automatique. 3. Changement de palette automatique. 4. Système de prise de coordonnées. 5. Modes de fonctionnement: --> MANUEL INCREMENTAL --> MDI --> EDITION --> MEMOIRE --> "RUBAN"
Contrôleur à commande numériques types "FANUC Série 11T" (Fig. 2.8)	Même que le précédent sans le mode de fonctionnement ruban.
Contrôleur de robot Type "KAREL". (Fig. 2.9)	1. Module de contrôle avec capteur de moment de force. 2. Interface robot (32 entrées et sorties 12 volt DC, digitales). 3. Mode de fonctionnement --> MANUEL --> EDITION --> AUTOMATIQUE
Interface robot au MOCNs	Voir annexe R de la référence 7

Fonctions des contrôleurs d'équipement

Tableau 2.4

contrôle et de suivi du contrôleur de cellule doivent tenir compte des particularités de fonctionnement de ces éléments de contrôle. Les fonctions de support sont encore plus

sensibles à ces particularités, spécialement pour l'aspect "communication". Les contrôleurs d'équipements génèrent une quantité limitée et précise de données de suivi et l'accès à cette information doit suivre une procédure particulière. Il en va de même pour l'envoi de commandes à ces éléments de contrôle. Ces particularités doivent être bien connues par le concepteur d'un contrôleur de cellule. Cette recherche est orientée vers le contrôle et le suivi de MOCNs munis de contrôleur de type "FANUC série 11". Cette considération exige un bref regard sur trois points particuliers de ces contrôleurs:

a. Mode de fonctionnement;
b. Fonctionnement du contrôleur en mode DNC et langage de programmation;
c. Données de suivi.

Mode de fonctionnement

Les contrôleurs à commandes numériques sont munis de cinq modes de fonctionnement:

a. Manuel incrémental
b. MDI
c. Edition
d. Mémoire
e. Ruban.

Le mode "manuel incrémental" permet à un opérateur de bouger les axes de la MOCN à l'aide d'un "JOY STICK". Le mode "MDI" permet à l'opérateur d'entrer des commandes numériques à l'aide du tableau de contrôle MDI (voir Figure 2.6) et de les exécuter. Le mode "Edition" permet à un opérateur d'éditer des programmes de commandes en mémoire. Le mode mémoire exécute un programme de commandes numériques qui est emmagasiné dans la mémoire du contrôleur numérique. Finalement, le mode "ruban" exécute les commandes numériques à mesure qu'elles sont lues par le lecteur de ruban perforé (ce lecteur peut être remplacé par un lien électronique relié à un ordinateur qui envoie les commandes à la MOCN). Un caractère spécial indique le début et la fin d'un fichier de commandes. Lorsque le lecteur de ruban perforé est remplacé par un lien électronique, la MOCN fonctionne en mode "DNC" (Direct Numerical Control). Les trois derniers modes de fonctionnement peuvent utiliser le mode DNC pour échanger des données avec un réseau de comminication.

Fonctionnement du contrôleur en mode DNC et langage de programmation

Les instructions envoyées au contrôleur de la MOCN en DNC ou celle contenues dans un programme de commandes (langage de programmation du contrôleur des MOCNs) ne peuvent couvrir toutes les fonctions qu'offrent ce type de contrô-

leur. Plusieurs de ces fonctions ne sont accessibles que par l'intermédiaire des touches sur le panneau de contrôle MDI. Les fonctions telles "début des opérations" (cycle start), retour des axes à zéro, changement du mode d'opération, etc., exigent la présence d'un opérateur ou d'une interface robot pour être utilisées. Néanmoins, le langage de programmation permet de couvrir plusieurs instructions exécutables par ces contrôleurs à commandes numériques. Les instructions suivantes peuvent ainsi être traitées à l'aide du langage de programmation du contrôleur:

a. Commandes numériques;

b. Opérations sur les variables du contrôleur;

c. Langage structuré;

d. Sortie de données.

Les commandes numériques permettent d'accomplir toutes les fonctions couvertes par les codes G, M, S, T, L, O, P, etc. [50]. Les opérations sur les variables du contrôleur permettent des opérations mathématiques et logiques. Certaines variables systèmes [50] contiennent plusieurs types de données pouvant être utilisées pour le suivi de la MOCN (temps d'opération, position des axes, données sur les outils, données sur l'instruction en exécution, etc.). De plus, une de ces variables permet de désactiver trois fonctions du panneau de contrôle: gel des axes (feed hold),

exécution instruction par instruction (single block) et contrôle de la vitesse des axes (feed rate over ride).

Le langage de programmation de ces contrôleurs supporte des opérations conditionnelles "IF THEN" des boucles itéractives DO WHILE et des branchements "GO TO". Malheureusement, en mode DNC/RUBAN, ces derniers types d'instructions ne peuvent pas être utilisées puisque chaque instruction reçue par le contrôleur est aussitôt exécutée et ensuite oubliée. Un programme peut appeler plusieurs sous-programmes de commandes (custom macro) qui sont déjà stockés dans la mémoire du contrôleur. L'instruction "DPRNT" permet l'envoie d'un court message et la valeur d'une variable à une des sorties du contrôleur. Cette instruction est utilisée pour des fins de suivi de la MOCN.

Données de suivi

Les données de suivi sont générées par l'instruction "DPRNT". Elles sont donc limitées à un court message suivi de la valeur d'une variable du contrôleur. Il y a jusqu'à 9000 variables définies par le système du contrôleur [50]. Ces variables contiennent les informations sur les outils, la position des axes, les instructions en cours, les temps d'opération, etc..

CHAPITRE 3

Développement d'un système de communication pour la cellule d'usinage

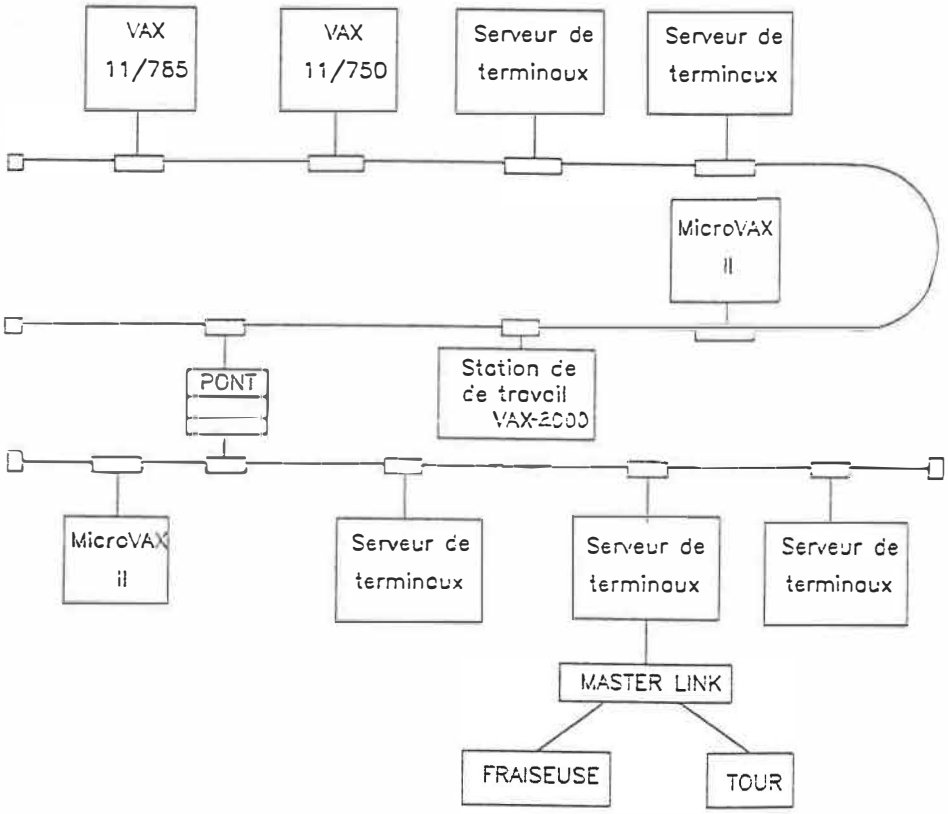
3.1 Introduction

La première partie du projet mené au groupe de Production Assistée par Ordinateur (PAO) du Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) a permis de développer un système de communication, afin d'intégrer certains éléments de la cellule d'usinage à son réseau local. Pour bien comprendre les progrès réalisés, il faut d'abord décrire la situation qui prévalait à l'atelier PAO avant l'implantation de ce système de communication.

Situation initiale

Au début de l'été 1988, aucun élément de la cellule d'usinage (i.e. contrôleur des deux MOCNS, robots, automate programmable, etc) était relié au réseau local de la section PAO. Comme mentionné au chapitre 2, l'épine dorsale de ce réseau local est un réseau de communication de type DECNET/ETHERNET, distribué par Digital. A cette époque, un appareil (Master Link) avait été ajouté à ce réseau pour

établir un "pont de communication" entre les équipements de la cellule et le reste du réseau (voir fig.3.1). Cependant, les limitations engendrées par ce type de communication rendaient très difficile si non impossible l'intégration des éléments de la cellule au réseau local.



Infrastructure initiale du réseau de communication

Figure 3.1

En effet, les obstables étaient nombreux. Il était impossible d'avoir une communication bidirectionnelle simultanée (full duplex) et/ou une communication avec plusieurs éléments à la fois. Cet appareil permettait stric-

tement le transfert de fichier de commandes numériques entre un ordinateur Micro Vax relié au réseau, et un élément de la cellule. De plus, il exigait l'intervention d'un opérateur compétent qui devait effectuer plusieurs manipulations de ces fichiers à l'aide des contrôleurs de MOCNs et de cet appareil. Finalement, aucune flexibilité sur le contrôle des communications était permise (le caractère "%" au début et à la fin d'un fichier pour indiquer le début et la fin des communications). Bref, le "master link" imposait une procédure complexe et longue pour ne permettre qu'un transfert de fichiers entre les éléments de la cellule et du réseau. Les possibilités d'erreurs étaient augmentées par la quantité de manipulations nécessaires pour effectuer le transfert de ces fichiers de données.

A vrai dire, le "Master Link" n'était qu'un substitut au lecteur de ruban perforé en remplaçant celui-ci par un lien électronique. Evidemment, il fallait éliminer cet appareil et le remplacer par un nouveau système de communication.

Spécifications du nouveau système de communication

Le nouveau système de communication devait répondre aux spécifications suivantes:

a. Automatisation de la procédure du contrôle de la communication;

b. Intégration de tous les équipements de la cellule

au réseau local: accès simultané de plusieurs éléments sur le réseau local, et une communication bidirectionnelle simultanée (full duplex);

c. Communication compatible avec tout type d'application sur le réseau local (fonctions du contrôleur de cellule, contrôleur des MOCNs, etc.);

d. Contrôle flexible de la communication et transparent aux usagers;

e. Accès global à la structure d'information.

L'automatisation du contrôle de la communication permet d'éliminer l'opérateur pour être remplacé par un système de contrôle informatique. A tout moment, le système de communication doit permettre de gérer un échange de données entre deux éléments du réseau (par exemple, une MOCN et un contrôleur de cellule) de façon automatique. Le contrôle flexible des communications doit permettre d'établir et de mettre fin à une communication à tout moment, et d'échanger n'importe quel type de données (pas limité à un transfert de fichier). L'accès global à la structure d'information signifie que toutes applications distribuées sur le réseau local peuvent communiquer ensemble.

3.2 Description du système de communication

Pour mettre en place ce système de communication, quatre éléments ont dû être pris en considération. Ces éléments sont:

a. Les contrôleurs d'équipements de la cellule;

b. Le serveur de terminaux;

c. Le réseau de communication DECNET/ETHERNET;

d. Le contrôleur de cellule.

La première étape consistait à analyser et à étudier chacun de ces éléments. Après avoir bien maîtrisé le fonctionnement de ceux-ci, une stratégie pouvait être élaborée pour la mise au point de ce système de communication. Ces quatre éléments ont dû faire l'objet de modifications (programmation, configuration) précises en vue de développer un système respectant les spécifications énoncées à la section 3.1. Ainsi, une description systématique de chacun de ces éléments est nécessaire pour avoir une vue d'ensemble de tout le système de communication.

3.2.1 Contrôleur à commandes numériques

La plupart des équipements à l'intérieur d'une cellule de fabrication offrent des interfaces de communication RS-232c qui permettent une communication bidirectionnelle simultanée. Les robots et les automates programmables sont des équipements les plus sujets à interagir avec leur environnement. Les manufacturiers se font donc un devoir d'ajouter ces interfaces de communication (RS-232c) à leur produit. Leur intégration à un réseau de communication en est d'autant facilité. Cependant, les contrôleurs à commandes numériques ont la particularité d'être mal adaptés pour la communication avec leur environnement. En effet, les capacités de communication des contrôleurs de MOCNs sont beaucoup plus limitées que celles de leurs pairs (automate programmable, robots, etc.). De plus, la documentation sur "l'aspect communication" est presque inexistante pour les contrôleurs de type FANUC 11M et 11T utilisés au CRIQ. Il est donc, à priori, très difficile d'établir une communication efficace avec ces équipements.

Pour relier ces contrôleurs au reste du réseau, il fallait résoudre les problèmes suivants:

a. Permettre au contrôleur de recevoir et de transmettre des données en même temps qu'il exécute des commandes;

b. Trouver et rendre compatible des entrées/sorties avec le standard de communication RS-232c à trois fils (transmission, réception et mise à terre).

Les contrôleurs de MOCNs utilisés au CRIQ, ne peuvent transmettre et recevoir de façon simultanée sur une seule ligne de communication. Il fallait donc identifier deux interfaces entrée/sortie dont l'une serait dédiée à la réception et l'autre à la transmission de données.

Après étude d'un schéma décrivant l'architecture interne des contrôleurs (voir annexe L de la référence 7), plusieurs interfaces entrée/sortie furent identifiées. Deux d'entre elles (interfaces de type HONDA) s'avéraient pertinentes pour être reliées à une interface RS-232c.

Il fallait ensuite rendre compatible ces interfaces de type HONDA avec le standard RS-232c à trois fils, pour qu'elles puissent être reliées au serveur de terminaux de type DEC Server 100, et finalement au réseau de communication ETHERNET. Outre les lignes réservées pour la transmission, la réception et la mise à terre, l'interface de type HONDA a cinq autres fils transportant des signaux (équipement prêt, terminal prêt, demande à envoyer, prêt à recevoir, détection de la porteuse) qui doivent être vérifiés avant de pouvoir établir la communication. Puisque la

communication devait être établie en permanence, et que cette interface de type HONDA devait être reliée à une interface RS-232c à trois fils (serveur de terminaux), il n'y avait pas d'autre alternative que de mettre ces cinq signaux sous tension (i.e. signal "on"). De cette façon tous ces signaux sont constamment vérifiés ce qui permettait une communication en permanence. L'annexe L illustre un schéma montrant les branchements effectués pour rendre compatibles ces interfaces de type HONDA avec le standard de communication RS-232c à trois fils.

Finalement, il a fallu reconfigurer les paramètres de communication du contrôle à commande numériques. Ces contrôleurs étaient configurés pour communiquer avec un lecteur de ruban perforé et utilisaient la même interface pour les entrées et sorties. Les adresses des interfaces entrée/sortie furent changées, de sorte que les opérations d'entrées et de sorties de données soient dirigés vers leur interface respective. Les vitesses de transmission furent ajustées à 4800 bauds, le standard de communication fut "ISO avec 2 stop bits". L'annexe J de la référence 7 décrit les paramètres spécifiques qui durent être changés.

En ajustant le contrôleur de MOCNS en mode DNC/RUBAN (voir section 2.2) la MOCN exécute les commandes à mesure qu'elles sont reçues et elle transmet des données de suivi

lorsque nécessaire. Ainsi les contrôleurs à commandes numériques peuvent pour répondre aux spécifications du système de communication.

3.2.2 Serveur de terminaux

L'élément utilisé pour relier les contrôleurs de MOCNs au réseau de communication ETHERNET est un serveur de terminaux de type DEC Serveur 100. Cette pièce d'équipement peut gérer 8 ports entrée/sortie RS-232c simultanément et effectuer le transfert des données du réseau de communication vers les ports entrée/sortie et vice versa. Chacun des ports peut être indépendamment configuré pour les différents types de communication avec les équipements reliés à ces ports, et adapté aux différentes applications faites de ces ports (terminal, imprimante, modem, etc.) [56]. L'annexe K de la référence 7 décrit la configuration des ports dédiés au contrôleur à commandes numériques de la cellule d'usinage. Deux ports sont nécessaires pour chaque MOCN, un pour la réception et l'autre pour la transmission de données.

3.2.3 Réseau de communication ETHERNET

Il est essentiel de programmer le réseau pour qu'il puisse gérer adéquatement les communications avec les ports du serveur de terminaux. Il faut définir le port, définir le type d'application relié à ces ports, lui donner un nom et une adresse unique, définir les privilèges et les modes d'accès et informer le réseau de ses caractéristiques. L'annexe I de la référence 7 liste quelques exemples de procédures qui fait appel au service LAT (Local Area Transport, service de gestion du réseau ETHERNET) pour la programmation du réseau.

3.2.4 Contrôleur de cellule

Toutes données reçues et envoyées par les contrôleurs des MOCNs seront respectivement envoyées et reçues par le contrôleur de cellule. Deux types de communication sont identifiées lors de ces échanges. Dans le premier cas, les données partent des contrôleurs des MOCNS, se dirigent vers le serveur de terminaux à travers un câble RS-232c, et sont acheminées vers le contrôleur de cellule à travers le réseau de communication ETHERNET. Ce type de communication est appelé "UPLOAD". Dans le deuxième cas, les données suivent le chemin inverse. Ce type de communication est appelé "DOWNLOAD".

Ces deux types de communication entre le contrôleur de cellule et les contrôleurs des MOCNs semblent être deux cas similaires où seul le sens des communications diffère. Cependant, ces deux types de communication s'effectuent dans des conditions complètement différentes. Ils doivent donc être traités par des procédures séparées et adaptées à chacun de ces deux cas. Tout le processus de communication doit faire l'objet d'une étude approfondie afin d'être en mesure d'élaborer ces deux procédures de communication. Ces deux dernières procédures complètent le système de communication et permettent de leur attribuer les caractéristiques voulues (voir section 3.1).

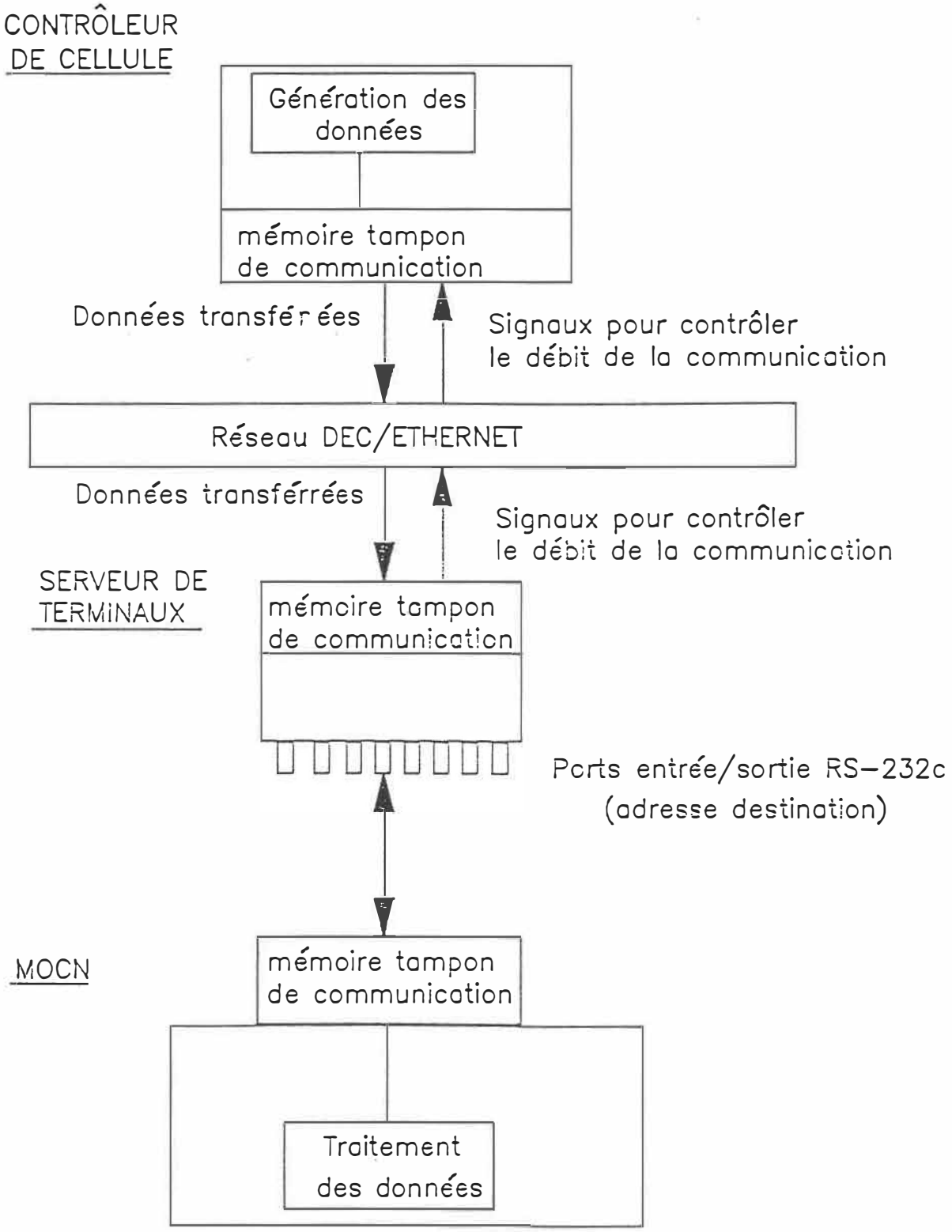
3.2.4.1 DOWNLOAD

L'envoi de commandes à partir du contrôleur de cellule est le cas le plus simple à traiter. Après que le réseau ETHERNET ait été adéquatement programmé (voir section 5.3.3), que le serveur de terminaux ait été configuré (voir section 5.3.2) et que les contrôleurs de MOCNS aient été préparés pour la réception de données (voir section 5.3.1), la procédure utilisée par le contrôleur de cellule pour l'envoi de données peut être comparable à celle utilisée pour l'écriture de données dans un fichier sur disque. Le nom du fichier est simplement remplacé par l'adresse du

port du serveur de terminaux concerné. Cette adresse est définie par le réseau de communication ETHERNET et est connue par tous les éléments reliés à ce réseau. Ainsi, des énoncés tels "OPEN" et WRITE" du langage Fortran sont respectivement utilisées pour indiquer l'adresse du port et pour fournir les données à transmettre. L'annexe G de la référence 7 décrit une procédure Fortran, qui est chargée de l'envoi de données aux équipements de la cellule.

Le processus global de communication est donc principalement contrôlé par le serveur de terminal et le service de gestion du réseau de communication. Ce processus de communication (illustré à la figure 3.2) s'effectue dans les conditions suivantes:

a. Une procédure sur le contrôleur de cellule envoie les données et spécifie leur adresse de destination (voir Annexe G de la référence 7);
b. Le réseau prend charge de ces données et les dirige à l'adresse spécifiée (à un port spécifique du serveur de terminaux);
c. Le serveur de terminaux accepte ces données, les envoie aux contrôleurs de MOCNs qui sont présumément prêt pour la communication. Il synchronise la communication entre le réseau et les MOCNs.



Processus complet de la communication DOWNLOAD

Figure 3.2

La gestion des communications, n'est donc pas accomplie par le contrôleur de cellule mais principalement par le système de gestion du réseau et le serveur de terminaux. Ainsi, le contrôleur de cellule est dispensé de la gestion de la communication lorsqu'il envoie des données à un élément de la cellule d'usinage.

Néanmoins, le fonctionnement de la procédure de communication du contrôleur de cellule varie légèrement selon certaines circonstances. En effet, le temps nécessaire pour envoyer un block de données peut varier de quelques dixièmes de seconde à plusieurs heures. Deux facteurs principaux influencent la durée d'une communication; la quantité de données transmises et le temps nécessaire aux MOCNs pour traiter les données reçues. Une étude encore plus appronfondie de tout ce processus de communication explique comment et pourquoi ces deux facteurs influencent la durée d'une communication entre le Micro Vax et les MOCNs.

La synchronisation des communications entre le Micro-Vax II et les contrôleurs de MOCNS est principalement assumée par le serveur de terminaux. Les interfaces de communication des contrôleurs de MOCNs, des serveurs de terminaux et des Micro-Vax II sont tous munis d'une mémoire tampon (buffer) de communication. Les données reçues par

ces équipements sont d'abord emmaganisées dans cette mémoire avant d'être traitées. Lors d'une communication "DOWNLOAD", le serveur de terminaux accepte les données envoyées par le contrôleur de cellule jusqu'à ce que sa mémoire tampon de communication soit remplie. Dès lors, il envoie un signal au Micro-Vax (à travers le réseau ETHERNET) pour l'interruption temporaire des communications. Lorsque ces données ont été traitées, et que la mémoire tampon est à nouveau vide, un autre signal est envoyé au Micro-Vax pour reprendre l'envoie de données. Ce processus est transparent à l'usager du contrôleur de cellule.

Pour le serveur de terminaux, le traitement de données consiste simplement à transférer ces données à l'équipement relié au port. Ce transfert se fait à une vitesse préalablement spécifiée (4800 bauds) et est synchronisé par les contrôleurs de MOCNs avec l'envoi des signaux de contrôle ASCII 14 et 15 (XON et XOFF). Le signal XOFF interrompt la communication et le signal XON permet la reprise des communications. La synchronisation de la communication entre le serveur de terminaux et les contrôleurs de MOCNs s'effectue donc de la même façon que celle entre le contrôleur de cellule et le serveur de terminaux.

Le temps de transmission de données est principalement fonction du temps que met la MOCNs à traiter les données

reçues et la quantité de données. La durée d'une communication commence avec le début de l'envoi de données et se termine avec le transfert de la dernière donnée dans la mémoire tampon de communication de la MOCNs. Si le nombre de données est suffisamment petit pour être tout emmagasiné dans la mémoire tampon du contrôleur de la MOCN, alors la communication s'effectue en moins d'une seconde. Cependant, l'envoi d'un long programme de commandes où le contrôleur de la MOCN est en mode DNC/RUBAN, cette communication peut durer des heures, soit le temps nécessaire à la MOCN pour exécuter les instructions reçues. Si les données reçues sont simplement mises dans la mémoire du contrôleur des MOCNs, alors la communication s'effectue en moins de 2 secondes, soit le temps nécessaire pour transférer les données dans la mémoire du contrôleur. La durée d'une communication devient donc une considération importante. Cette considération forcera souvent l'utilisation d'une procédure détachée et parallèle aux autres procédures que le contrôleur de cellule doit exécuter.

En résumé, une simple procédure Fortran est nécessaire pour effectuer l'envoie de données aux MOCNs puisque la gestion de la communication est principalement assurée par les autres éléments du réseau local. Le processus de communication a été expliqué en détail en vue d'en obtenir une vue d'ensemble et d'en comprendre le fonctionnement.

3.2.4.2 UPLOAD

Les conditions qui prévalent pour l'envoi de données par les contrôleurs de MOCN sont complètement différentes de celles pour la réception de données et posent quelques difficultés supplémentaires.

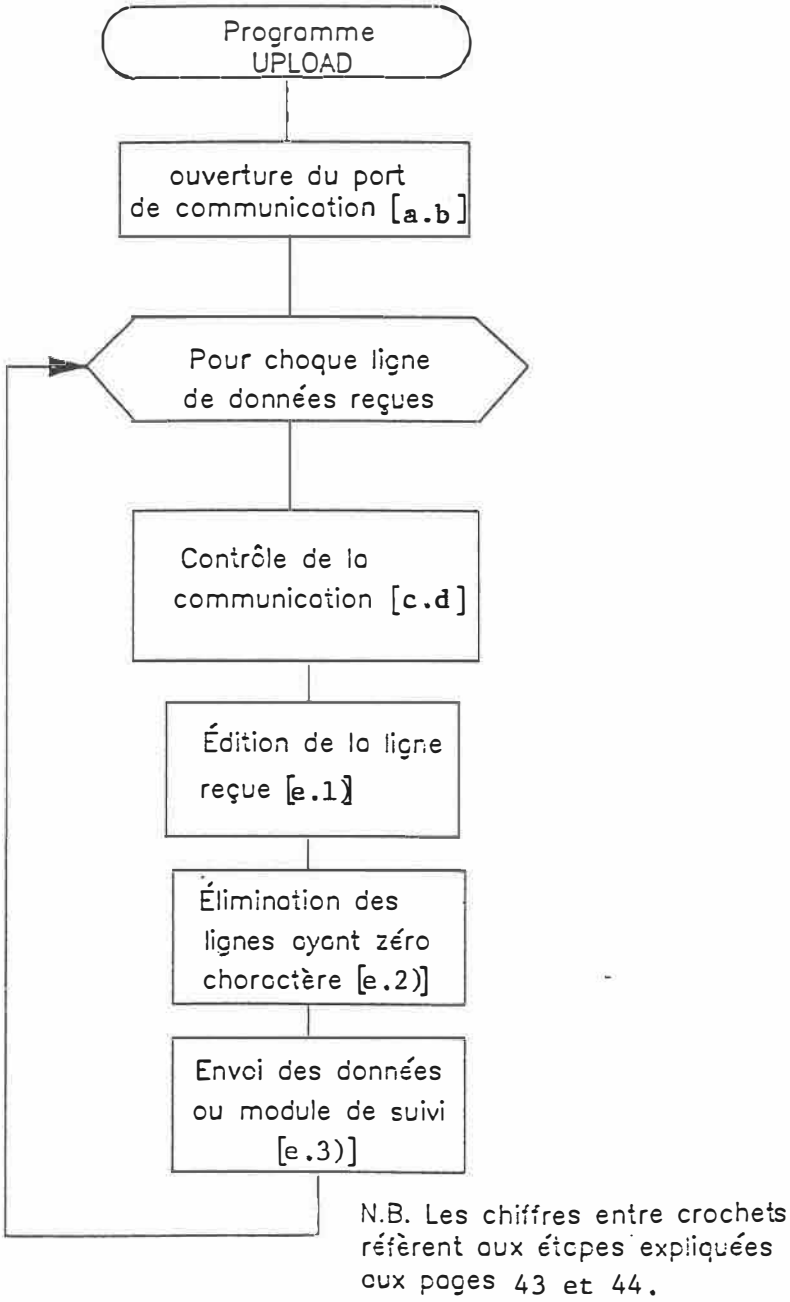
Premièrement, un contrôleur de MOCN qui envoie des données sur le réseau, ne peut fournir une adresse destination le serveur de terminaux pour lui indiquer où envoyer ces données. Le transfert de ces données s'arrête donc au serveur de terminaux faute d'adresse. De plus, les contrôleurs de MOCN n'acceptent pas les signaux envoyés par le serveur de terminaux pour contrôler le débit de la communication. Si aucune procédure est prévue pour retirer les données de la mémoire tampon de communication du serveur de terminaux à mesure qu'elles y arrivent, alors les données s'empilent dans cette mémoire tampon jusqu'à ce qu'il déborde. Finalement, le protocole de communication du Micro-Vax et des contrôleurs de MOCNs est légèrement différent. En effet, le protocole de communication des contrôleurs de MOCN a été développé pour interagir avec des lecteurs de ruban perforé.

Il fallait donc développer une nouvelle procédure capable de gérer ce type de communication en corrigeant ces

trois problèmes. Le Micro-Vax II est le seul élément du réseau capable de gérer ce type de communication. Le système d'exploitation de cet ordinateur (VMS) fournit plusieurs sous-routines de services qui sont très près du matériel informatique (langage de bas niveau), et qui peuvent accomplir des fonctions spécifiques et très sophistiquées (voir référence 53), spécialement pour le contrôle d'une communication en temps réel. Pour résoudre les trois difficultés décrites antérieurement, la procédure élaborée doit accomplir les tâches suivantes:

a. Retirer les données reçues à la mémoire tampon de communication à mesure qu'elles y arrivent;
b. Rendre compatibles les standards de communication entre le Micro-Vax et les contrôleurs de MOCNS.

La figure 3.3 illustre la structure logique de la procédure effectuant ce type de communication. L'annexe F de la référence 7 fournit aussi une copie détaillée et documentée de la programmation nécessaire pour accomplir ces deux tâches. Le langage de haut niveau FORTRAN est utilisé pour structurer les "sous-routines" de service du système VMS. Voici le fonctionnement général de cette procédure:



Organigramme du module de communication UPLOAD

Figure 3.3

a. Envoi d'une demande spécifique au service de gestion du réseau ETHERNET pour établir une connexion avec un port spécifique du serveur de terminaux;

b. Envoi d'une instruction au Micro-Vax pour qu'il associe un numéro logique au port concerné (équivalent à l'énoncé "OPEN" en Fortran pour l'ouverture d'un fichier);

c. Modification des protocoles de communication du Micro-Vax; le caractère ASCII "LF" signifient la fin d'une ligne (sauf le caractère 0);

d. Contrôle de la communication:

   1) La procédure est en écoute constante;
   2) Les données reçues par le serveur de terminaux sont retirées par programme principal, ligne par ligne, chacune pouvant contenir jusqu'à 512 caractères;
   3) Empêche l'écho des données reçues;
   4) Met fin aux communications après une période d'attente sans recevoir de données. Cette période d'attente peut varier de zéro à l'infini;

e. Édition des lignes de données:

1) Élimination des caractères "NULL" utilisés par les lecteurs de ruban pour espacer les programmes;

2) Élimination des lignes vides (i.e. ligne contenant aucun caractère). Ces lignes correspondent généralement à la réception d'un caractère de contrôle;

3) Envoi de ces données aux fonctions d'application du contrôleur de cellule.

En spécifiant un temps d'attente très élevé, cette procédure permet au contrôleur de cellule d'être à l'affût de données provenant des MOCNs en permanence. Cette procédure doit aussi connaître l'adresse du port du serveur de terminaux en vue d'établir la connexion avec l'élément désiré. Le contrôle des communications est automatisé; l'opérateur est éliminé et le tout est transparent à l'usager. Comme pour le cas du "DOWNLOAD" l'exécution de plusieurs de ces procédures en parallèle (une procédure dédiée à chaque élément de la cellule) permet d'intégrer toute la cellule au reste du réseau local.

Il est à noter que le Micro-Vax est assez puissant et rapide pour accepter des données des MOCNs à leur vitesse maximale (9600 bauds). D'ailleurs, en priorité interactive

(priorité très basse), il a été antérieurement prouvé que cette vitesse pouvait être triplée sans aucun problème.

3.3 Conclusion

La programmation et la configuration spécifiques des quatre éléments constituant le sous-réseau de communication de la cellule d'usinage (contrôleur de MOCNS, serveur de terminaux, réseau de communication "ETHERNET", Micro-Vax II) ont permis de relier et d'intégrer la cellule d'usinage au reste du réseau local de la section PAO. Sachant que le Micro-Vax peut exécuter plusieurs procédures en parallèle, tous les usagers du réseau local (fonctions d'application, équipement de la cellule, opérateur, etc.) peuvent communiquer ensemble et simultanément (deux procédures à chaque élément de la cellule, une pour le "UPLOAD" et l'autre pour le "DOWNLOAD"). Le contrôle des communications est automatisé et transparent à l'usager. Ce système de communication permet donc d'atteindre les objectifs et les critères d'un réseau local tel que définis à l'annexe B et les spécifications énoncées à la section 3.1.

CHAPITRE 4

Implantation de modules de suivi et de contrôle au contrôleur de cellule

4.1 Introduction

L'objectif principal de la deuxième partie du projet mené au CRIQ, consiste à développer des logiciels de contrôle et de suivi d'une cellule d'usinage, incluant des fonctions de gestion de données, d'interface à l'usager et de gestion de l'écran. Ces logiciels s'appliqueront au suivi et au contrôle d'un seul élément de la cellule d'usinage. En effet, il faut limiter l'étendue du projet tout en faisant ressortir et en validant un maximum de notions et de principes reliés à ces fonctions. Afin d'éviter de traiter des cas similaires et répétitifs, il est préférable d'identifier et de développer un modèle couvrant un maximum de notions et de principes différents. Ces logiciels pourraient servir de modèle générique pour le développement de fonction de contrôle et de suivi pour d'autres éléments de la cellule. Ainsi, ce modèle n'aurait qu'à être adapté pour qu'il devienne compatible avec d'autres applications similaires similaires (contrôle de robot, fraiseuse, PLC, etc.).

Pour ces raisons, c'est en relation avec l'unité fonctionnelle représentant le pire des cas (cas où un maximum de difficultés et notions doit être traités) que ces fonctions de contrôle et de suivi seront développées. Cette unité fonctionnelle est le tour à commandes numériques QS-30 de la cellule d'usinage (voir figures 2.4 et 2.6) . Son contrôleur n'est pas muni du mode de fonctionnement DNC/RUBAN qui permet d'exécuter les commandes à mesure qu'elles sont reçues par les interfaces de communication de la MOCN. Des fonctions de contrôle et de suivi devront être développées de façon à résoudre ce sérieux problème. Sans ce mode de fonctionnement, une MOCN ne peut pas être considérée fonctionnelle à l'intérieur d'un réseau local, puisqu'elle ne peut communiquer sans provoquer d'importantes contraintes à la réalisation d'un système intégré.

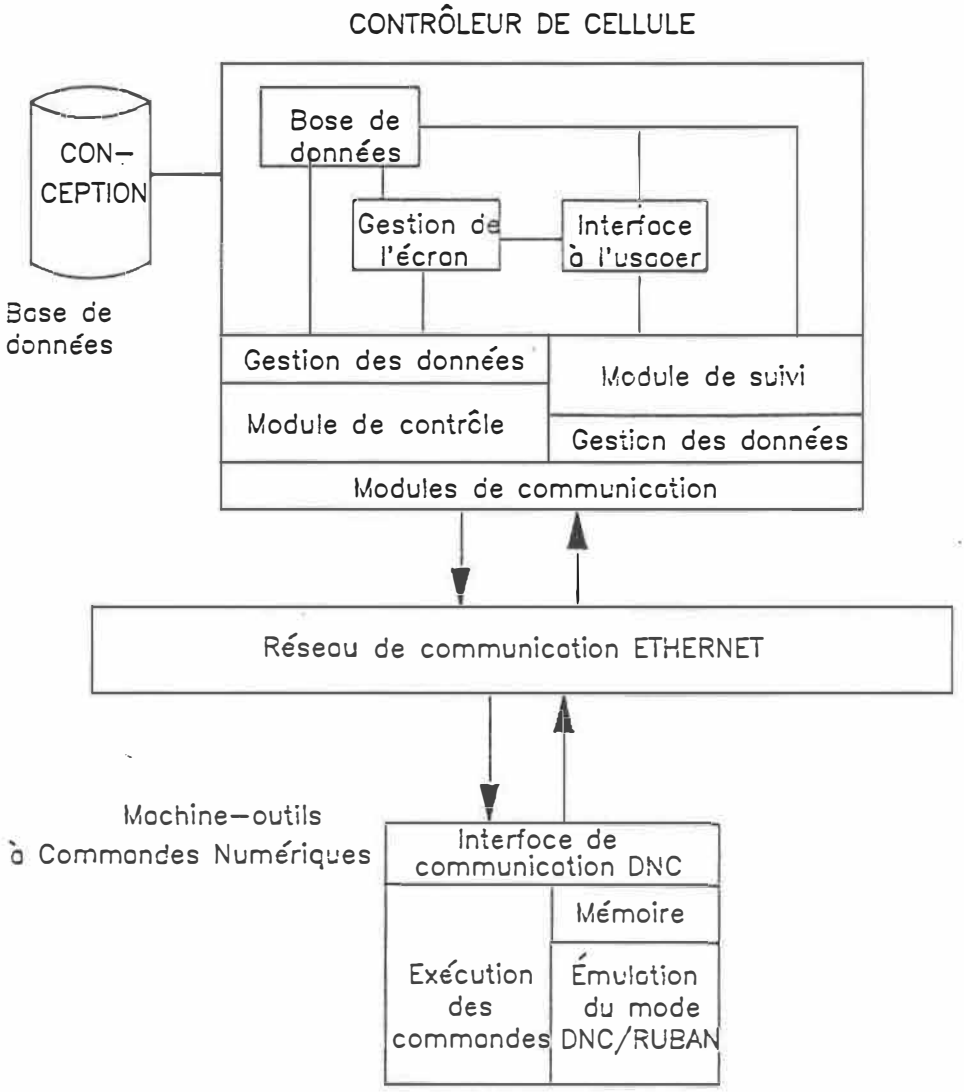
Ainsi une procédure, permettant d'émuler le mode DNC/RUBAN, doit d'abord être développée. Ensuite, plusieurs modules de logiciels seront implantés dans le contrôleur de cellule, afin de développer et de valider les fonctions suivantes:

a. Contrôle et suivi des unités fonctionnelles (en occurrence, le tour à commandes numériques);
b. Gestion des données;
c. Interface à l'usager;

d. Gestion de l'écran;

e. Système de communication.

La figure 4.1 illustre la structure globale des logiciels developpés et implantés dans le contrôleur de cellule et leur intégration au réseau local de l'atelier PAO.



Structure globale des logiciels développés

Figure 4.1

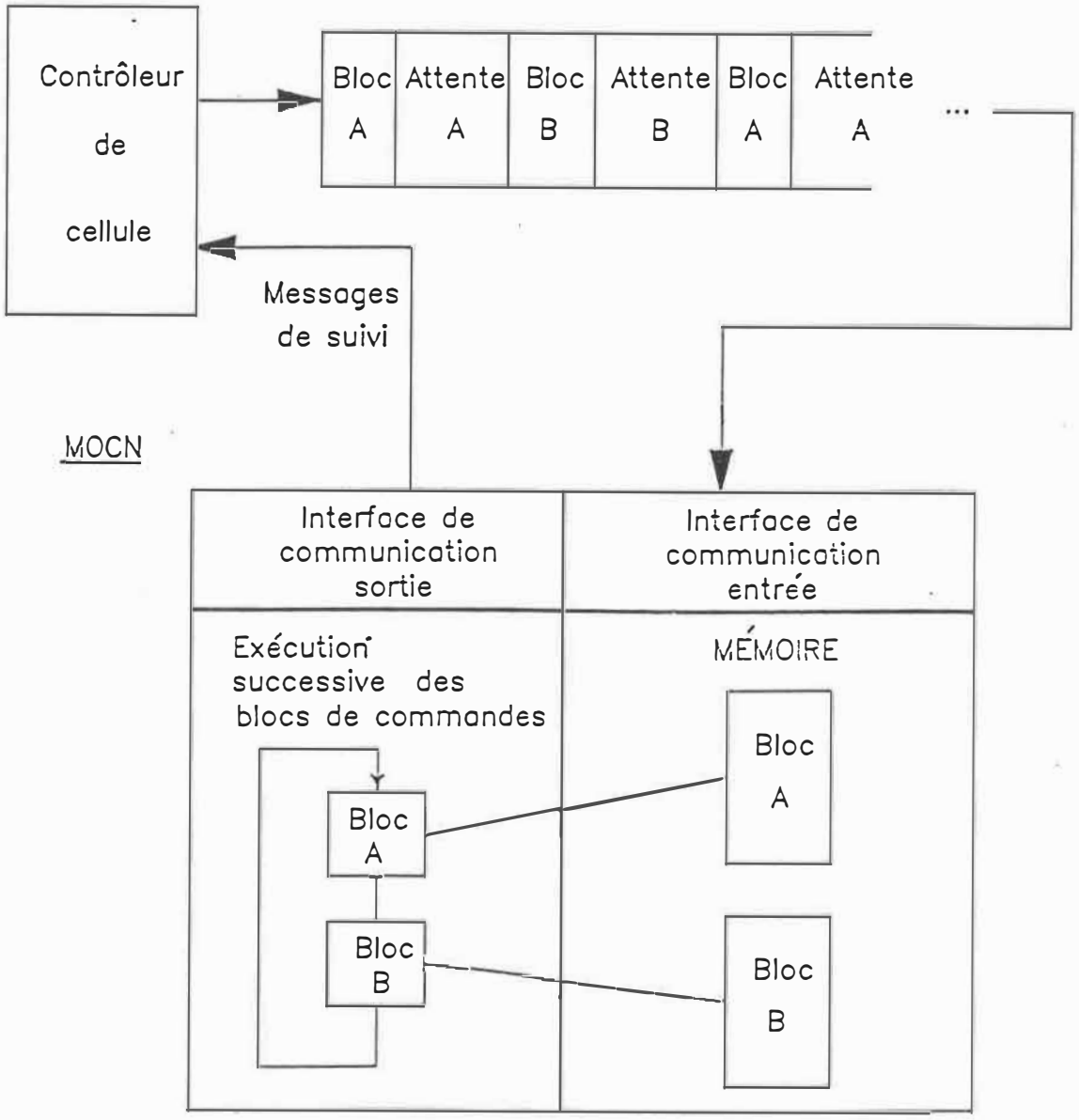
4.2 Émulation du mode DNC/RUBAN

Le tour à commandes numériques de la cellule d'usinage n'est pas conçu pour fonctionner en mode DNC/RUBAN (son contrôleur est privé de l'option "RUBAN"). L'émulation du mode DNC/RUBAN permet à ce type de contrôleur de fonctionner dans un mode similaire. La stratégie élaborée est relativement simple. Toutefois, elle exige la collaboration de tous les modules implantés au contrôleur de cellule, avec le contrôleur du tour. Pour bien comprendre le principe de fonctionnement de l'émulation du mode DNC/RUBAN, quelques explications supplémentaires sur le contrôleur FANUC série 11 TT du tour de la cellule doivent d'abord être fournies.

Le contrôleur du tour peut fonctionner selon 4 modes: manuel, mémoire, MDI et édition. Ces quatre modes sont expliqués au chapitre 2. De plus, ces modes sont supportés par plusieurs fonctions accessibles par le panneau de contrôle MDI (voir ref. [50]). Parmi ces quatre modes, un seul peut exécuter une série de commandes automatiquement. Il s'agit évidemment du mode mémoire. Une série de commandes (langage de programmation du contrôleur) doit être emmagasinée dans la mémoire du contrôleur du tour, dans un fichier auquel correspond un numéro (1 à 9999). Il suffit de sélectionner le numéro du programme voulu et débuter son

exécution en appuyant sur la touche "départ des opérations" (cycle start). Cette procédure exige donc que le programme soit déjà en mémoire et qu'un opérateur appuie sur plusieurs touches du panneau de contrôle du tour afin de sélectionner le programme en mémoire et d'enclencher les opérations. L'émulation du mode DNC/RUBAN est en quelque sorte une automatisation transparente à l'usager de cette procédure, qui permet d'exécuter les données envoyées à partir du contrôleur de cellule à mesure qu'elles arrivent au contrôleur de la MOCN.

Le contrôleur de la MOCN est en mode mémoire et exécute un programme qui appelle et exécute séquentiellement quatre fichiers de commandes qui sont déjà dans la mémoire de la MOCN (voir figure 4.2). Ces quatre programmes sont regroupés selon deux blocs similaires. Le premier programme de ces blocs contient des instructions pour le contrôle de l'éxécution des commandes. Le deuxième programme contient les commandes que le contrôleur de la MOCN doit exécuter. Pendant qu'un de ces blocs est exécuté, l'autre bloc est renouvellé (effacer puis remplacer) par le contrôleur de cellule avec de nouvelles commandes. A la limite un bloc peut contenir une seule instruction de commande numérique. Ainsi, cette stratégie permet d'exécuter les commandes envoyées par le contrôleur de cellule à mesure qu'elles arrivent au contrôleur de la MOCN. Elles sont temporaire-



Attente "x": Attente pour la fin d'exécution du bloc "x".

Principe de fonctionnement de l'émulation du mode DNC/RUBAN

Figure 4.2

ment emmagasinées dans un fichier, pour ensuite être appelées par le programme principal qui est toujours en exécution. Cette procédure offre un mode de fonctionnement similaire au mode DNC/RUBAN. C'est pour cette raison que ce mode a été appelé "ÉMULATION DU MODE DNC/RUBAN". Ce mode de fonctionnement évolue dans cinq états différents:

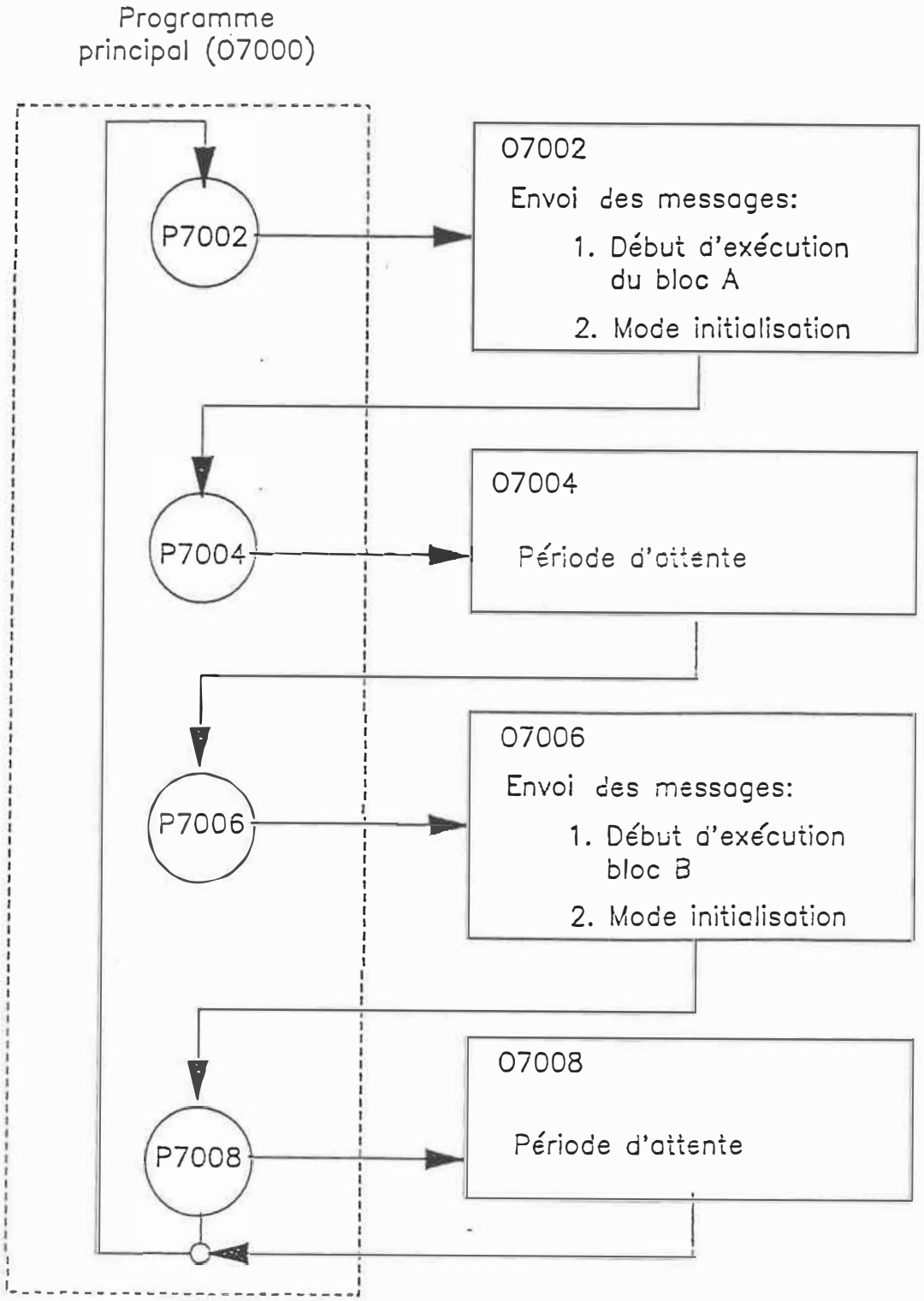
a. Initialisation;
b. Opération;
c. Innocupé;
d. Suivi sollicité;
e. Alarme.

Pour amorcer et rendre transparent ce mode de fonctionnement, plusieurs facteurs associés à chacun de ces états doivent être considérés. La programmation, la configuration et l'initialisation du contrôleur de la MOCN, le format des données envoyées, les procédures de renouvellement d'un bloc de commande, la programmation du contrôleur de cellule ,etc., sont autant de considération qui valent une explication.

4.2.1 Etat "initialisation"

L'état "initialisation" fait suite à une série de procédures nécessaires pour préparer le contrôleur de la MOCN, afin qu'il puisse opérer en mode émulation DNC/RUBAN. Cette étape est généralement conduite lors d'une remise sous tension de la MOCN ou lors de sa réintégration au réseau local après avoir servi pour d'autre tâche.

La première étape consiste à s'assurer que le programme principal (programme no 7000) et que les quatre autres programmes d'initialisation (programme no 7002, 7004, 7006, 7008) sont en mémoire du contrôleur de la MOCN. L'annexe "M" de la référence 7 fournit un listage de ces cinq programmes. Le contrôleur de la MOCN est alors mis en mode "MEMOIRE" et le programme principal est mis en exécution. Ce programme appelle successivement les programmes 7002, 7004, 7006, 7006, 7002, 7004, etc. et les exécute séquentiellement (voir figure 4.3). Ces quatre programmes ne font que placer le contrôleur de la MOCN dans des périodes d'attente successives. Aussi, les deux programmes de contrôles (No 7002 et 7006) envoient au contrôleur de cellule différents messages de suivi; message indiquant le début de l'exécution d'un bloc (A ou B) et l'état du mode (initialisation). Cette procédure se répète jusqu'à ce qu'un des



Organigramme fonctionnel de l'état initialisation
Figure 4.3

deux blocs soit remplacé par un bloc de commandes différent.

Le contrôleur de la MOCN doit donc effectuer la lecture des programmes de commandes envoyés par le contrôleur de cellules et les stocker dans le fichier approprié (7002, 7004, 7006 ou 7008). Ces fonctions doivent être accomplies en parallèle avec l'exécution du programme principal.

D'abord, le programme principal doit être mis en édition d'arrière plan (AP) (Background Edit). Ceci permet d'éditer un autre programme pendant que le programme principal est exécuté. Par exemple, les programmes 7002 et 7004 peuvent être modifiés pendant que les programmes 7006 et 7008 sont exécutés. Finalement, le mode DNC (la lecture à l'interface de communication dédié au "download") doit être activé. Cette étape est conduite en parallèle après la mise en exécution du programme principal à l'aide des touches du panneau de contrôle MDI.

Suite à ces procédures, le mode de fonctionnement final du contrôleur de la MOCN effectue la lecture de programmes de commandes à l'interface de communication et remplace un des blocs de commandes par ces nouveaux programmes pendant que l'autre bloc de commandes est exécuté. Ce mode de fonctionnement du contrôleur de la MOCN est représenté par

l'expression DNC/MEMOIRE (AP). Il est important de noter que seules les touches sur le panneau de contrôle MDI permettent de configurer les contrôleurs de MOCN en mode DNC/MEMOIRE (AP) ce qui implique la présence d'un opérateur. Néanmoins, cette procédure d'initialisation est nécessaire seulement dans les cas où la sécurité exige la présence d'un opérateur (mise sous-tension de la MOCN, intégration de la MOCN au réseau local).

4.2.2 Format des blocs de commandes

Le format de ces blocs est très rigoureux. Chaque instruction doit être écrite dans le langage du contrôleur de la MOCN. Ce langage est compatible avec toutes les commandes numériques (code G, M, T, O, etc), des instructions "if then" et "do while" et quelques autres instructions spécifiques (voir chapitre 2).

Tout envoi d'instructions au contrôleur de la MOCN doit être accompli par l'envoi d'un bloc de commandes au complet. Ce bloc vient remplacer un des deux blocs déjà en mémoire.

Ces blocs sont formés de deux programmes différents:

a. Programmes de contrôle (7002 et 7006);

b. Programmes de commandes (7004 et 7008);

Le programme de contrôles accompli les tâches suivantes:

a. Envoi de messages de suivi:

1) Début de l'exécution du bloc sur la MOCN;

2) Mode de la MOCN;

b. Génération d'une période d'attente au besoin, pour la synchronisation de la communication (voir section 4.2.3);

c. Empêche l'exécution de son programme de commandes si le bloc n'est pas renouvelé.

Le programme de commandes contient les instructions suivantes:

a. Commandes numériques à exécuter;

b. Messages de suivi indiquant au contrôleur de cellule l'instruction en cours;

c. Génération d'une période d'attente au besoin, pour la synchronization de la communication (voir section 4.2.3).

L'instruction numérique "O" suivie du numéro du programme indique au contrôleur de la MOCN sous quel numéro de programme la série d'instructions suivant cet énoncé devra être emmagasinée. Cette commande ferme tous les fichiers restés ouverts, et ouvre un nouveau fichier correspondant au numéro suivant l'instruction numérique "O". Après l'envoi du bloc de commandes, il est essentiel d'ajouter la commande "O7777" pour terminer et fermer le dernier fichier

envoyé et le rendre libre pour l'exécution. Noter que le programme 7777 n'est jamais exécuté et ne contient aucune donnée. Il permet tout simplement de libérer le dernier programme du mode d'édition en prenant sa place.

4.2.3 Synchronisation pour l'envoi de blocs de commandes

L'envoi des blocs de commandes doit être synchronisé avec leur exécution sur le contrôleur de la MOCN. Il est impossible d'éditer un programme en exécution. Voilà ce qui justifie la nécessité d'avoir deux blocs à l'intérieur du programme principal. Pendant qu'un de ces blocs est exécuté, le contrôleur de cellule en profite pour changer l'autre bloc. Le contrôleur de la MOCN doit donc envoyer un message au contrôleur de cellule pour lui indiquer qu'un bloc particulier peut être envoyé. Il doit aussi s'assurer que le temps d'exécution de l'autre bloc est assez long pour avoir le temps de transférer le nouveau bloc de commande. Une période d'au moins deux secondes doit être prévue pour donner au système le temps de compléter les opérations suivantes:

a. Le programme de contrôle du bloc en exécution envoie un message indiquant le début de son exécution;
b. Le contrôleur de cellule reçoit ce signal à travers

le réseau de communication;

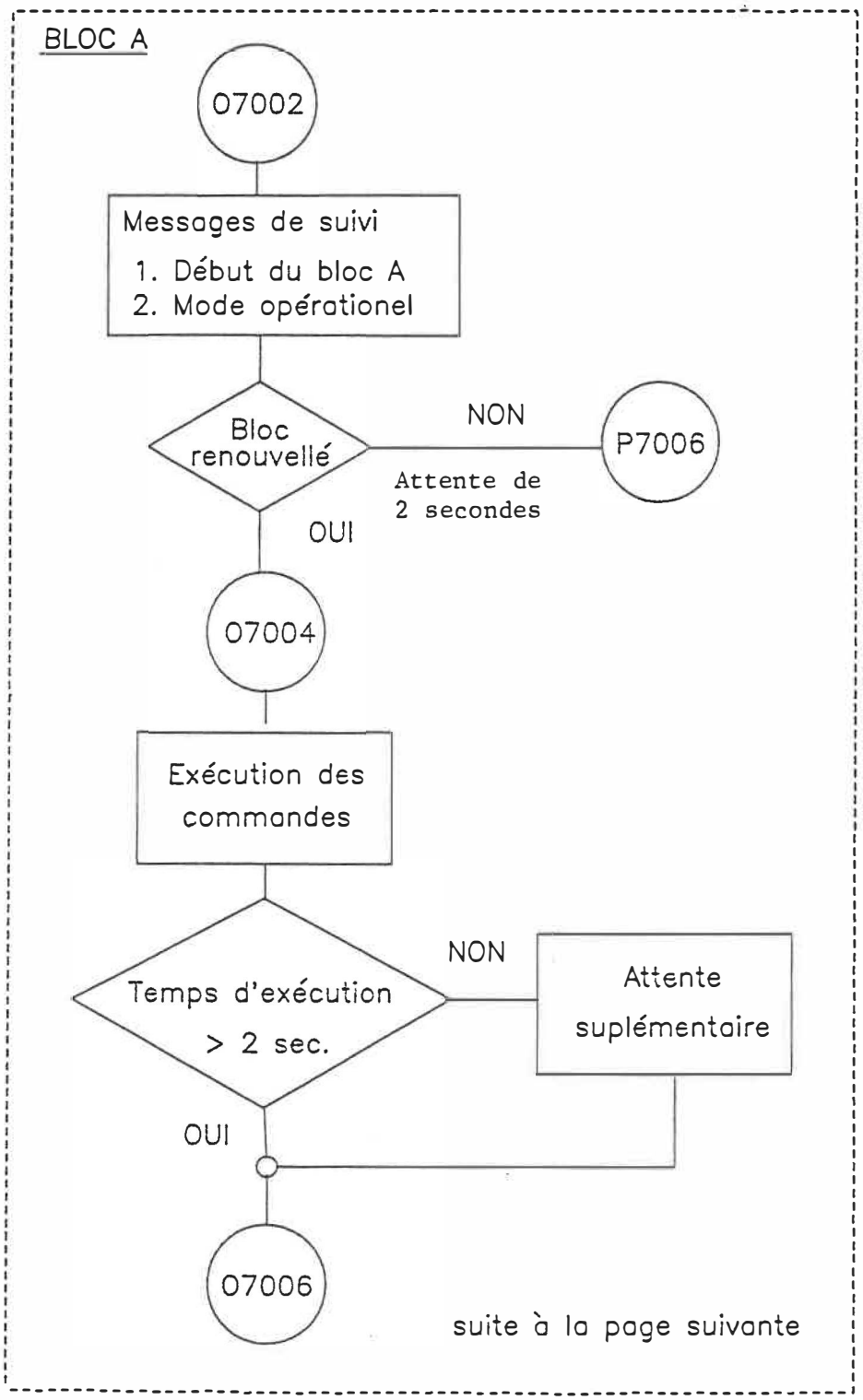
c. Le contrôleur de cellule envoie un bloc de commandes approprié à travers ce même réseau;

d. Le contrôleur de la MOCN remplace l'ancien bloc de commande par celui reçu.

Si le bloc en exécution se termine avant deux secondes, une période d'attente supplémentaire est alors générée à l'aide de la commande numérique G04. Ceci explique les périodes d'attente imbriquées à l'intérieur des programmes d'initialisation et à la fin d'un programme de commandes.

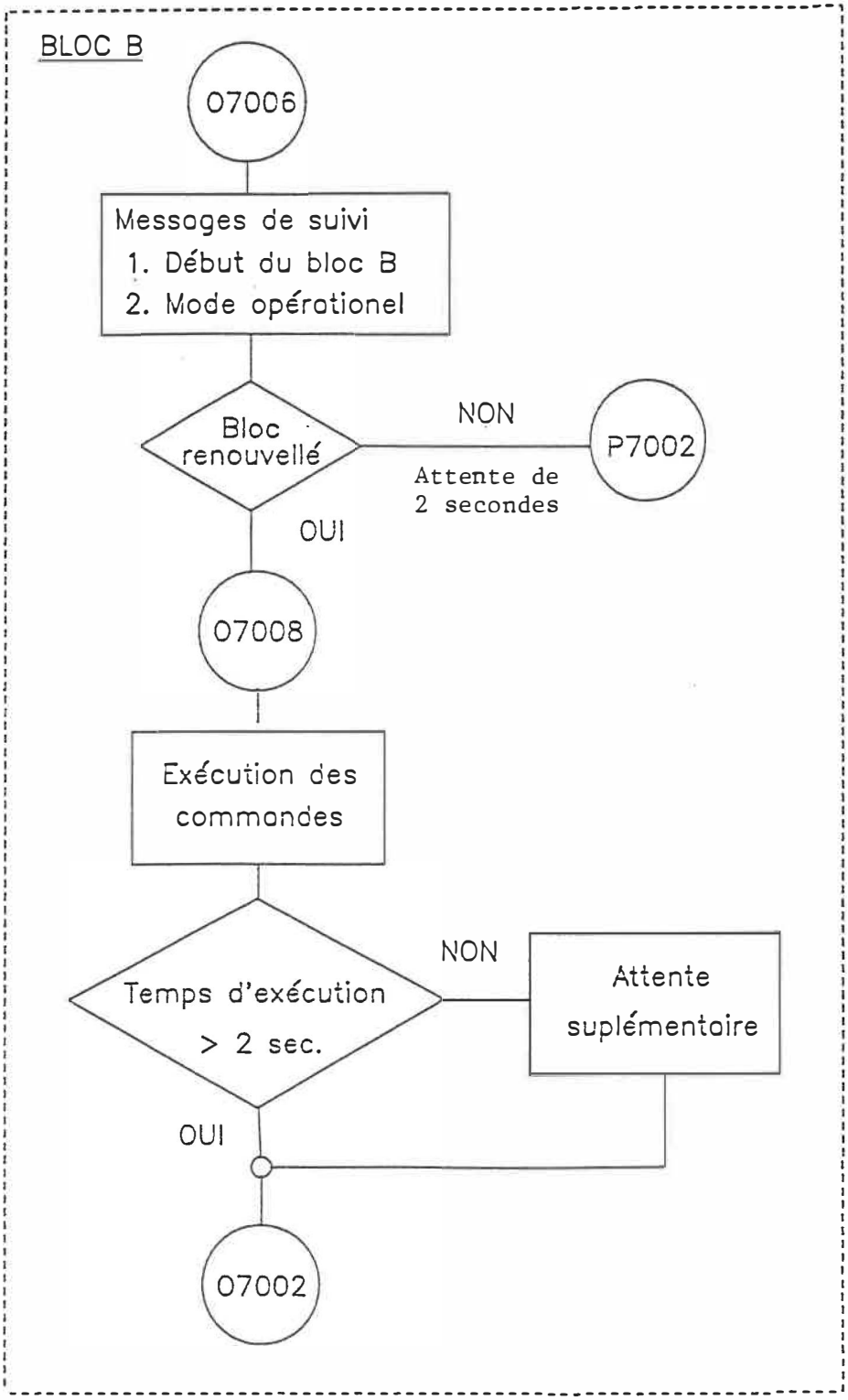
4.2.4 Etat opérationnel

Après que le processus d'initialisation est complété, des commandes peuvent être envoyées à la MOCN. La MOCN concernée passe alors en état opérationnel et exécute les commandes reçues. Ces commandes numériques sont insérées à l'intérieur des programmes de commande 7004 et 7006. L'annexe E de la référence 7 montre un exemple de blocs de commandes dans lesquels des commandes ont été insérées. La figure 4.4 montre un organigramme qui décrit les principes de fonctionnement de l'état OPERATIONNEL.



Organigramme de l'état OPERATIONNEL

Figure 4.4


BLOC B
07006
Messages de suivi
1. Début du bloc B
2. Mode opérationel
Bloc renouvellé
NON
P7002
Attente de 2 secondes
OUI
07008
Exécution des commandes
Temps d'exécution > 2 sec.
NON
Attente suplémentaire
OUI
07002

Les programmes de contrôles (7002 et 7004) envoient des messages de suivi: début de l'exécution du bloc et l'état de la MOCN (opérationnel). Ces programmes effectuent aussi une vérification pour éviter qu'une même série d'instructions (contenues dans les programmes 7004 et 7008) soit exécutée deux fois, en cas de non-renouvellement du bloc de commandes par le contrôleur de cellule . Si le bloc n'a pas été renouvelé, le programme de contrôle de ce bloc empêche l'exécution de son programme de commandes. Le contrôle est alors passé au prochain bloc. Pour ce faire, une variable est incrémentée après que le programme de commandes ait été exécuté. Si le bloc n'est pas renouvelé alors une condition vérifiant cette variable n'est pas validée et le programme de contrôle sait qu'il doit empêcher l'exécution de son programme de commande. Noter qu'une période d'attente doit être prévue à l'intérieur de programme de contrôle pour que le temps d'exécution du bloc non-renouvelé ne soit pas inférieur à 2 secondes. Lorsque le bloc est renouvelé, la condition associée à cette variable est changée et devient vraie. Le programme de contrôle permet alors l'exécution de son programme de commandes.

4.2.5 Etat "innoccupé"

Lorsqu'il n'y a plus de commandes à envoyer, le contrô-

leur de la MOCN passe à l'état "innoccupé". Les blocs de commandes de l'état opérationnel sont simplement changés par les deux blocs spécialement conçus pour cet état. L'annexe N de la référence 7 montre un listage de ces deux blocs. Ces blocs sont pratiquement identiques à ceux de l'état initialisation. En effet, ils doivent accomplir les mêmes fonctions soit attendre et synchroniser l'arrivée de nouveau bloc de commandes. Seul le message qui indique l'état de la MOCN diffère.

4.2.6 Etat suivi sollicité

L'envoi d'une demande de suivi sollicité par le contrôleur de cellule peut être effectué à n'importe quel moment. La procédure est identique à celle de l'état opérationnel. Les commandes numériques sont simplement remplacées par des instructions de suivi tel "DPRNT". Les annexes O et P de la référence 7 fournissent un listage de deux blocs de commandes qui permettent au contrôleur de cellule de recevoir des données sur les compensations des outils et sur les temps d'opération de la MOCN.

4.2.7 Etat alarme

Les contrôleurs des MOCNs peuvent être mis en alarme à n'importe quel moment (commandes numériques). Ainsi, lorsque cette instruction est utilisée, un message indiquant le type d'alarme est envoyé au contrôleur de cellule avant que l'alarme soit activée. Cette instruction d'alarme doit donc être insérée à l'intérieur des "custum macros" ou à l'intérieur des programmes même après une instruction de suivi. Lorsque la MOCN est en alarme elle doit être réinitialisée.

4.3 Description des logiciels du contrôleur de cellules

Les logiciels développés et implantés dans le contrôleur de cellule permettent d'effectuer des fonctions de contrôle et de suivi d'une MOCN. Ces MOCNs sont munies d'un contrôleur à commandes numériques type Fanuc série 11 TT. Ce contrôleur à la particularité d'être dépourvu du mode de fonctionnement DNC/RUBAN. Ces modules de logiciel sont donc compatibles avec le mode de fonctionnement "émulation du mode DNC/RUBAN" qui permet de compenser cette lacune des contrôleurs FANUC série 11 TT. Cette considération demeure transparente aux applications (gestion d'outil, contrôle d'un horaire de production, etc) devant

solliciter les services de ces modules.

Pour accomplir ces fontions de contrôle et suivi du tour à commandes numériques; cinq différents modules ont dû être développés:

a. Contrôle d'une MOCN;
b. Suivi d'une MOCN;
c. Interface à l'usager;
d. Gestion de l'écran;
e. Gestion des données.

Le contrôleur de cellule doit exécuter plusieurs de ces fonctions en parallèle . Parmi les cinq modules implantés, les trois premiers de cette liste doivent être constamment en service. Ainsi, des procédures associées à chacun de ces modules seront développées et traitées en parallèle par le contrôleur de cellule. Les modules de gestion de l'écran et des données viendront supporter ces trois procédures.

4.3.1 Modules de gestion de données

Le module de gestion de données accomplit essentiellement deux tâches; il prépare et organise les instructions

qui doivent être envoyées aux MOCNs de la cellule et interprète les données envoyées par les MOCNs au contrôleur de cellule.

La préparation et l'organisation des instructions envoyées aux MOCNs consistent à les disposer dans un format compatible au mode de fonctionnement de la MOCN "émulation du mode DNC/RUBAN". Ce format a été décrit à la section 4.2.2. Par surcroît, ce module insère des instructions de suivi non-sollicité pour répondre aux besoins des fonctions de contrôle et de suivi du contrôleur de cellule. Une de ces instructions de suivi non-sollicité permet de suivre l'évolution du programme de commandes en envoyant au contrôleur de cellule le numéro de la ligne en exécution. Ces instructions de suivi sont intercalées à des endroits stratégiques.

En effet, il y a plusieurs cas où deux commandes numériques ne peuvent être séparées par ces instructions de suivi: commandes à l'intérieur d'une boucle, commandes décrivant un seul mouvement continu (si séparées, une marque d'outil peut rester imprégnée sur la pièce).

La stratégie pour insérer ces instructions de suivi consiste non pas à identifier où elles ne peuvent pas être insérées mais plutôt où elles peuvent être insérées.

L'endroit le plus propice suit une instruction de mouvement rapide de l'outil (commandes numériques G00). Après un mouvement rapide des axes, l'outil n'est jamais en contact avec la pièce usinée, et ces instructions sont rarement retrouvées à l'intérieur d'une boucle (le concepteur du programme devra éviter cette pratique). Aussi, la commande "G00" se répète fréquemment et périodiquement à l'intérieur d'un programme. Ces données de suivi non-sollicité sont donc constantes et fréquentes contribuant ainsi à un suivi plus rigoureux du programme en exécution.

L'annexe D de la référence 7 fournit un listage du programme qui accomplit cette tâche. Ce programme lit une suite de commandes numériques, divise celle-ci en blocs compatibles avec le format décrit à la section 4.2.2 et insère des instructions de suivi. Chacun de ces blocs contient un programme de contrôle qui inclut différentes instructions de suivi non-sollicité (début de l'exécution du bloc, état de la MOCN) et un programme de commandes qui contient les commandes numériques et les instructions de suivi pour suivre l'évolution du programme.

La division du programme en blocs de commandes est aussi faite après une commande de mouvement rapide et après un minimum de quinze commandes numériques. La taille de ces blocs est ainsi gardée suffisamment petite pour ne pas

excéder la capacité de la mémoire du contrôleur du tour (32 Kbyte). L'annexe E de la référence 7 montre un programme de commandes à son état original, puis les différents blocs de commandes obtenus après qu'il ait été traité par ce logiciel. Ces blocs de commandes sont temporairement emmagasinés dans des fichiers sur le contrôleur de cellule pour être ensuite utilisés par le module de contrôle des MOCNs.

Le deuxième sous-module est en fait l'application d'un protocole de communication entre la MOCN et le contrôleur de cellule. L'annexe Q de la référence 7 décrit ce protocole de communication. Ce sous-module interprète les messages reçus selon ce protocole pour ensuite être traités adéquatement par le module de suivi. Ce sous-module est intercalé dans le module du suivi des MOCNs.

4.3.2 Module de gestion de l'écran

Ce module affiche à l'écran diverses données de suivi de la MOCN et présente une interface à opérateur de cellule pour qu'il puisse entrer ses commandes. L'écran est partagé entre deux modules: suivi des MOCNs et interfaces aux usagers. La figure 4.5 illustre le format de l'écran. Un listage des sous-routines responsables de la gestion de l'écran est fourni à l'annexe H de la référence 7.

SUIVI DE L'UNITE FONCTIONNELLE

Date: 00/00/00
Heure: 12:00

SUIVI

Tâche en cours: Nom de la tâche

Unité fonctionnelle: Tour/fraiseuse

Mode Fonctionnel: Initialisation/innoccupé/suivi sollicité/en opération/alarme

Etat de la tâche: % complétée

INTERFACE A L'USAGER

1. Entrer d'une nouvelle tâche
2. Suivi sollicité
3. Interruption des opérations

Message: (Feedback aux commandes)

Figure 4.5

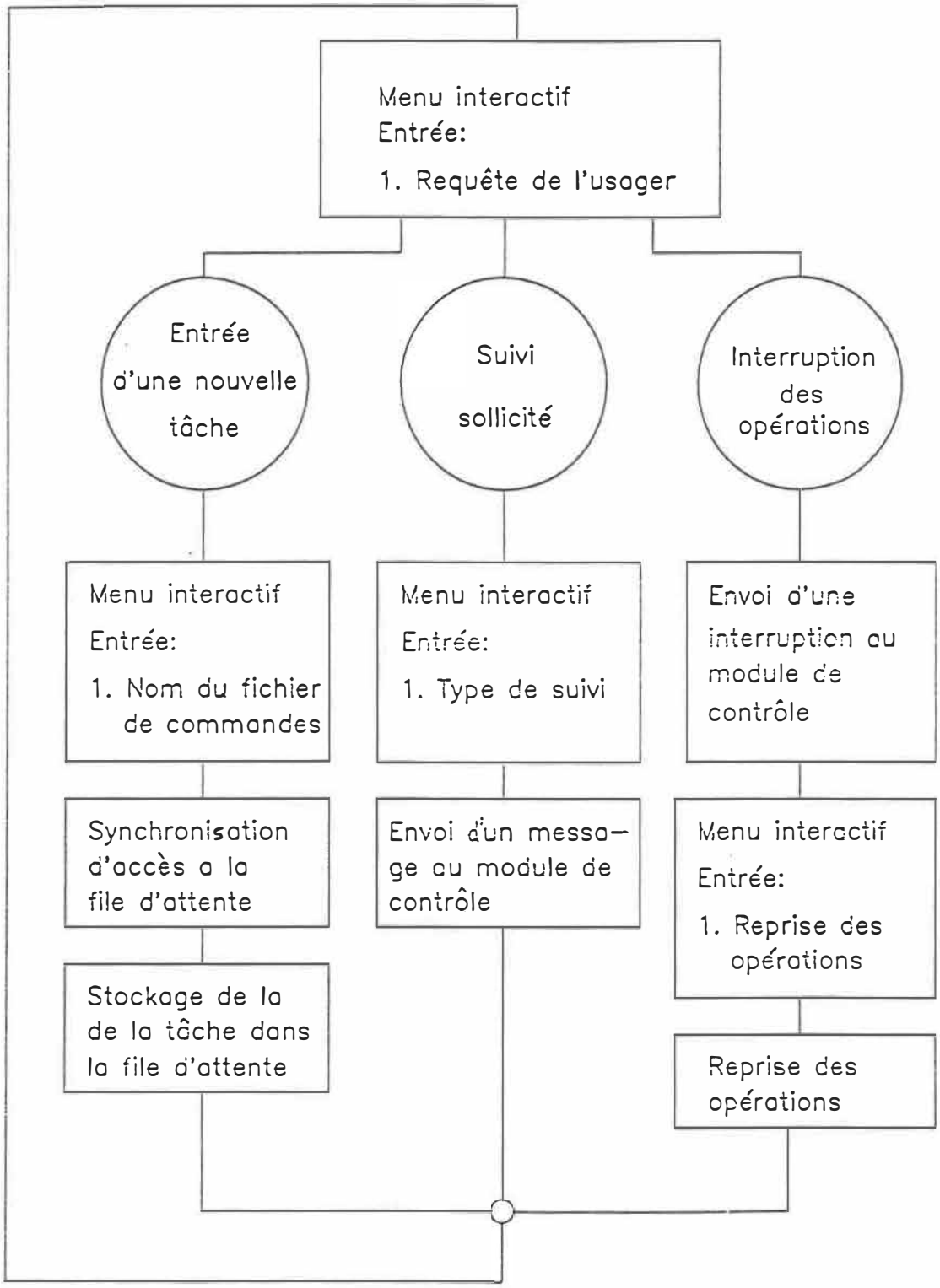
Format de l'écran du contrôleur de cellule

4.3.3 Module d'interface à l'usager:

Le module d'interface à l'usager accepte les requêtes de l'usager et les transmet au module de contrôle des MOCNs pour qu'ils puissent leur donner suite. L'organigramme illustré à la figure 4.6 montre la structure logique de ce logiciel. Ce module a plusieurs limitations. Les usagers sont restreints à l'opérateur du contrôleur de cellule. Outre les modules décrits dans ce chapitre, aucune application a été développée et implantée dans le contrôleur de cellule. C'est pourquoi les usagers se limitent à l'opérateur de cellule. Aussi, les requêtes de l'opération se limitent à trois options:

a. Entrée d'une nouvelle tâche;
b. Suivi sollicité;
c. Interruption des opérations.

L'option "entrée d'une nouvelle tâche" permet à l'opérateur d'entrer le nom d'un fichier de commandes qui est ensuite mis en file d'attente. Lorsque la MOCN est libre, le module de contrôle de MOCN va lire cette file d'attente et exécute le premier programme arrivé (premier arrivé, premier servi). Cette file d'attente est contenue dans un fichier. Un module de planification manufacturier peut donc être facilement ajouté au contrôleur de cellule



Organigramme du module d'interface à l'usager

Figure 4.6

pour modifier cette file d'attente et optimiser la production. Il est important de noter que l'accès à ce fichier est asynchrone. Un système de gestion pour l'accès à cette file d'attente doit être élaboré pour éviter les conflits.

L'option "suivi sollicité" permet à l'usager de recevoir n'importe quelles données que le contrôleur de la MOCN peut générer (voir chapitre 2). Pour l'instant seul les temps d'opération de la MOCN et les compensations d'outils peuvent être demandés. Cependant cette liste peut être facilement allongée. Ces deux types de suivi peuvent être très pertinents pour les modules de gestion des outils et de maintenance des MOCNs.

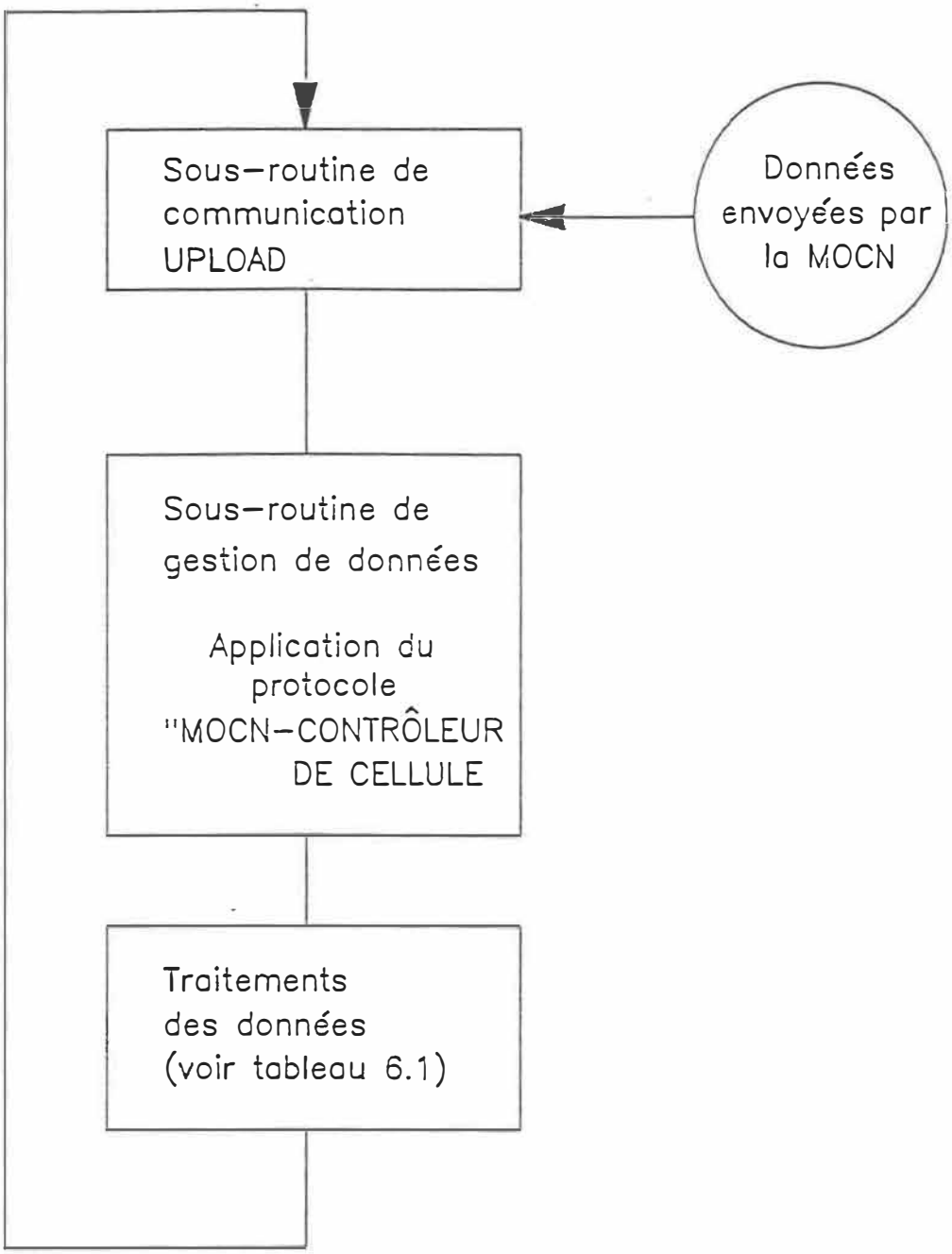
Finalement, l'option interruption des opérations permet simplement l'arrêt momentané de l'envoi d'instructions aux MOCNs. La reprise des opérations est facilement rétablie par l'entrée d'une commande par l'usager.

L'annexe C de la référence 7 fournit un listage documenté de la programmation nécessaire pour accomplir les fonctions du module d'interface à l'usager. La communication avec le module de contrôle de MOCN en vue d'acheminer les requêtes est effectuée à l'aide de drapeau. Lorsqu'un drapeau particulier est levé, le module de contrôle le reconnaît et répond à la requête de l'usager.

4.3.4 Suivi des MOCNs

Le module de suivi des MOCNs gère les données en provenance des MOCNs. L'organigramme illustré à la figure 4.7 montre la structure logique de ce module. Ce module est supporté par le module de communication "upload" (voir section 3.3.4.2), par le sous-module de gestion des données envoyées par la MOCN (voir section 4.3.1) et par le module de gestion de l'écran (voir section 4.3.2). Ces données peuvent provenir d'instructions de suivi sollicité ou non sollicité. Chacune des données est ensuite traitée adéquatement.

Les données sont d'abord identifiées et catégorisées à l'aide du protocole de communication entre la MOCN et le contrôleur de cellule. Dès lors, le module de suivi des MOCNs sait quel type de traitement chacune de ces données doit subir. Le tableau 4.1 montre toutes les données qui sont susceptibles d'être reçues par ce module et la procédure de traitement associée à chacune de ces données. L'annexe Q de la référence 7 liste le protocole définissant ces données. L'annexe B de la référence 7 fournit un listage documenté de ce module et des modules de soutien nécessaires pour accomplir ces tâches.



Organigramme du module de suivi d'une MOCN

Figure 4.7

Données reçues	Traitement effectué
ATTENTE 1	Lève un drapeau commun pour synchroniser l'envoi de bloc de commandes par le module de contrôle des MOCNs. Lorsque ce drapeau est levé le mode de contrôle peut envoyer le bloc 1.
ATTENTE 2	Même chose que "ATTENTE 1" mais appliqué au bloc de commande 2.
MODE 0	AFFICHE l'état fonctionnel "INITIALISATION" à l'écran.
MODE 1	AFFICHE l'état fonctionnel "OPÉRATIONNEL" à l'écran.
MODE 2	AFFICHE l'état fonctionnel "INNOCUPÉ" à l'écran.
MODE 3	AFFICHE l'état fonctionnel "ALARME" à l'écran.
MODE 4	AFFICHE l'état fonctionnel "SUIVI SOLLICITÉ" à l'écran.
SÉQUENCE	AFFICHE à l'écran le pourcentage du programme en cours qui a été complété.
DEVICE	AFFICHE à l'écran l'unité fonctionnel qui est relié au module de contrôle et de suivi.
CLOCK	Écrit les temps d'opération de la MOCN dans un fichier sur le contrôleur de cellule.
OFFSET	Écit les compensations d'outils de la MOCN dans un fichier sur le contrôleur de cellule.

Tableau 4.1

Traitement de données de suivi

4.3.5 Module de contrôle d'une MOCN

Le module de contrôle d'une MOCN orchestre l'exécution d'une tâche (programmes de commandes numériques) en relation avec les différentes requêtes des usagers et l'état de la cellule. La communication revêt un caractère très important et doit être gérée à l'aide de drapeaux puisqu'elle est asynchrone.

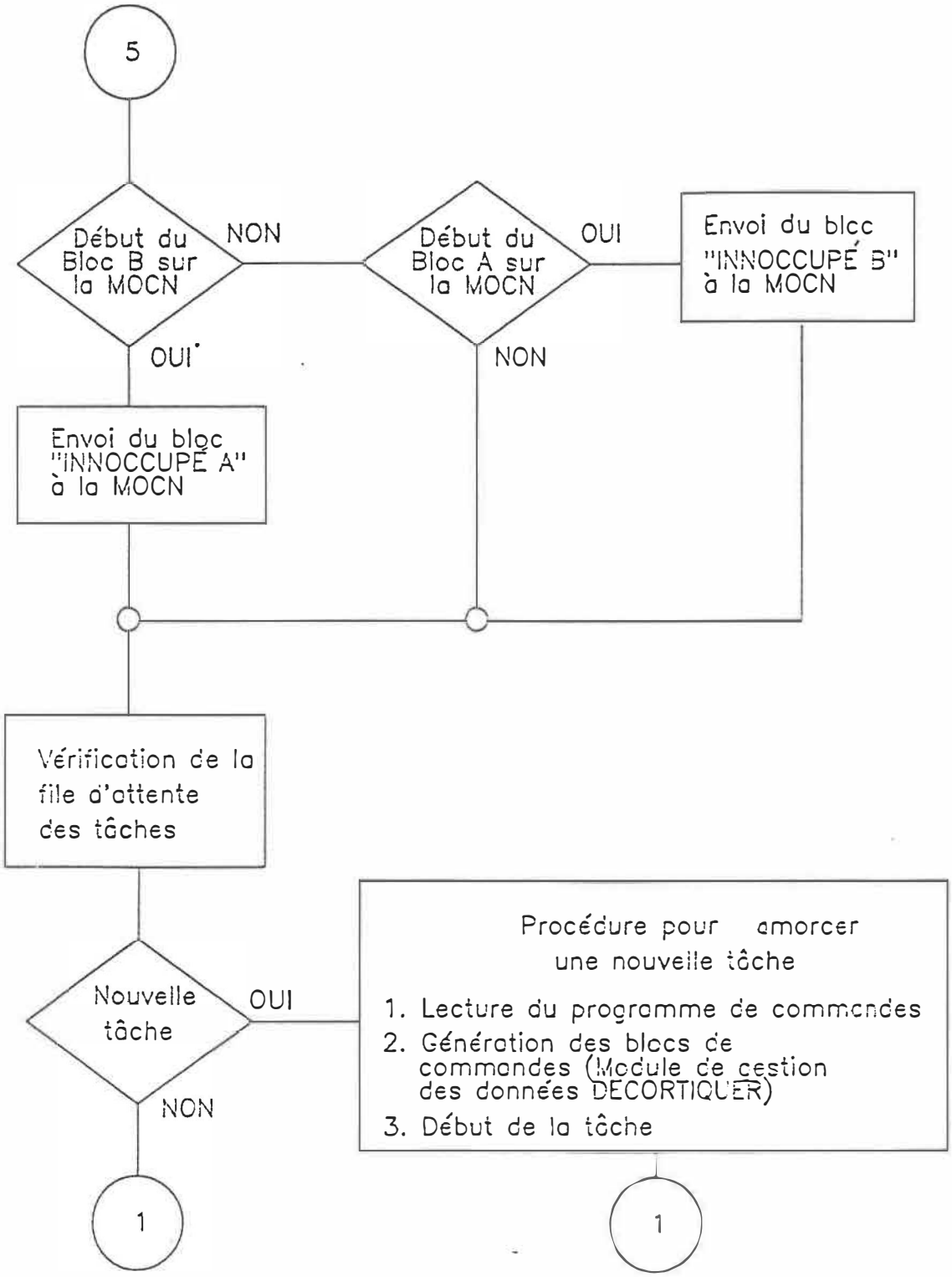
Puisque les échanges de données entre le module de suivi, le module d'interface aux usagers et le module de contrôle sont relativement simples, il est, dans le cadre de ce projet, inutile d'élaborer un système de communication interprocédures très complexe. Les communications interprocédures (entre les modules de logiciel du contrôleur de cellule) utilisent les noms logiques et l'état des drapeaux pour échanger de l'information. Un nom logique définit un court message (nom de ficher, nom d'équipement, adresse,...) qui est compris par les procédures d'un domaine précis. La définition du domaine peut varier du réseau ETHERNET complet jusqu'au compte d'un seul usager sur un Micro-Vax. Les noms logiques sont reconnus par toutes les procédures à l'intérieur de ce domaine et sont identifiés par un nom unique.

Lorsque les échanges de données peuvent être représentées par un état normalement ouvert ou normalement fermé, (exemple: interruption des opérations, début de l'éxécution d'un bloc,...etc) un drapeau particulier est assigné à chacune de ces données et l'état du drapeau (levé ou baissé) indique sa signification. Par exemple, le module de suivi lève un drapeau pour indiquer le début de l'exécution d'un bloc de commandes sur la MOCN, le module de contrôle lit ce drapeau et le baisse après sa lecture. Il en va de même pour les autres échanges de données.

Le module de contrôle d'une MOCN accomplit les fonctions suivantes:

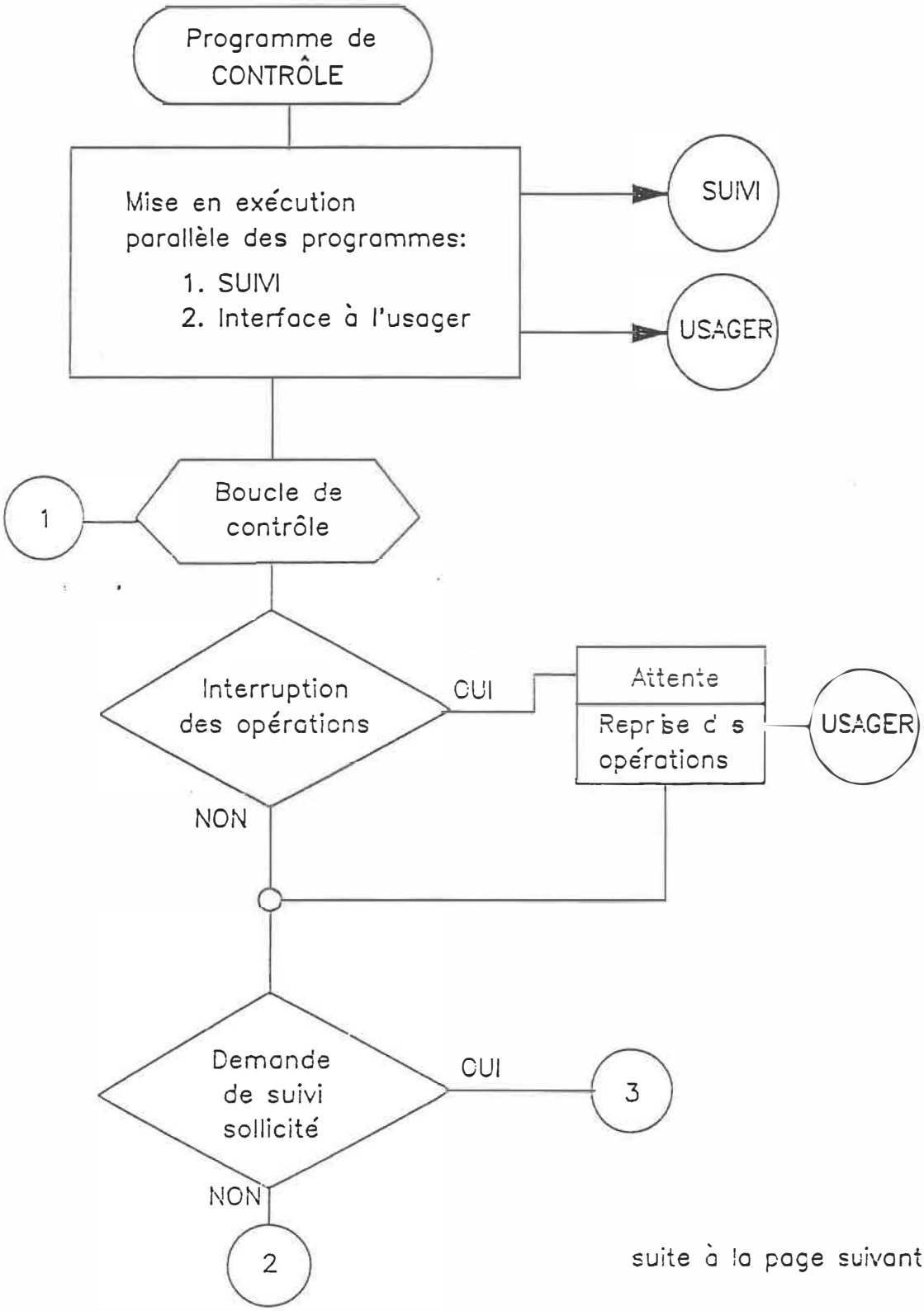
a. Contrôle de l'exécution d'un programme de commandes numériques sur la MOCN, en mode de fonctionnement "ÉMULATION DU MODE DNC/RUBAN;
b. Suivi sollicité d'une MOCN;
c. Interruption des opérations de la MOCN;
d. Exécution successives de tâche en file d'attente.

L'organigramme à la figure 4.7 illustre la structure logique de ce module de contrôle. Un listage de la programmation est aussi fourni à l'annexe A de la référence 7.

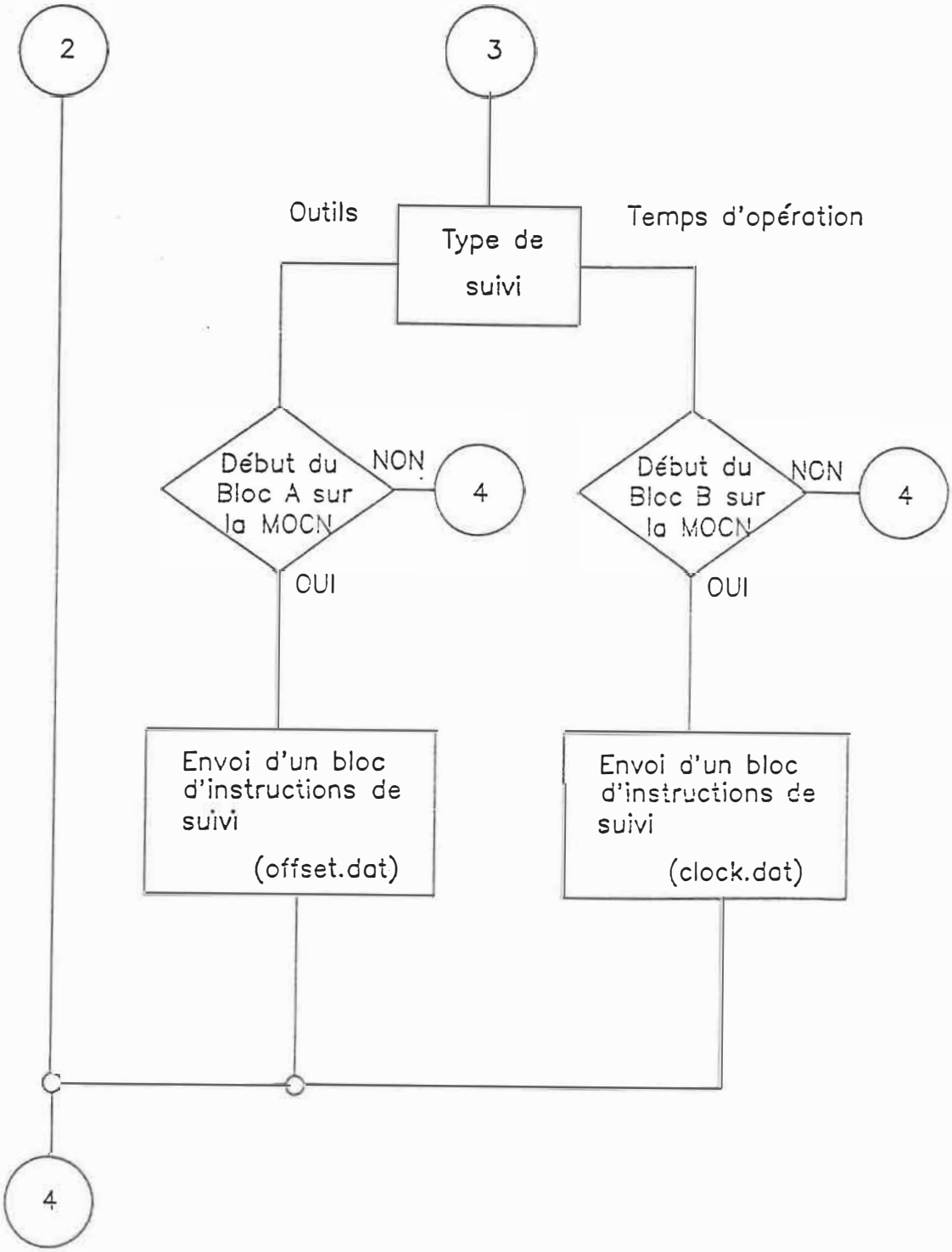


Organigramme du module de contrôle

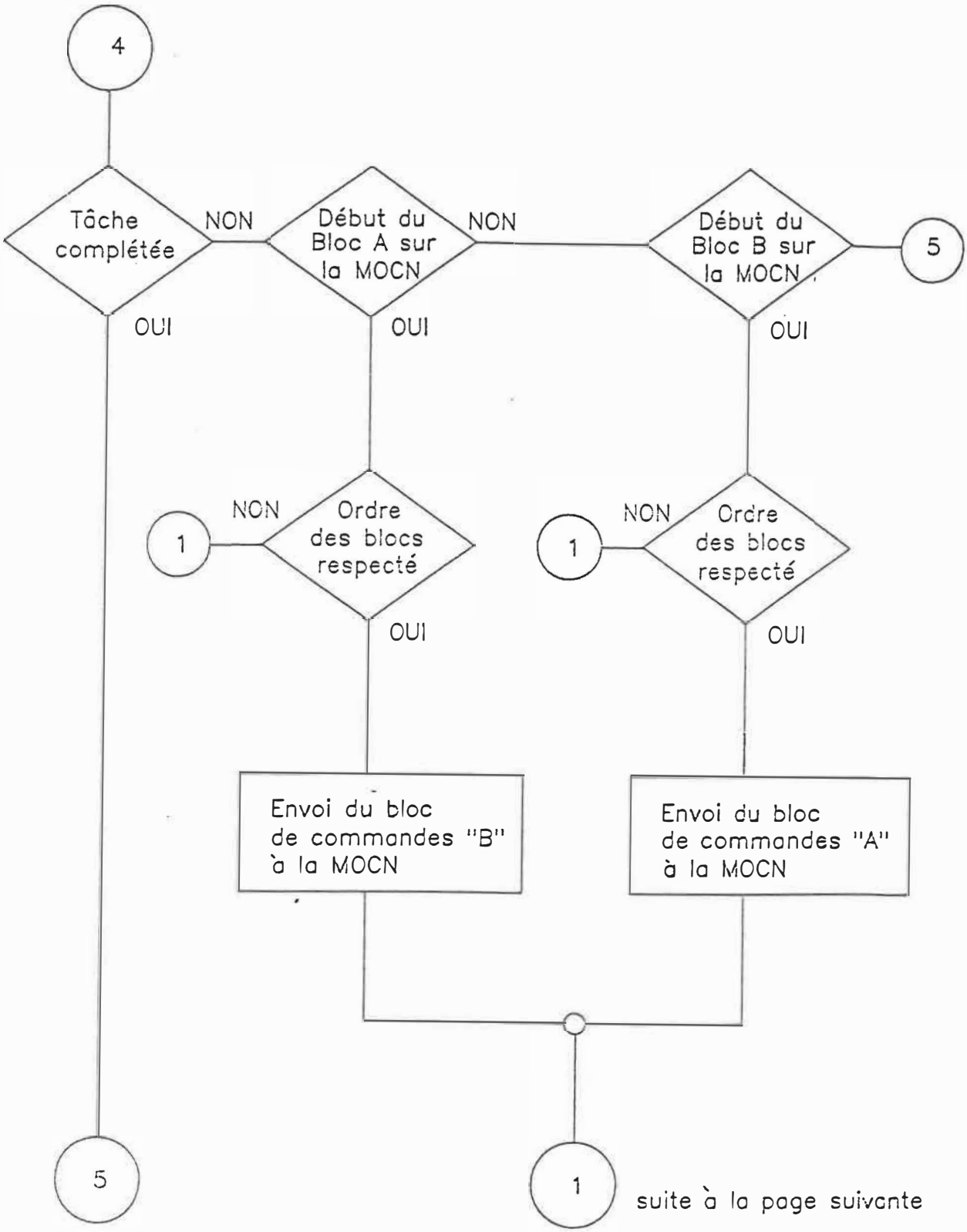
Figure 4.8



suite à la page suivante



suite à la page suivante



suite à la page suivante

La tâche principale du module de contrôle des MOCNs consiste à contrôler l'exécution d'un programme de commandes numériques destiné à une MOCN dépourvue du mode de fonctionnement DNC/RUBAN. Ce programme de commandes est généralement conçu au niveau de contrôle supérieur (conception). Après avoir récupéré le ficher dans lequel le programme de commandes a été emmagasiné, le module de gestion de données transforme ce ficher en blocs de commandes tel que décrit à la section 4.3.2. En supposant qu'aucune requête des usagers intervienne lors de l'exécution du programme, le module de contrôle envoie successivement chacun de ces blocs de commandes jusqu'à l'accomplissement total du programme . Evidemment, pendant cette période, le module de suivi fournit les données nécessaires pour la gestion de l'écran et la synchronisation d'envoi d'instructions à la MOCN (voir section 4.3.5). Dès le début d'exécution d'un bloc sur la MOCN, un message est reçu par le module de suivi. Ce module lève le drapeau approprié pour signaler cet état au module de contrôle. Si aucune requête n'a été signalée par le module d'interfaces aux usagers et qu'il y a encore des blocs de commandes à envoyer, alors le module des contrôles envoie le bloc de commandes approprié à la MOCN. Si tous les programmes de commandes sont complétés, (les blocs de commandes ont tous été traités) alors les blocs de commandes "innoccupés" sont alors envoyés à la MOCN.

Le module d'interface aux usagers est aussi en service parallèlement aux modules de contrôle et suivi. A n'importe quel moment, (pendant les états "en opération", "innoccupé" et "initialisation" de la MOCN) une requête des usagers peut être adressée au module de contrôle. L'interruption des opérations gèle le module de contrôle jusqu'à ce que celui-ci reçoive un signal de reprise des opérations. Dès qu'un drapeau signifiant l'interruption des opérations est levé par le module d'interfaces des usagers, le module de contrôle entre en attente jusqu'à ce qu'un autre drapeau soit levé pour la reprise des opérations. Bien que l'envoi d'instructions est immédiatement interrompu, les opérations sur la MOCN se poursuivent jusqu'à l'accomplissement de blocs de commandes envoyés avant l'interruption.

Lors d'une requête de suivi sollicité, le module de contrôle gère l'envoi du bloc d'instructions de suivi approprié à la MOCN. Un drapeau spécifique, correspondant au type de suivi désiré, est levé par le module d'interface aux usagers. Dès lors, si l'état de la MOCN est "opérationnel", le module de contrôle insère le bloc de suivi approprié entre les blocs de commandes pour qu'il soit traité par la MOCN dans les plus brefs délais. Si l'état de la MOCN est "innoccupé" ou "initialisation", le bloc d'instructions est immédiatement envoyé et traité par la

MOCN.

Le module d'interface à l'usager permet d'entrer plusieurs nouvelles tâches en file d'attente pendant que s'effectuent toutes les opérations décrites antérieurement. Lorsque l'état de la MOCN devient "innoccupé", le module de contrôle va chercher la prochaine tâche à exécuter selon le principe du premier arrivé, premier servi. L'accès à cette file d'attente est aussi géré par des drapeaux pour éviter les conflits entre le module de contrôle et d'interface aux usagers. Lorsqu'une nouvelle tâche est identifiée par le module de contrôle, le processus de contrôle reprend tel que décrit dans cette section.

4.4 Conclusion

Le contrôleur de cellule est appelé à accomplir plusieurs fonctions en même temps. Parmi ces nombreuses fonctions (voir annexe B), trois d'entre elles furent développées et implantées dans le contrôleur de cellule d'usinage du CRIQ:

a. Contrôle des MOCNs;

b. Suivi des MOCNs;

c. Interfaces aux usagers.

Ces fonctions sont supportées par le système de communication de la cellule (voir chapitre 3), un module de gestion de données et de gestion de l'écran. Ces modules ont la particularité et l'avantage de pouvoir interagir avec des contrôleurs à commandes numériques qui ne sont pas conçus pour fonctionner en mode DNC/RUBAN. Une stratégie a d'abord été développée pour rendre ces contrôleurs compatibles avec ce mode de fonctionnement (voir section 4.2). Les modules de suivi et de contrôle furent ensuite adaptés à cette stratégie.

Les modules de contrôle et de suivi implantés dans le contrôleur de cellule comportent quelques limites et désavantanges. D'abord, les instructions pouvant être envoyées à la MOCN sont limitées à celles définies par le langage de programmation du contrôleur de la MOCN. La plupart des fonctions du panneau de contrôle MDI et de l'interface robot ne peuvent donc pas être contrôlées à partir du contrôleur de cellule. Seules les touches pour geler les axes (Feed Hold), pour changer la vitesse des axes (Feed Rate Override) et pour restreindre l'exécution d'un programme à la ligne (single block) peuvent être activés ou désactivés en changeant certaines variables du contrôleur. Cependant, cette restriction est de moindre importance. En effet, après que l'initialisation du contrôleur a été complétée, les touches de fonction du panneau

de contrôle MDI ne sont plus utilisées. Aussi, les instructions de suivi couvertes par le langage du contrôleur de la MOCN (envoi d'un message et des valeurs de variables) génèrent toutes les données que peuvent fournir une interface robot de sortie en plus de plusieurs autres données (voir référence [50]). Les instructions de commandes numériques permettent aussi de couvrir tous les signaux d'interface robot d'entrée sauf celui pour le départ des opérations (cycle start). Ces désavantages sont donc éliminés lorsque la MOCN est déjà initialisée ou qu'elle n'est pas dans un état d'alarme.

Le désavantage le plus sérieux survient lorsque les interventions du contrôleur de cellule demandent une réaction immédiate de la part des contrôleurs des MOCNs. Par exemple, lors d'une interruption des opérations, le contrôleur de la MOCN exécute les commandes déjà reçues avant d'arrêter les opérations. Dans le pire des cas, cela représente deux blocs de commandes, soit un minimum de deux instructions. Dans ce cas, le contrôleur de la MOCN interrompt les opérations seulement après avoir exécuté ces deux blocs. Pour favoriser une action immédiate, l'interface robot de la MOCN doit être utilisée.

Ces deux désavantages peuvent donc être éliminés par l'addition d'un système de contrôle des interfaces robot et

d'interface avec le panneau de contrôle MDI. L'utilisation d'un automate programmable devient l'élément approprié pour intégrer ces éléments au reste du réseau local.

Somme toute, les modules de contrôle et de suivi comportent quelques restrictions qui peuvent être facilement résolues par l'addition d'éléments supplémentaires à la cellule d'usinage tel un automate programmable. Malgré ces exclusions, l'ensemble des systèmes développés permet d'accomplir des fonctions de suivi et contrôle et d'interface à l'usager sophistiquées et très flexibles.

CHAPITRE 5

Discussion et considérations futures

L'annexe B a décrit l'essentiel d'un modèle générique d'un contrôleur de cellule. Son développement total représente un travail de longue haleine et ne peut être contenu dans le cadre de ce projet. Néanmoins, après avoir établi les concepts et les notions d'un contrôleur de cellule, cette recherche a développé plusieurs modules permettant enfin d'appliquer quelques-uns de ces concepts, et de transformer ce modèle conceptuel en un modèle générique concret et appliqué. A cet égard, la principale réalisation touche les fonctions de contrôle et de suivi des unités fonctionnelles, et le système de communication avec ces unités. Le développement de ces fonctions et la structure de ces logiciels constituent de bons éléments de base pour un modèle générique concret et appliqué. Ce chapitre évalue les modules de logiciel développés dans cette perspective. Finalement, les considérations futures pour compléter la concrétisation d'un modèle générique d'un contrôleur de cellule seront discutées.

5.1 Discussion sur les logiciels développés

Pour évaluer la conformité et la compatibilité des modules de logiciel avec le modèle générique d'un contrôleur de cellule, quatre critères ont servi pour définir un barème d'évaluation. Ces critères sont:

a. Transparence du fonctionnement interne des modules;
b. Configuration et aspect général des logiciels;
c. Modularisation des logiciels;
d. Transportabilité des logiciels.

Le premier critère doit favoriser et doit rendre les particularités de fonctionnement interne du logiciel, transparent aux applications qui utilisent ces modules. La stratégie adoptée à cet égard permet à toute application de solliciter un service particulier à un des modules de logiciel, en fournissant un nombre limité de paramètres. Ces paramètres définissent le service rendu par le module sollicité. Les modules développés répondent bien à ce critère. Le tableau 5.1 résument les services rendus par ces modules suite à l'envoi d'une demande d'utilisation et de ses arguments d'entrée. L'utilisation de ces modules est comparable à ceux d'une bibliothèque de sous-routines tel le système graphique GKS.

MODULE	PARAMETRE	SERVICE RENDU
Communication UPLOAD	Nom de l'équipement	Retourne les données envoyées par l'équipement concerné
Communication DOWNLOAD	Nom de l'équipement et donnée à transmettre	Gère le transfert des données à l'équipement concerné
Gestion de l'écran	Nom de l'écran	Retourne les numéros logiques de chaque fenêtre virtuelle et réinitialise l'écran
Gestion de donnée (décortiquer)	Nom du programme de commandes	Transforme le format du programme de commandes en blocs compatibles avec le mode de fonctionnement d'émulation du mode DNC/RUBAN
Gestion de données reçues	-------	Applique le protocole de communication Micro-Vax II - MOCN
Interface aux usagers	*Nom d'une requête	Transmet la requête au module de contrôle des MOCNs
Suivi des MOCNs	Nom de l'équipement	Accepte et effectue le traitement approprié des données reçues
Contrôle des MOCNs	Nom de la requête Nom de l'équipement	Envoie les instructions nécessaires à la MOCN pour l'accomplissement de la tâche.

*Nom de la requête: Entrée d'une nouvelle tâche
Suivi sollicité
Interruption des opérations

Sommaire des services rendus par les modules de logiciel

Tableau 5.1

Le deuxième critère, et sans doute le plus difficile à respecter, vise l'aspect général des modules et leur capacité à être configurables à diverses situations. Le contrôleur de cellule doit s'adapter à tout changements apportés à la cellule, et cela, avec un minimum d'effort. Chacun de ces éléments à sa propre façon de communiquer, son propre langage, leur propre mode de fonctionnement, etc. C'est pourquoi, il est difficile d'imaginer un seul module de suivi et de contrôle qui n'aurait qu'à être configuré pour s'adapter aux différentes situations. Néanmoins, pour éviter le développement d'un module ayant les mêmes fonctions pour chaque situation différente, un effort doit être fait dans cette direction.

Il est difficile d'évaluer les modules développés face à ce critère puisqu'un seul élément de la cellule fait l'objet de contrôle et de suivi. Toutefois, une réflexion peut tout de même être avancée; puisque ces modules ont été adaptés à un contrôleur à commandes numériques dépourvu du mode de communication DNC/RUBAN (reconnu comme le pire des cas), alors les variantes apportées à ces modules pour agrandir leur champ d'application (à d'autre type d'unités fonctionnelles) ne serait qu'une modification de ces modules (voir même une simplification). Cette interprétation devra être analysée dans les considérations futures du développement d'un contrôleur de cellule.

Le troisième critère favorise une décentralisation des fonctions en divisant une fonction en plusieurs petits modules. A la limite, une fonction (par exemple la gestion des outils) est constituée d'un agencement particulier de plusieurs modules de logiciel. Ces modules devraient aussi être réutilisables. Les fonctions de suivi et de contrôle exploitent ce critère assez bien. Ils utilisent les modules de gestion de l'écran et de gestion de données et les modules de communication.

Finalement, l'aspect "transportabilité" de ces logiciels revet l'aspect le moins respecté. La transportabilité de logiciels sur d'autres matériels informatiques est pratiquement nulle. Seule la structure globale de ces logiciels reste intacte, puisqu'un langage de haut niveau (Fortran VMS) a été utilisé pour structurer la programmation. En effet, les fonctions de communication, de contrôle et de suivi des unités fonctionnelles sont des fonctions de bas niveau (indépendante et près du matériel informatique). Le développement de ces fonctions exigeait donc l'utilisation des sous-routines du système d'exploitation VMS d'un Micro-Vax II.

La majorité des autres fonctions du contrôleur de cellule (Gestion d'outils, génération d'horaires, etc.) sont indépendantes du matériel informatique et l'utilisation

d'un langage de haut niveau devient une solution à ce problème. Pour le type de fonction développée dans le cadre de cette recherche, seul un protocole global, tel MAP, peut résoudre ce problème. Ce protocole englobe tous les types de matériel informatique (contrôleur à commandes numériques, ordinateur, PLC, réseau de communication, etc.) et applications (interface avec système de conception, langage de haut niveau, système d'exploitation, etc). Si tous les fabricants se conforment à ce protocole les problèmes de transportabilité et de compatibilité seraient définitivement résolus. Malheureusement les produits MAP sont encore peu répandus. Les éléments supportant les modules de logiciel ont été contraints à l'utilisation de standards particuliers du système VMS, du réseau de communication de type ETHERNET, et les contrôleurs à commandes numériques de type FANUC. Heureusement, ces produits sont très répandus dans l'industrie, améliorant ainsi la transportabilité de ces logiciels. Aussi, la solution à ce problème ne tient pas seulement à la bonne volonté du concepteur du contrôleur de cellule, mais plutôt à celle des fabricants à normaliser leur produit.

En résumé, les modules de logiciel développés dans cette recherche s'inscrivent bien dans le processus de concrétisation d'un modèle générique d'un contrôleur de cellule. Cette évaluation témoigne de leur aptitude à être

intégrés dans un tel modèle.

5.2 Considérations futures

L'implantation d'un modèle générique complet d'un contrôleur de cellule est un élément essentiel et indispensable à tous systèmes de fabrication intégrée et informatisée (CIM). Les quelques modules et fonctions développés dans cette recherche constitue un bon point de départ et une bonne structure logique pour la réalisation de cet objectif. Dans cette optique, ce projet est voué à une continuation certaine dans le domaine de la fabrication intégrée et informatisée.

La continuation de ce projet doit se faire sur trois fronts:

a. Intégration et addition d'éléments à la cellule et au réseau local;
b. Implantation de modules de logiciel au contrôleur de cellule pour achever le développement de toutes ces fonctions;
c. Amélioration du modèle générique.

La cellule doit disposer de tous les éléments nécessaires en vue d'effectuer les opérations de fabrication requi-

ses pour réaliser une certaine famille de pièces. La cellule d'usinage devra donc être munie de systèmes de manutention, de montage, de transport, d'entreposage, etc.. Ces systèmes ne sont pas nécessairement automatisés mais peuvent être des opérations manuelles. Néanmoins, ils doivent être intégrés au contrôleur de cellule. Pour améliorer le degré d'automatisation de la cellule, quelques éléments de contrôle supplémentaires doivent être intégrés au reste du réseau local. D'abord, un automate programmable est indispensable pour des interventions immédiates (auprès des contrôleurs à commandes numériques ou tout autre élément de contrôle). En effet, l'envoi de commandes à partir du contrôleur de cellule est relativement lent et le contrôle des unités fonctionnelles par la programmation a certaines restrictions (fonctions de panneau de contrôle de MOCNs). Un automate programmable peut traiter plusieurs signaux selon des critères de temps réel très précis. Le robot de la cellule d'usinage et un système de palette flexible peuvent aussi être ajoutés et intégrés à la cellule en vue d'automatiser la manutention et le montage des pièces sur les MOCNs. Ces changements doivent être successifs et être intégrés au contrôleur de cellule de la même façon que les contrôleurs de MOCNs.

L'annexe B a décrit toutes les fonctions qu'un contrôleur de cellule doit accomplir, et a défini une approche

de développement globale. Ces fonctions doivent être progressivement ajoutées à celles déjà existantes. Une interface avec les niveaux de contrôle supérieurs doit aussi être complétée de façon à ce que le contrôleur de cellule puisse accepter et accomplir une tâche déléguée par ces niveaux décisionnels, tel que décrit à la section 3.5.

Finalement, l'aspect "générique" du contrôleur de celle-ci doit être constamment remis en question et amélioré.

CHAPITRE 6

CONCLUSION

Le but de cette recherche a été atteint: un modèle générique d'un contrôleur de cellule de fabrication a été développé et analysé. Son implantation dans un contexte de fabrication intégrée et informatisée a aussi été étudiée. De plus, les logiciels développés constituent de bons éléments de base et une bonne structure logique pour le développement d'un contrôleur de cellule complet.

Les principaux logiciels développés touchent les fonctions de bas niveau d'un contrôleur de cellule, soit:

a. Système de communication entre les éléments de la cellule et son contrôleur;
b. Fonction de contrôle et de suivi d'une unité fonctionnelle;
c. Interface aux usagers;
d. Gestion de données;
e. Gestion de l'écran.

Le système de communication répond aux critères d'un réseau local: une quantité illimitée et hétérogène d'éléments peut fonctionner et communiquer ensemble.

Les fonctions de contrôle d'une MOCN peuvent envoyer toutes les instructions qui sont définies par le langage de programmation des contrôleurs des MOCNs selon l'état de cette dernière et selon les requêtes des usagers. Elles sont aussi compatibles avec un contrôleur à commandes numériques dépourvu du mode de fonctionnement DNC/RUBAN. Les fonctions de suivi des MOCNs peuvent traiter toutes les données générées par les MOCNs.

La compatibilité de ces logiciels avec un modèle générique d'un contrôleur de cellule a pu être établie en leur attribuant les critères suivants:

1. Transparence du fonctionnement interne des modules
2. Modularisation des logiciels
3. Configuration et aspect général des logiciels
4. Transportabilité des logiciels.

Le dernier critère n'a pu être atteint. En effet, le matériel de support de ces logiciels répond à des normes spécifiques du fabricant.

RÉFÉRENCES

1. Choudry, A., P.J.W. Ten Hagen, R.W. Yeomans, "Design Rules for a CIM System", 3th ed., Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands, 1987.
2. Groover, M.P., "Automation, Production System, and Computer-Integrated Manufacturing", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1987.
3. Cad, G., "Plant-Wide Communications: A Hierarchical Model and Solution", Achieving Integration through Cell Controllers, SME, Chicago, April 26-27, 1988.
4. Cliff, S.B., "Cell Control Success or is it Camelot yet?", Achieving Integration through Cell Controllers, SME, Chicago, April 26-27, 1988.
5. Schneider, D., "Cell Control Application in Composites Manufacturing", Achieving Integration through Cell Controllers, SME, Chicago, April 26-27, 1988.
6. Krugman, R., "Market Requirement for Cell Control and Plant-Floor CIM Integration", Achieving Integration through Cell Controllers, SME, Chicago, April 26-27, 1988.
7. Demeules, G., C. Fortin, "Description des logiciels implantés dans un contrôleur de cellule", Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ), Montréal, 1989.

8. El-Sawy, A., C. Le Maistre, "Computer Integrated Manufacturing A Systems Approach", Unipub/Kraus International Publications, White Plains, New York, 1987.

9. Kozar, Z., J. Prokup, "Integrated CAD/CAM Systems as a coming Stage of Machinery Production Automation Process", Integration of CAD/CAM, Proceeding of the IFIP WG 5.2/W65.3 Working Conference on Integration of CAD/CAM, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands, 1984.

10. Jones, A., C. McLean, "A Proposed Hierarchical Control Model for Automated Manufacturing System", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 5, No 1, 1986.

11. Michael McClellan, "Computer Integrated Manufacturing with Real Time Shop Floor Control", Integrated Production Systems Incorporated, Autofac 87, 1987.

12. Jones, A., Lean, A.J.C., A Proposed Hierarchical Control Model for Automated Manufacturing System", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 5, No 1, 1980.

13. Albus, J.S., "A Control ofr Automated Manufacturing Research Facility", National Bureau of Standards, 1987.

14. Roy, J., Petty, J., Selection Criteria for Real-Time Software", Bittle Columbus Division, Autofac 87, 1987.

15. Scott J. Rhodes, The Challenge of a Standard Cell Controller, ITP Boston, Incorporated, Autofac 87, 1987.

16. Sheff Bryant, "Flexible Manufacturing Cell, Cell Control Functions", ITP Boston, Inc. Cambridge, Massachusetts, 1986.

17. Rhodes, Scott J., "Integrating the Automated Factory", Third Biennial Internationnal Machine Tool Technical Conference, Chicago, Illinois, Sept. 3, 1986.

18. A. Evans, "Cell Controllers in Action", Proc. 2nd Int. Conference Machine Control Systems, pp. 55-64, May 1987.

19. I.K. Taylor, "A Cell Controller Product to Join the Island of Automation", Proc. 2nd Int. Conf. Machine Control, pp. 65-74, May 1987.

20. Han Bao, Lee Kwan, H., O'Grady, Peter, "Issues in Intelligent Cell Control for Flexible Manufacturing System", Elsevier Science Publishers, B.V., North-Holland, 1987.

21. Leland Teschler, "How PC's are Shaping Cell Control", Machine Design, pp. 86-92, February 25, 1988.

22. David J. Larin, "There's Something missing in Cell Control", from a ten volume Report Serie on Control at Cell & Machine Levels, Market Intelligence Research Company, Montain View, California, 1988.

23. Jesse T. Quatse, "An Architecture for Real-Time Cell Control", Control Engineering pp. 56-59, May 1987.

24. Kera Kazue, Osako Kuzugoshi, Yamanaka Kunio, "Recet Advanced FA Controllers", Hitachi Review Vol. 35, No 1, 1986.

25. Anonym, "Database Management = Gateway to CIM", American Machinist & Automated Manufacturing, pp. 82-88, October 1987.

26. Teen Knoxvill, "Control Data and Turn it into Information", Production Engineering, pp. 54-56, July 87.

27. Frank J. Bartos, "Cell and Area Control make Automation Building Blocks", Control Engineering, pp. 68-71, April 1988.

28. G. Spur, G. Seliger, B. Viehweger, "Cell Concepts for Automated Manufacturing", Journal of Manufacturing Systems, Volume 5, No 3, pp. 171-179, 1988.

29. Timothy J. Greene, Randall P. Sadowski, "Cellular Manufacturing Control", Journal of Manufacturing System, Volume 2/No 2, pp. 137-144, 1988.

30. A. Aziz Merebet, "Synchronization of Operation in a Flexible Manufacturing Cell: The Petri Net Approach", Journal of Manufacturing Systems, Volume 3/No 3, pp. 161-169, 1988.

31. Anonym, "A Generic Cell Controller", Proc. of summary 1988 Conf. National Bureau of Standards, May 1988.

32. Tom Morrisseg, "National Electrical Manufacturer Association Classification System for Cell Controllers",

33. Charles R. Mclean, "A Cell Control Architecture for Flexible Manufacturing", Achieving Integration through Cell Controllers, SME, Chicago, April 26-27, 1988.

34. Sheff Bryant, "Lessons from Installing Cellular Systems", Achieving Integration through Cell Controllers, SME, Chicago, April 26-27, 1988.

35. Craig Weed, "Improved Productivity through System Wide Monitoring", Achieving Integration through Cell Controllers, SME, Chicago, April 26-27, 1988.

36. Larrel Morel, "Cell Control in an Integrated Factory", Achieving Integration through Cell Controllers, SME, Chicago, April 26-27, 1988.

37. Alan Weber, "Open System Architectures for Cell Control", Achieving Integration through Cell Controllers, SME, Chicago, April 26-27, 1988.

38. Sheff Bryant, "Implementation of Cell Control Using MMS, SME, MAP/TOP Interface", Volume 4, No. 4, Deerborn, Michigan, 1988.

39. Gérald J. Arcuri, "Is MAP in your Future?``, Datapro Manufacturing Automation Series, News and Perspectives, McGraw-Hill Inc., Delran, N.J., July 1988.

40. Anonyme, "ISO Reference Model for Open Systems Interconnection (OSI)", Datapro Manufacturing Automation Series, Factory Automation Systems, McGraw-Hill Inc., Delran, N. J., May 1988.

41. Anonyme, "Ungermann-Bass MAP/One System", Datapro Manufacturing Automation Series, Factory Automation Systems, McGraw-Hill Inc., Delran, N.J., September 1988.

42. Anonyme, "Manufacturing Automation Protocol (MAP) - New Center of Manufacturing Communication", Datapro Manufacturing Automation Series, Factory Automation Systems, McGraw-Hill Inc., Delran, N.J., March 1987.

43. Sylvia Tiersten, "Can MAP make it on the Factory Floor in 1980?", Electronic Business, Vol. 14, Issue no, 9, pp. 114-118, May 1988.

44. Gérald Arcuri, "Chart a new MAP", Computerworld, Vol. 22, Issue no.
no. 8, pp. 58-60, July 1987.

46. Julie Vowler, "Another Chance to Decide What Goes on the MAP", Computer Weekly, Issue no. 1099, pp. 20-22, February 1988.

47. Morris Edwards, "Gateways Combine with Standards to Broaden Interconnectivity Option for Dissimilar Devices", Communications News, Vol. 25, Issue no. 8, pp. 44-50, August 1988.

48. Anonym, "Application des réseaux locaux aux systèmes manufacturiers", Note de cours, Lyon, France, 1988.

49. "Manufacturing Automation Protocol Specification", A Communication Network Protocol for Implementation Release, General Motor Corporation, July 22, 1987.

50. "Fanuc IITT - Model a Opertors Manual", Fanuc Ltd., (B-S4874 E/01), 1985.

51. "Fanuc 100 series, 11 series, 12 series Maintenance Manual", Fanuc Ltd., (B-5481 SE/OA), 1984.

52. "Micro WMS Programming Support Manual", Digital Equipment Corporation, (AF-DC 87, 7B-TE), 1986.

53. "Micro WMS Programmers Manual", Digital Equipment Corporation, (AI-Z21 2B-TE), 1986.

54. "Networks - Communication DEC Server 100 Terminal Server Operation Guide", Digital Equipment Corporation, (AA-Z085B-TK), 1986.

55. "VAX II Fortran Reference Manual, Users Guide", Digital Equipment Corporation, (AA-DO34C-TE), 1982.

56. "Local Area Transport Architecture (LAT) Network Managers Guide", Digital Equipment Corporation, (AA-DJ8B-TK), 1985.

ANNEXE A

Organisation de la fabrication intégrée et informatisée

Le contrôleur de cellule doit accomplir une série de fonctions spécifiques à l'intérieur de la fabrication intégrée et informatisée. Sa position et ses fonctions au sein de la structure de contrôle de cette organisation lui confère un rôle de premier plan dans l'intégration des systèmes manufacturiers [10, 12, 13, 15, 16, 19].

Ce chapitre décrit un modèle conceptuel qui définit toutes les fonctions de base de la fabrication. Aussi, une structure de contrôle hiérarchique attribue un niveau décisionnel à chacune de ces fonctions. Ces deux éléments de base (modèle conceptuel et structure de contrôle de la fabrication) seront utilisés pour élaborer un modèle générique d'un contrôleur de cellule. Cette démarche est essentielle pour développer un contrôleur de cellule qui doit s'intégrer avec tous les systèmes manufacturiers de l'usine.

A.1 Concepts de base de l'intégration et de l'automatisation

Les systèmes manufacturiers (CAO, FAO, GMAO, etc.), l'intégration et l'automatisation ont connu une évolution qui a suivi l'imposant rythme de l'informatique. Ainsi, ces termes furent inconditionnellement associés à la technologie informatique. Cependant, pour bien comprendre les concepts de base de l'intégration et de l'automatisation, il est important pour le moment d'oublier cette technologie et de retourner aux bases et aux principes fondamentaux de la fabrication.

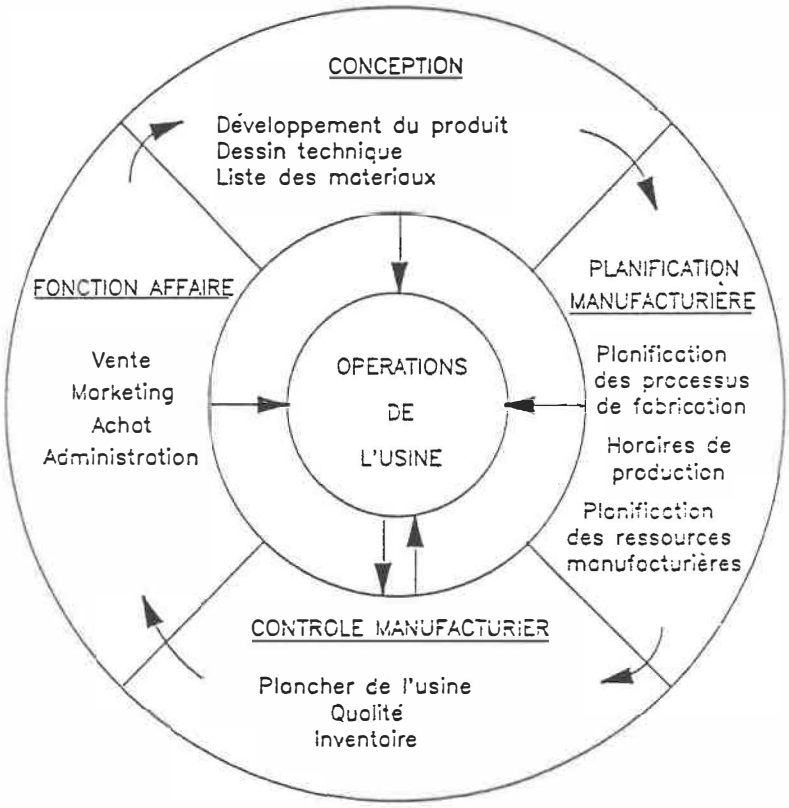
L'industrie, qu'elle soit informatisée ou non, automatisée ou non, doit s'organiser de façon à accomplir cinq fonctions de base. Ces fonctions de base sont:

a. Fonction affaire, marketing, administration;
b. Conception du produit;
c. Planification de la production;
d. Contrôle de la production;
e. Opérations de fabrication.

M.P. Groover [2] présente cette organisation sous forme de diagramme (voir fig. A.1). Ce modèle conceptuel de la fabrication montre deux types d'activités distinctes:

a. Activités physiques;

b. Traitement de l'information.



Modèle conceptuel de la fabrication

Figure A.1

Les activités physiques couvrent la fonction des opérations de fabrication, soient des opérations d'usinage, d'assemblage, de manutention et de contrôle de qualité, qui sont effectuées sur les pièces en production. Ces opérations s'alimentent d'informations qui dictent quoi faire,

quand et comment le faire. Cette information technologique est ensuite utilisée pour transformer le matériel brut en un produit fini.

Les quatre autres fonctions sont strictement un traitement de l'information circulant à travers l'usine. Aucune de ces fonctions touche directement au produit. Ces fonctions doivent fournir les données et l'information nécessaires pour guider les activités physiques de façon efficace. Elle sont représentées par l'anneau extérieur du modèle conceptuel de fabrication illustré à la figure A.1.

L'automatisation et l'intégration manufacturières sont directement reliées à ces deux champs d'activités distincts. L'automatisation concerne avec les activités physiques de l'usine. L'automatisation cherche à minimiser les efforts manuels de l'homme tout en améliorant la qualité et le taux de production. Cette technologie est une application de la mécanique, de l'électronique et d'éléments de contrôle pour opérer différents appareils tels les robots, machines d'assemblage, machines-outils à commandes numériques, équipements de manutention, etc..

L'intégration manufacturière touche les quatre fonctions de traitement de l'information qui supportent les opérations de production. On peut définir l'intégration

manufacturière comme étant la gestion et la coordination de toute l'information circulant dans l'usine en un tout unifié et fonctionnel.

Le modèle conceptuel de la fabrication montre le cycle de traitement de l'information qui, dans l'usine traditionnelle, était souvent à sens unique et limité dans les chemins à suivre. L'intégration manufacturière moderne préconise des échanges de données entre chaque fonction de l'usine et dans tous les sens. Cependant, dans plusieurs cas, la quantité de données devient impossible à supporter par des méthodes traditionnelles. En effet, ce cycle de traitement de l'information par des méthodes traditionnelles cause d'énormes délais dans la mise en marché d'un produit (pour un nouveau modèle automobile il faut compter de 3 à 5 ans).

Pour assister l'homme dans cette lourde tâche d'intégration, on a eu recours à l'informatique. C'est pourquoi l'intégration et l'automatisation sont devenues des termes inconditionnellement associés à l'informatique. Il faut d'abord voir l'ordinateur comme un outil très puissant pour l'application des principes de l'automatisation et de l'intégration des systèmes manufacturiers. Aujourd'hui l'ordinateur est devenu un atout pratiquement indispensable à l'usine moderne qui doit incorporer tous

ces systèmes manufacturiers à son organisation et unir ces éléments séparés en un seul système. Evidemment le contrôleur de cellule fait partie intégrante de cette organisation.

La fabrication intégrée par ordinateur (Computer Integrated Manufacturing - CIM) est un terme qui embrasse tous les départements et les fonctions d'une organisation manufacturière. CIM est un ensemble de système manufacturiers (CAO, FAO, GMAO, contrôleur de cellule, etc.) qui définissent un processus de fabrication. Il est très difficile, sinon impossible, de définir CIM de façon précise et concise. Il faut plutôt élaborer un modèle qui définit chaque système de CIM, leur fonctionalité, leur interconnexion et leur intégration selon une structure de contrôle, et des critères de conception.

A.2 Description de la fabrication intégrée par ordinateur

La fabrication intégrée par ordinateur (CIM) doit accomplir toutes les tâches reliées à la fabrication d'un produit afin de couvrir chaque secteur d'activité de l'industrie manufacturière. La section A.1 a décrit ces activités en cinq fonctions distinctes. CIM est orienté vers les fonctions ou les activités qui touchent le domaine

d'ingénierie de l'usine tel la conception, la planification de la production et le contrôle des opérations manufacturières, etc..

La fonction affaire n'est pas incluse dans le champ d'activité de CIM. Idéalement, il faudrait ajouter un autre élément à CIM pour une intégration complète de toutes les fonctions de l'usine. Il s'agit de la fonction affaire qui est traitée par un logiciel de gestion des affaires (Computer Integrated Business - CIB). Ce secteur d'activité (ventes, achats, études du marché, finances, etc.) est important lorsqu'on analyse l'organisation globale d'une industrie informatisée. En effet, il y a une grande quantité d'informations qui circule entre ces deux éléments; CIM et CIB. Nos efforts seront néanmoins portés et limités à CIM puisque CIB implique strictement des échanges d'information avec les niveaux de contrôle supérieurs au contrôleur de cellule (voir section A.3). CIB offre peu d'intérêt lors de la conception d'un contrôleur de cellule.

Une modularisation de CIM en plusieurs champs d'activités est souhaitable et même inévitable. Les activités de CIM sont trop vastes et trop complexes pour être développées en un seul système. Il y a aussi plusieurs autres avantages à tirer d'une organisation modulaire. La simplification qui en découle lui confère des aspects de fiabi-

lité, d'efficacité et de facilité d'entretien. Des modules simples et de petites tailles rendent CIM plus apte à diverses modifications, ce qui lui donne la flexibilité voulue. Aussi des modules réutilisables diminuent les investissements et les efforts de développement. Ceci permet aussi de distribuer le traitement de l'information à travers différents éléments de contrôle (micro-ordinateurs, contrôleurs de MOCN, etc.) et d'éviter l'utilisation d'un seul système central.

Le projet ESPRIT (European Strategic Program for Reasearch Information Technology) a formé un groupe qui était chargé d'étudier toutes les activités qui prennent place à l'intérieur de CIM [1]. Ces secteurs d'activité ont été regroupés sous cinq sujets principaux qu'on appelle systèmes manufacturiers:

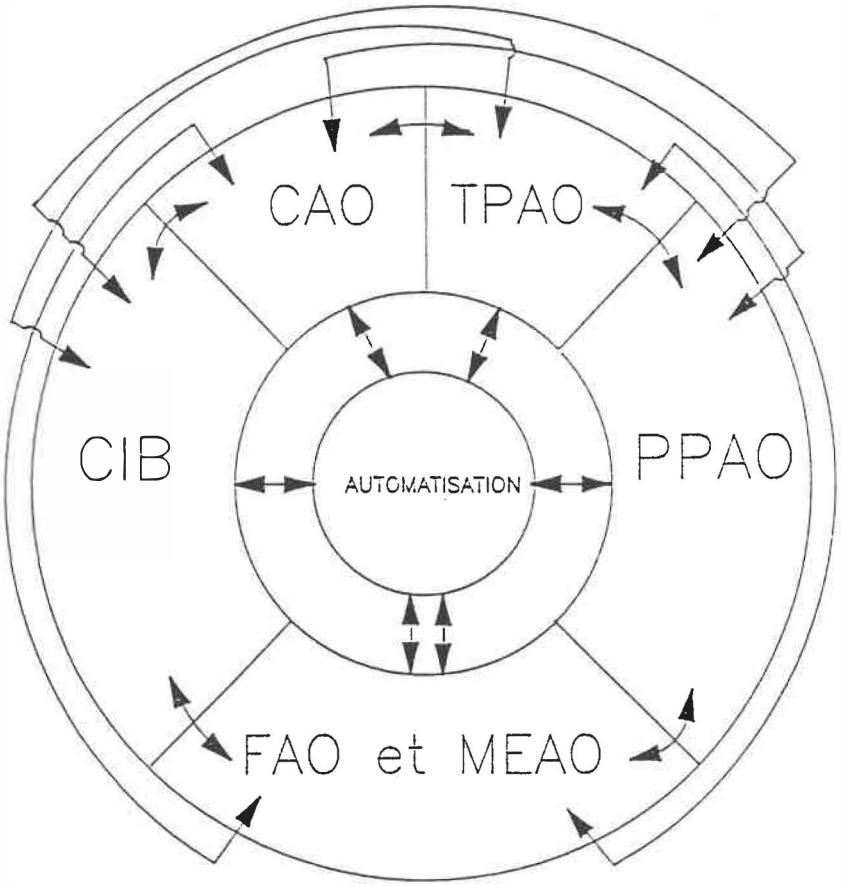
a. Conception assistée par ordinateur (CAO);
b. Technique de fabrication assistée par ordinateur (TFAO);
c. Planification de la production manufacturière assistée par ordinateur (PPAO);
d. Fabrication assistée par ordinateur (FAO);
e. Manutention et entreposage assistée par ordinateur (MEAO).

Ces différents titres décrivent cinq sujets à l'intérieur de CIM qui sont déjà très répandus dans l'industrie manufacturière. Cependant, il n'a pas de consensus sur la définition précise de ces acronymes, ni sur l'étendue des activités que touche chacun de ces sujets. Une chose est claire, ces cinq secteurs de CIM doivent couvrir toutes les activités qui prennent place à l'intérieur de l'industrie manufacturière intégrée et informatisée.

La fabrication est autant un art qu'une science, d'où la difficulté d'établir un modèle scientifiquement correct. Aussi, ce modèle ne peut être définitif; il doit plutôt suivre les progrès de la science et de la technologie en plus de rejoindre un consensus général. Seule une considération pragmatique de ce sujet peut conduire à une description précise d'un modèle de la fabrication intégrée et informatisée. Autrement dit, tout système manufacturier doit être défini en termes de fonctions de base et d'activités. La raison principale pour cette approche est que les activités fondamentales de l'industrie manufacturière ne changent à peu près pas. Seules les méthodes et les technologies employées pour arriver à ces fins changent. L'utilisation d'une table à dessin ou d'un poste graphique pour la conception d'une pièce, d'une MOCN ou d'un artisan pour usiner une pièce sont toutes des méthodes et des technologies différentes qui accomplissent les mêmes

fonctions de base.

ESPRIT [1] présente une définition de ces systèmes la plus acceptée par les intervenants dans le domaine de la fabrication intégrée et informatisée (voir figure A.2).



Modèle conceptuel de la fabrication intégrée et informatisée

Figure A.2

Cette description suit de très près les critères énoncés au paragraphe précédent. Un autre aspect important de cette analyse touche les interconnexions et les interfaces entre ces systèmes manufacturiers. Cet aspect de l'analyse sera très sommaire mais présente tout au long de cette description. Cette démarche est essentielle pour établir une intégration efficace et complète de ces systèmes, particulièrement pour le contrôleur de cellule . Finalement, cette description de CIM sera orientée vers l'industrie d'usinage et limitée aux activités techniques (ingénierie) de cette industrie.

A.2.1 Conception assistée par ordinateur

En termes généraux, la conception assistée par ordinateur consiste à utiliser du matériel informatique pour mener à terme toutes tâches associées au développement d'un concept en un plan ou projet, suffisamment détaillé pour être fabriqué. Ce processus doit, en premier lieu, s'assurer que toutes les spécifications fonctionnelles du produit (poids, durabilité, performance, coût, apparence, etc.) ont été fournies par la fonction affaire. En tenant compte de ces contraintes, ce système doit fournir l'information qui décrit la forme (dessin), le matériel du produit, et les types de traitements manufacturiers qui assureront l'intégrité de la conception. Ce système fournit

peu d'information au contrôleur de cellule, particulièrement lorsque les opérations manufacturières sont automatisées. Dans le cas où les opérations sont manuelles, ce système peut fournir des croquis ou des dessins de détails au contrôleur de cellule qui devra les transmettre aux stations de travail concernée.

Les activités de la CAO sont divisées en trois catégories ou sous-systèmes:
systèmes:

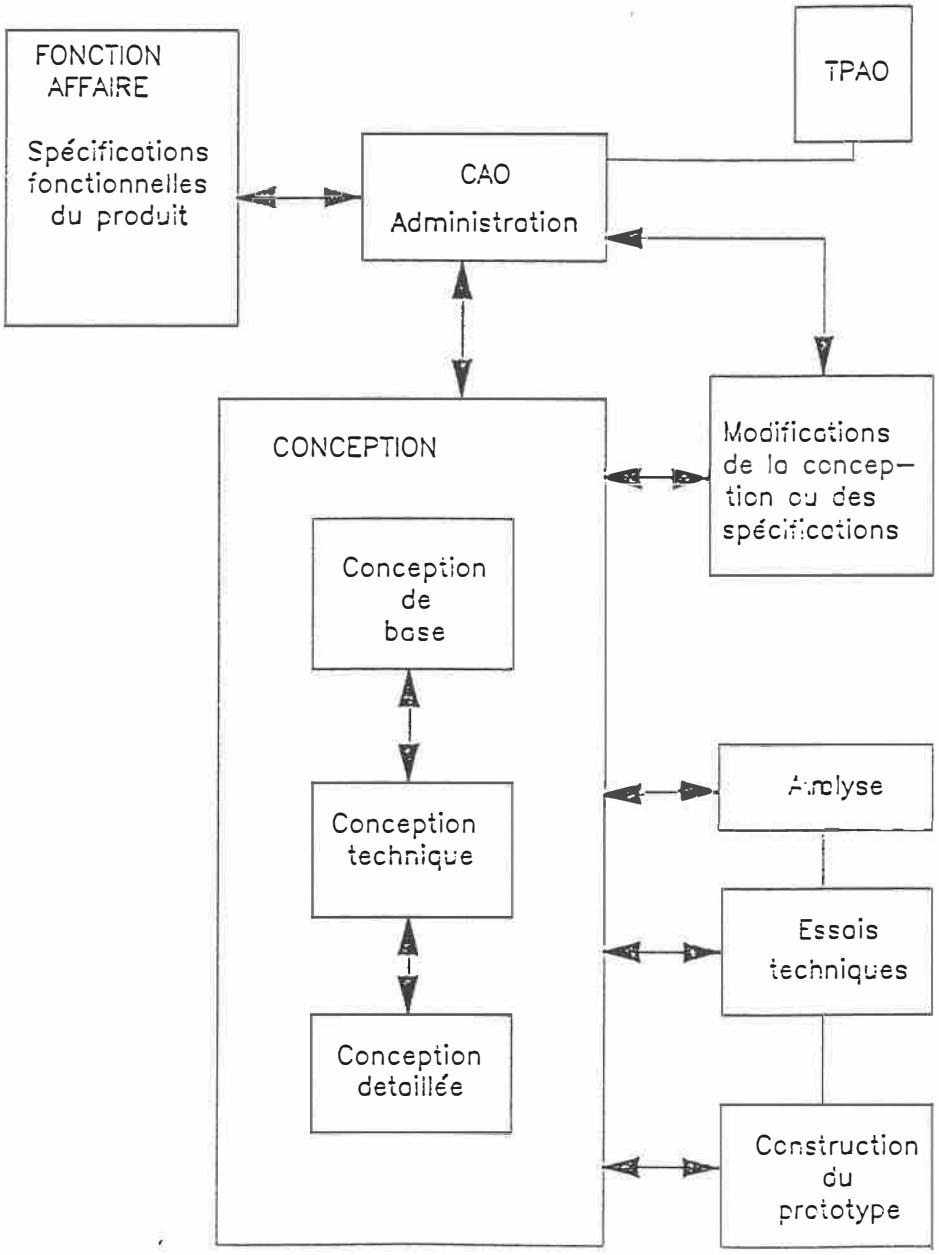
a. Conception;
b. Analyse;
c. Essais techniques.

La partie conception a comme principale tâche d'établir la géométrie de la pièce, le matériel utilisé et les types de traitement manufacturier et d'assemblage. Le module de conception est divisé en plusieurs étapes logiques. La première étape donne une visualisation de l'apparence finale de la pièce basée directement sur les spécifications fonctionnelles initiales de la pièce. Ceci implique l'utilisation d'un système graphique pour la génération du modèle géométrique en base de données. On appelle cette partie la conception de base. La deuxième étape est la conception technique du produit. A l'aide des modules d'analyses et d'essais techniques, le module de

conception produira l'information suivante: géométrie nominale, liste des pièces, matériel utilisé. Finalement, on enchaîne avec la conception détaillée. Ce module conclut avec le plan de détails. Ceci peut être un dessin détaillé incluant une liste de chaque pièce, leurs spécifications, leurs matériels, leurs détails de traitement manufacturier et d'assemblage. Les interconnexions entre chacun de ces sous-systèmes et les autres systèmes de CIM sont illustrées à la figure A.3.

L'analyse et les essais techniques seront des modules utilisés en parallèle avec la conception pour assurer que les critères de conception répondent aux spécifications. L'analyse est essentiellement une modélisation mathématique telle les éléments finis et autres méthodes numériques pour prédire les performances du produit (poids, analyse des contraintes, transfert de chaleur, dynamique des fluides, etc.). Le module d'essais techniques contrôle et interprète les résultats obtenus d'un prototype. L'analyse prédit les résultats théoriques alors que les essais techniques fournissent une analyse empirique.

Ce schéma (figure A.3) illustre l'importance de l'accessibilité et de la compatibilité des bases de données entre chaque système et sous-système. L'analyse de la conception utilise le modèle géométrique de la partie concep-



Modèle conceptuel du système manufacturier CAO

Figure A.3

tion, et le module de conception utilise les résultats de l'analyse pour ajuster son design ou les spécifications fonctionnelles du produit. Il existe donc un échange et une réutilisation continuelle des données jusqu'à l'obtention d'un design qui répondra aux normes de l'analyse et autres critères de la conception. Ces échanges de données exigent un module d'administration qui gère la base de données et assure l'intégrité de ces mêmes données.

A.2.2 Technique de fabrication assistée par ordinateur

Le champ d'activité de la technique de fabrication assistée par ordinateur (Computer Aided Production Engineering - CAPE) a comme responsabilité de déterminer comment le produit, tel que décrit et spécifié par la fonction conception sera fabriqué. TFAO couvre les cinq domaines suivants:

a. Planification des traitements manufacturiers;
b. Agencement des installations;
c. Programmation hors ligne des équipements de fabrication;
d. Outil et montage;
e. Manutention.

Le sous-système de planification des traitements manu-

facturiers évalue, comme le nom l'indique, différents types de traitements manufacturiers, de machines et de technologies qui peuvent être employés lors du processus de fabrication de la pièce. Il décide laquelle de ces technologies sera utilisée pour usiner le nouveau produit. Le sous-système d'agencement des installations vérifie si l'équipement est suffisant pour le volume de pièces à fabriquer et s'il est organisé convenablement pour optimiser la production. Le sous-système de programmation génère les instructions de commandes que divers éléments d'automatisation (robot, MOCN, AGV, etc.) auront besoin pour mener à terme chaque étape de la production. Le sous-système outil et montage conçoit et produit la liste d'outils et de montages nécessaires à chaque machine pour accomplir sa tâche. Finalement, le dernier sous-système évalue les techniques de manutention selon les montages utilisés et la séquence d'opération.

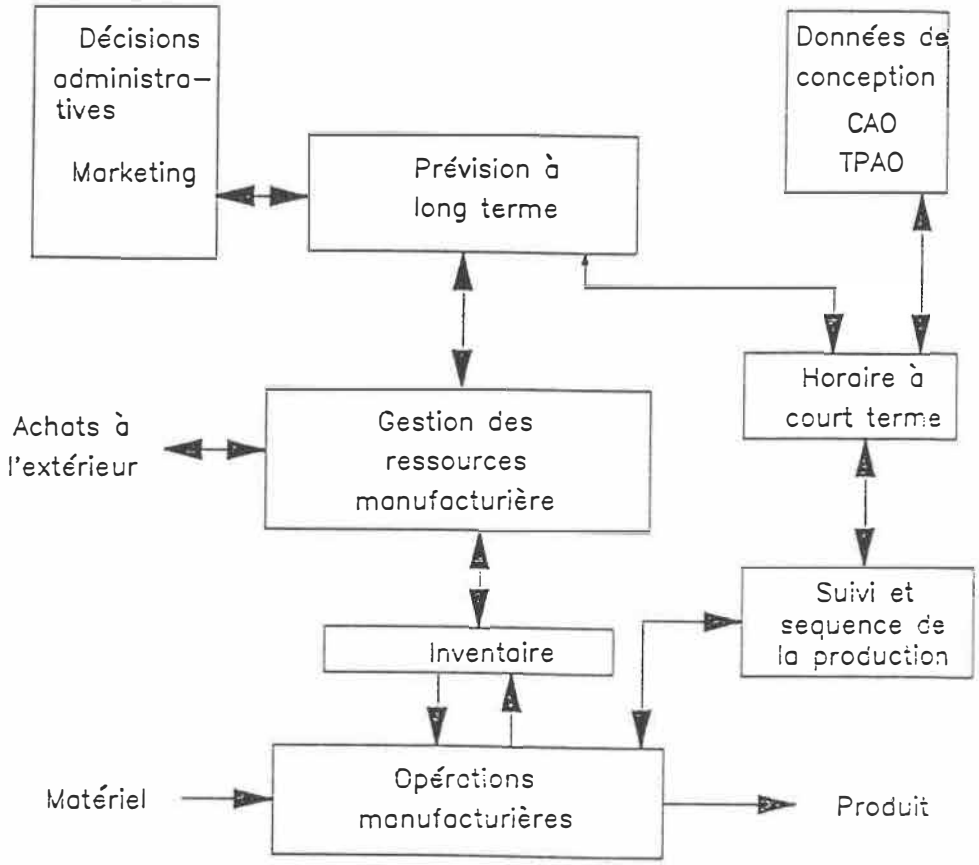
La TFAO fournit l'information technologique qui définit un processus de fabrication. Après avoir conçu la pièce (CAO), il faut concevoir les techniques de montage, de manutention et décider d'un agencement de l'équipement et de la technologie employée. Ce système fournit au contrôleur de cellule toute l'information nécessaire pour fabriquer une pièce.

Après qu'une pièce a franchi toutes les étapes de CAO et de TFAO, toute l'information technologique est disponible en base de données pour enchaîner avec une planification de la production et de la mise en production de la (ou les) pièce(s). Ceci nous mène directement au prochain champ d'activité de CIM, la planification de la production assistée par ordinateur.

A.2.3 Planification de la production assistée par ordinateur

Les fonctions de planification de la production assistée par ordinateur (Computer Aided Production Planning - CAPP) représente le lien entre la CAO, la TFAO et la FAO. Cette fonction détermine la séquence des opérations (feuille de route), établit les horaires de production, contrôle l'inventaire, les en-cours et assure l'utilisation optimale des ressources de l'usine en vue d'atteindre les objectifs d'une production juste à temps. Ce champ d'activité se divise en quatre sous-sytèmes:

a. Prévision de la production;
b. Gestion des ressources manufacturières;
c. Horaire à court terme;
d. Séquence et suivi de la production.



Modèle conceptuel du système manufacturier PPAO

Figure A.4

Le schéma illustré à la figure A.4 montre les interconnexions des sous-systèmes de la PPAO. Le module de prévision de la production à long terme aide à prédire les tendances du marché. Basé sur ces prédictions et sur les demandes du marché, ce module fournit une liste des produits à fabriquer, quand ils devront être livrés et en

quelle quantité. Plusieurs modèles mathématiques sont utilisés pour produire de telles données. Cette fonction est utilisée au plus haut niveau hiérarchique de la structure de contrôle de l'industrie (voir section A.3).

Au coeur de la structure de contrôle retrouve le sous-système de la gestion des ressources manufacturières. La gestion des ressources manufacturières voit à ce que tout le matériel requis pour la fabrication du produit soit disponible en temps et lieu. Ce sous-système gère l'inventaire en contrôlant les achats de matériaux bruts, les encours, les outils, les montages, les produits finis, etc..

Le sous-système d'horaire à court terme établit une planification de production selon la capacité de l'usine et les priorités des tâches à accomplir. Alors que le module précédent traitait de la gestion du matériel, ce sous-système s'intéresse à la gestion des ressources de production (équipement, main-d'oeuvre, etc.) pour rencontrer les spécifications fournies par le sous-système de prévision de la production.

Finalement, le dernier sous-système, séquence et suivi de la production, remplace la traditonnelle feuille de route d'une pièce. La sélection d'un centre d'usinage particulier et d'une séquence particulière des opérations doit

être optimisée selon les priorités et les disponibilités des ressources. La séquence des opérations ainsi obtenue sera finalement utilisée par les deux derniers systèmes FAO et MEAO pour initier le transport des pièces, des outils et pour suivre et contrôler les opérations prenant place dans les cellules. L'interaction de ce sous-système avec les systèmes de FAO et MEAO est très importante en vue d'obtenir l'information sur l'état des ressources et pour suggérer une séquence d'opération.

Une bonne échange de données entre chacun de ces modules est vital. Par exemple, si les demandes de la fonction affaire sont irréalisables, elles doivent en être avisées et un autre horaire de production doit être mis sur pied. A chaque fois qu'un paramètre change, il y a révision de tout le processus de planification de la production. On comprend donc l'utilité de la puissance informatique pour donner une telle flexibilité à ce système.

A.2.4 Fabrication et manutention assistée par ordinateur

La fabrication assistée par ordinateur, FAO, (Computer Aided Manufacturing) est sans doute le terme qui a suscité le plus de divergences dans les différentes tentatives pour lui attribuer un champ d'activités bien délimité et accepté

de tous. Les tâches confiées à la FAO touchaient toutes les fonctions de la fabrication qui n'étaient pas couvertes par la CAO. La planification des ressources manufacturières, les horaires de production, le contrôle et le suivi des opérations étaient toutes des tâches confiées à la FAO. D'ailleurs plusieurs utilisent encore l'acronyme CAO/FAO comme synonyme à CIM. Devant cette définition de la FAO, ceux qui comprennent l'étendue du champ d'activité de CIM n'avaient d'autres alternatives que de diviser CIM en systèmes tels CAO, TFAO, MEAO et FAO pour bâtir un groupe de définitions plus précises. Cependant, si on accepte la PPAO et la TFAO comme étant des fonctions séparées au même titre que la CAO, on doit reconsidérer la définition de FAO et lui donner une définition plus simple et précise.

La manutention et la fabrication peut se diviser en 4 domaines:

a. Gestion des outils et montages;
b. Gestion du matériel;
c. Gestion des programmes de commandes;
d. Contrôle des opérations;
e. Gestion de la qualité.

Chacun de ces sous-systèmes fournit les outils, les montages, le matériel et les commandes nécessaires à chaque

station de travail pour compléter leurs opérations. Cette fonction exige un contrôle et un suivi constant des opérations manufacturières. Elle doit coordonner l'arrivée des ressources aux stations de travail dans un état pour que celles-ci puissent commencer et exécuter les opérations. L'usure des outils, l' envoi de commandes (soit à l'aide de réseaux locaux ou de ruban perforé), l'exécution des tâches selon un ordre dicté par CAPP, la vérification du matériel brut, son accessibilité, sa condition, l'état des montages, etc. sont des tâches que doivent accomplir la FAO et la MEAO. Les fonctions de ce système manufacturier sont principalement accomplie par le contrôleur de cellule. Ainsi, une description plus complète de ce système sera faite à l'annexe B.

A.2.5 Conclusion

Cette brève esquisse de CIM se voulait une copie des bases et des fonctions fondamentales de l'industrie telles que montrées dans le modèle conceptuel de fabrication (fig. A.1). Ce modèle de CIM a tout simplement été adapté aux nouveaux systèmes manufacturiers (CAO, TFAO, PPAO, FAO/MEAO) et à la nouvelle technologie (automatisation, communication, etc.). Cette démarche était inévitable pour aboutir à un système intégré et informatisé qui couvre tou-

tes les fonctions de l'usine. Une comparaison entre les figures A.1 et A.2 image bien cette idée véhiculée à travers ce chapitre.

Des échanges de données dans toutes les directions, des systèmes et sous-systèmes bien définis sont des principes très importants pour atteindre le but ultime de la fabrication intégrée par ordinateur. Il aurait cependant été trop long d'élaborer sur toutes les interconnexions entre chaque sous-système de ces fonctions. C'est pourquoi on s'est limité à une analyse plutôt globale. Néanmoins, cette modularisation en sous-système est très importante. Elle permet souvent d'obtenir des modules réutilisables et elle simplifie l'implantation d'un tel système. La mise en place d'une base de données bien définie revêt un aspect tout aussi important. Plus souvent qu'autrement, c'est à travers ces bases de données que s'effectuera la communication entre chaque sous-système et chaque fonction de base.

A.3 Structure de contrôle

Les fonctions manufacturières sont très diversifiées et très étendues. Elles partent de la conception jusqu'au contrôle du temps réel des équipements sur le plancher manufacturier. Il est donc important d'identifier les

niveaux décisionnels et d'y répartir les fonctions de l'usine en décrivant les tâches et les responsabilités de chaque niveau de contrôle.

Lors de l'élaboration d'une structure de contrôle, les points suivants doivent être considérés et définis:

a. Type structure de contrôle;
b. Identification des niveaux décisionnels (de contrôle);
c. Description fonctionnelle des niveaux décisionnels;
d. Interconnexion et interface entre chaque niveau;
e. Critère de temps réel.

Le modèle proposé est une structure de contrôle basée sur une organisation hiérarchique. Cette structure de contrôle est vaguement répandue dans des organisations de toutes sortes [10,11,12,13]. Cette approche assure une répartition des tâches en vue de limiter la complexité des modules de contrôle et de bien encadrer les fonctions de ces modules selon plusieurs niveaux décisionnels.

Typiquement, les fonctions de la fabrication s'effectuent selon la hiérarchie suivante:

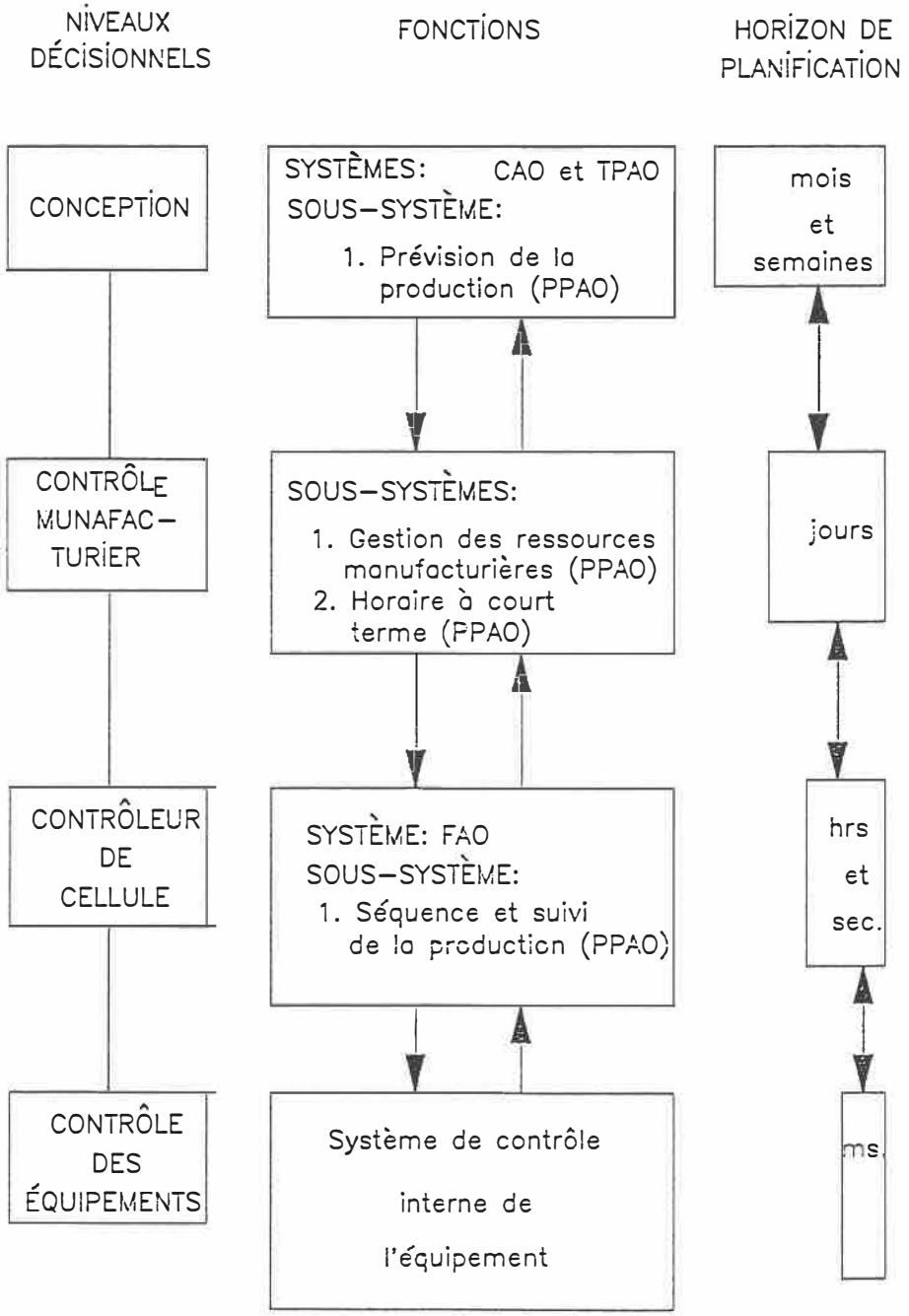
a. Conception;

b. Planification des opérations de fabrication;

c. Contrôle et suivi des opérations;

d. Exécution des opérations.

La structure de contrôle suit d'assez près cette hiérarchie fonctionnelle. Cette structure proposée a quatre niveaux décisionnels; elle est illustrée à la figure A.5. Les fonctions de chaque niveau sont définies en terme de systèmes manufacturiers (décrits à la section précédente). Bien que les interconnexions entre ces systèmes soient principalement hiérarchiques (un niveau peut communiquer seulement avec un niveau qui lui est directement adjacent), ce modèle permet aux systèmes de niveaux non-adjacents de communiquer ensemble et permet d'améliorer ainsi l'intégration des systèmes manufacturiers. Les fonctions du contrôleur de cellule dans le contexte d'une fabrication intégrée et informatisée sont ainsi bien cernées. Elles doivent couvrir toutes les fonctions de la FAO et du sous-système de séquence et de suivi de la production.



Structure de contrôle

Figure A.5

ANNEXE B

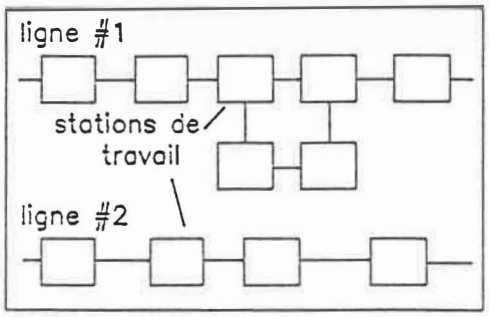
CONTROLEUR DE CELLULE

B.1 Introduction

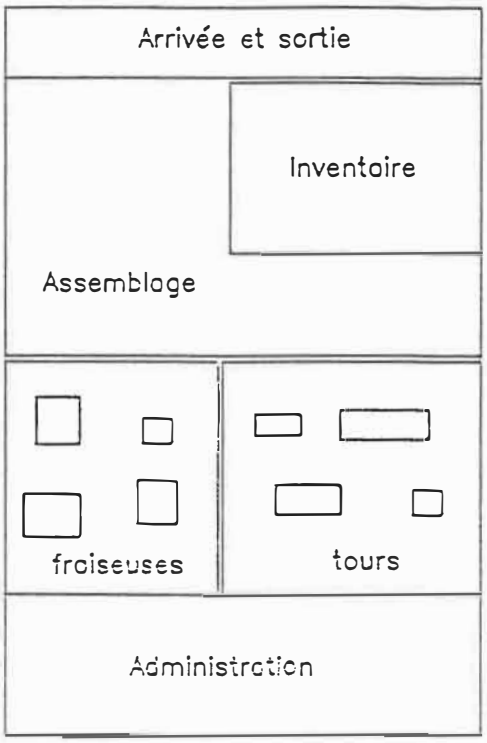
Historique

Traditionnellement, les opérations de fabrication étaient divisées selon trois catégories qui sont basées sur la disposition physique de l'équipement. La première catégorie est une ligne de montage où les machines sont agencées en série en vue de fabriquer un seul type de pièce ou une famille très limitée de pièces (figure B.1). La deuxième catégorie est un agencement fonctionnel, où des machines similaires sont regroupées selon leurs habiletés et fonctions (figure B.2). La dernière catégorie est un agencement autour du produit à fabriquer (figure B.3).

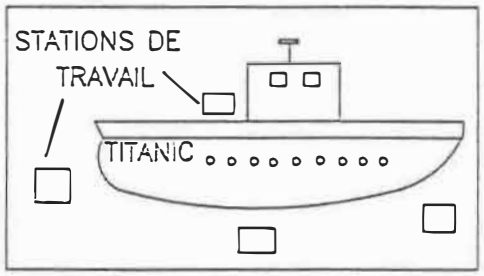
Il y a cependant une autre catégorie qui, depuis quelque temps, suscite à nouveau de plus en plus d'intérêt [29]. Un peu à l'image des anciens ateliers d'artisans, cette catégorie est définie par un regroupement de machines nécessaires pour fabriquer une certaine famille de pièces. Cette catégorie est appelée la fabrication cellulaire.



Ligne de montage
Figure B.1



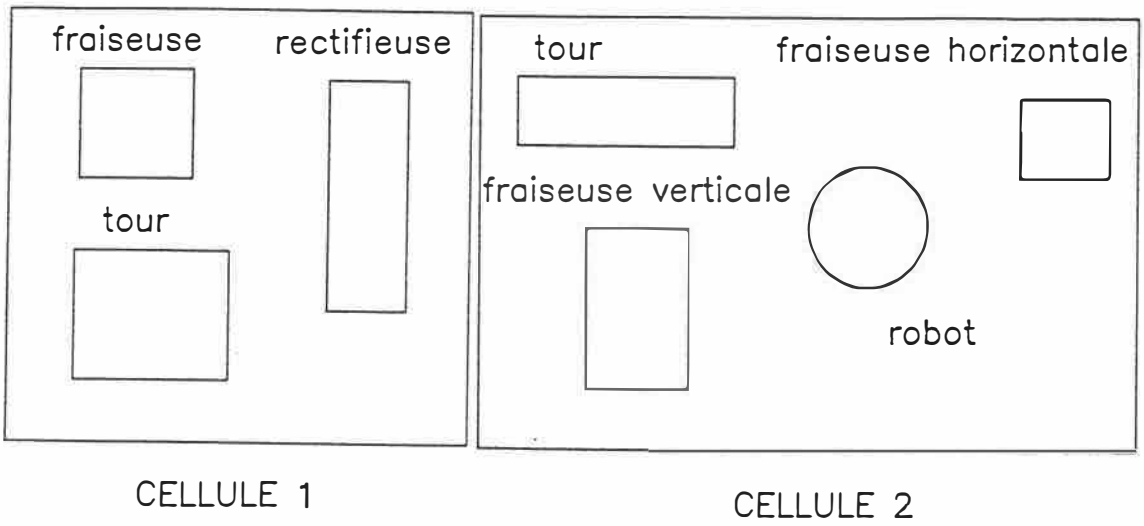
Agencement Fonctionnel
Figure B.2



Agencement autour de produit
Figure B.3

La fabrication cellulaire comporte de multiples avantages qui permettent d'améliorer la productivité et de contribuer au processus d'une intégration et d'une automatisation flexible de l'usine informatisée. La figure B.4 illustre l'agencement de cette catégorie.

Cet intérêt marqué pour la fabrication cellulaire est devenue la pierre angulaire de l'évolution des méthodes de fabrication axées vers une production flexible assistée par ordinateur telle que définie à l'annexe A.



Cellule de fabrication flexible

Figure B.4

Si on recule au début des années 80, le contrôleur de cellule était un terme inconnu [19]. A cette époque, il était plutôt question de système manufacturier flexible (Flexible Manufacturing System-FMS). Ces sytèmes regroupaient de 5 à 25 machines et étaient contrôlés par un énorme système informatique central. Cette idée d'atelier flexible s'était particulièrement développée avec l'arrivée des machines-outils à commandes numériques (MOCNs) qui offraient la possibilité de fabriquer différentes pièces sans interruption. Les ressources qu'exigeaient ces FMS (monétaires, équipements, expertises, etc.) ont restreint l'application de ces projets qu'à de grandes entreprises où les grands volumes de production demandaient l'assistance

de la puissance informatique. Malheureusement, pendant cette première phase d'implantation des FMS, la complexité de ces sytèmes, le cycle de vie relativement court de ces équipements, leur manque de flexibilité et leur inefficacité économique ont mis en péril la poursuite de ce projet. En effet, l'objectif principal qui visait une plus grande flexibilité des opérations manufacturières a été un aspect négligé et rarement implanté. Il devint vite évident que ces énormes et complexes systèmes ne pouvaient accommoder la grande majorité des manufacturiers. Une approche plus sage suggèrait comme départ une organisation composée de petites cellules de fabrication flexible qui, plus tard, pourraient être reliées et intégrées pour finalement en arriver à une FMS. Les FMS furent donc divisés et distribués en des entités de production plus modestes et plus faciles à surveiller. C'est un peu dans ces circonstances qu'est apparu le contrôleur de cellule.

La fabrication cellulaire rejoint aussi les nouvelles stratégies de production (JIT, gestion totale de qualité, flexibilité, technologie de groupe). Ceci s'explique par divers avantages incontestablement associés à la fabrication cellulaire. Ces avantages se résument comme suit:

a. Réduction des temps de montage;

b. Réduction des en-cours;

c. Réduction de la manutention;

d. Flexibilité accrue;

e. Simplification du processus de l'automatisation;

f. Réduction des délais de fabrication;

g. Contrôle distribué.

Cependant, la fabrication cellulaire donnait aussi naissance à de nouvelles difficultés. Une utilisation maximale de l'équipement, la disponibilité des machines de remplacement en cas de panne rendent la planification des horaires de production plus difficile et moins flexible. Le contrôleur de cellule doit disposer de fonctions lui permettant de s'acquitter de cette tâche. Les cellules de fabrication flexibles semblaient alors être devenues la solution idéale aux pressions d'un marché très concurrentiel, où l'on devait produire dans des délais plus courta une plus grande variété de pièces de bonne qualité et à bas prix. Il venait aussi remplir un trou laisser vide dans la structure de contrôle d'une usine informatisée. Le contrôleur de cellule est l'élément clé pour relier les systèmes manufacturiers des hauts niveaux de la structure de contrôle aux équipements sur le planché manufacturier. Tous ces différents systèmes entourant le contrôleur de cellule définissent son "environnement". Voilà la lourde tâche que doit combler le contrôleur de cellule.

Pour répondre à ce besoin, les FMS se sont développés sous l'influence de deux tendances. D'un côté, il y avait les grands sytèmes manufacturiers (CAO/FAO, GMAO, etc.) qui voulaient rejoindre le plancher manufacturier, alors que de l'autre côté, il y avait aussi cette même tendance des MOCNs, PLCs, robots, etc. de rejoindre ces mêmes sytèmes manufacturiers. Cette réalité peut être imagée par le tunnel qui doit relier la France et l'Angleterre. On commence à creuser de chaque côté de la Manche et on espère se rencontrer quelque part au milieu. Le contrôleur de cellule est en quelque sorte l'élément de coordination, au coeur de la structure de contrôle, qui assure que les deux bouts de tunnel sont reliés convenablement.

Définition d'un contrôleur de cellule

De façon générale, le contrôleur se définit comme suit: **"ordinateur ayant comme fonctions de base de coordonner et de gérer les opérations d'un groupe de machines qui opèrent ensemble à l'intérieur d'une cellule de fabrication, et d'intégrer ses opérations avec l'ensemble des autres systèmes de l'usine".** Les efforts amorcés pour développer et implanter ce nouveau concept dans l'industrie a conduit à une véritable tour de Babel. L'absence d'un modèle générique permit l'évolution de contrôleurs de cellule tous plus différents les uns que les autres. A titre d'exemple, des

études ont démontré que le niveau décisionnel des contrôleurs de cellule mis à la disposition de l'industrie oscillait entre les niveaux 1 et 3 de la structure de contrôle proposée à la section A.3 [22]. Certains utilisaient même les contrôles des MOCNs comme contrôleur de cellule. Il fallu se rendre à l'évidence qu'une seule définition ne pouvait couvrir toutes les fonctions, le niveau décisionnel et les tâches qu'un contrôle de cellule doit remplir au sein d'une FMS ou à l'échelle de toute l'usine informatisée.

Pour élaborer un modèle générique complet et sans ambiguïté, deux outils fondamentaux doivent être utilisés. Le premier est la structure hiérarchique de contrôle et le deuxième est le modèle conceptuel de fabrication (voir section A.1) qui décrit toutes les fonctions de base d'une usine. Une structure de contrôle bien définie sert à délimiter les frontières du niveau de contrôle du contrôleur de cellule, alors que le modèle conceptuel de fabrication identifie ses fonctions à l'intérieur de ces frontières. La section A.3 situe bien les fonctions du contrôleur de cellule à l'intérieur de cette structure hiérarchique de contrôle. Le contrôle cellulaire se situe entre les éléments de contrôle de la cellule (automate programmable, contrôleurs à commandes numériques, les contrôles robot etc.) et les systèmes de conception et de planification

manufacturière. La liste de fonctions que couvrent toutes les applications possibles d'un contrôleur de cellule est relativement longue. La section B.2 donne une liste complète de toutes les fonctions assignées au contrôleur de cellule, pour lui donner un aspect générique. Cette analyse est une synthèse de la recherche bibliographique reliée au contrôleur de cellule, dans le cadre de ce projet. La section B.3 mettra en évidence d'autres caractéristiques qui permettent de différencier le contrôle cellulaire des autres niveaux de la structure hiérarchique de contrôle (capacité de traitement, ressource informatique, etc.).

B.2 Fonctions d'un contrôleur de cellule

Cette section décrit les fonctions d'un contrôleur de cellule. Ces fonctions sont divisées en deux catégories; fonctions d'application et fonctions de support. Les fonctions d'application exécutent différentes tâches de planification, de contrôle, de suivi et de gestion de toutes les activités traitées par une cellule de fabrication. Pour accomplir ces tâches en harmonie (entre elles et avec l'environnement du contrôleur de cellule), une série de fonctions de support doit aussi être implantée dans le contrôleur de cellule. La communication, la ges-

tion de données, l'utilisation spécifique du système d'exploitation et les interfaces entre les applications, sont des aspects critiques que les fonctions de support doivent gérer. C'est par leur intermédiaire que les fonctions d'applica-tion seront reliées entre-elles et à l'environnement du contrôleur de cellule.

Bien que les fonctions spécifiques d'un contrôleur de cellule varient d'une application à une autre, la liste qui suit, identifie toutes les fonctions d'un contrôleur de cellule générique. Elles sont décrites de bas en haut, commençant par les fonctions de support (fonctions de bas niveau) jusqu'aux fonctions d'application de haut niveau (planification de la production).

B.2.1 Fonctions de support

Communication

Le contrôleur de cellule doit être en mesure de communiquer avec les éléments suivants:

a. Equipements de la cellule;

b. Ses pairs (autres cellules);

c. Système des niveaux supérieurs (CAO, GMAO, etc.);

d. Opérateurs de la cellule.

Les services de communication entre ces éléments consistent principalement à établir un protocole qui doit répondre à des normes spécifiques. Ce protocole doit traiter la partie matériel des équipements (interface aux médiums de communication) jusqu'au format de contenu des messages et données. Il devra aussi répondre à des normes de temps réel, de capacité de débit, et être transparent aux logiciels d'application. "The Manufacturing Automation Protocol (MAP)" [38 à 49] constitue un outil des mieux adapté pour cette fonction.

Gestion des données

La gestion des données doit permettre un accès total à la structure de l'information distribuée sur le réseau (données de suivi de la cellule, données de conception et de planification, etc.). Elle doit aussi être conforme aux critères de conception tels l'intégrité, la sécurité et les privilèges d'accès, etc.. Des critères de performance tels réponses en temps réel et les capacités de débit sont critiques et très variés pour un contrôleur de cellule. Il y a, d'une part, des signaux qui demandent une réponse immédiate (outil brisé) et une faible capacité de débit (1 à 8 bits), et d'autre part, des échanges de données qui demandent des capacités de stokage très élevées (programme

de commandes) mais avec des critères de temps réel moins exigeants. Ces considérations de performance exigent donc différents types de gestion de données. Les base de données, les échanges et le traitement immédiat de courts messages, l'utilisation de drapeaux sont les principales techniques de gestion de données.

Système directeur

Le système directeur d'un contrôleur de cellule est en quelque sorte le système d'exploitation du système. Il doit gérer les ressources informatiques, il supervise les procédures de démarrage, d'arrêt et de rétablissement du système. Il synchronise les procédures, les communications inter-procédures et les priorités d'exécution et il permet un traitement de procédures en parallèle. Le système directeur gère aussi les événements et les drapeaux (event logging & Flags) pouvant surgir à l'intérieur de la cellule. Les sytèmes d'exploitation Unix et VMS sont particulièrement bien adaptés pour ce type de tâches.

Interface aux usagers

L'interface aux usagers se divise en deux catégories: interface humaine et interface aux applications. L'interface humaine est une interaction et une collaboration entre l'opérateur et le contrôleur de cellule. L'entrée de données, l'affichage d'informations de façon automatique ou sur demande sont les principales tâches de cette fonction. L'interface avec l'opérateur doit afficher les données suffisantes pour que l'opérateur puisse accomplir ses fonctions. Trop de données portent à la confusion alors que pas assez de données peuvent empêcher une prise de décision pertinente au problème. Les différents modes d'interface se situent au niveau de la commande, du menu, des tableaux, du graphique et d'une console de contrôle spécial. L'interface aux usagers permet à différentes applications (fonction d'applications) de collaborer entre elles en s'échangeant des services. Par exemple, la fonction de gestion des outils peut solliciter les services de la fonction suivi pour obtenir de l'information sur les outils utilisés par une MOCN particulière.

B.2.2 Fonctions d'application

Suivi de la cellule

Toute l'information nécessaire au contrôle et à la gestion de la cellule est mise à jour de façon dynanique. Cette fonction permet de fournir l'état courant de la cellule de façon globale et de chaque équipement individuel de la cellule. Cette information doit être mise à la disposition des différentes fonctions de contrôle par l'intermédiaire de base de données ou être immédiatement traitée par le système directeur lorsqu'il s'agit d'événements ou de drapeaux (events logging).

Contrôle des unités fonctionnelles

La principale responsabilité de cette fonction consiste à envoyer des commandes aux unités fonctionnelles en fonction de leur état et de l'horaire de production. Une unité fonctionnelle est un équipement à l'intérieur de la cellule, auquel un élément de contrôle (homme, contrôleur de cellule, etc.) est ajouté. Elle doit donc être toujours à l'affût des données provenant de la fonction de suivi pour envoyer les bonnes commandes au moment opportun. Les commandes sont principalement des programmes préparés hors ligne (programmes à commandes numériques, programmes à un

robot, programmes d'un PLC, etc.). Les fonctions de communication permettent d'envoyer les commandes, alors que la fonction de gestion de données permet d'avoir accès à ces différents programmes de commandes à travers le réseau. Cette fonction de contrôle peut aussi assurer l'arrêt et la reprise des activités en cas d'erreurs. Le rôle de l'opérateur varie selon le mode d'opération (manuel, semi-automatique, automatique). L'initialisation des unités peut aussi exiger l'intervention d'un opérateur.

Contrôle de la manutention

Cette fonction a pour but de contrôler les mouvements du matériel à l'intérieur de la cellule, ainsi que ses entrées et sorties. Cette fonction est donc en lien direct avec les équipements de manutention tels convoyeur, monorail et véhicules auto-guidés . Cette fonction est très similaire à la précédente.

Gestion du matériel

Cette fonction fait un suivi et identifie les matériaux à l'intérieur de la cellule. L'information suivante est fournie:

a. Localisation du matériel;

b. Description du matériel(No de série, type de maté-

riel, etc.);

c. Etat des produits en cours, des produits finis, des rebus et produits secondaires.

En fait, la gestion du matériel est un inventaire continuel du matériel à l'intérieur de la cellule.

Gestion des outils et bridages

Cette fonction assure un contrôle de toutes les ressources réutilisables pour diverses opérations manufacturières. La gestion des outils et bridages garde un inventaire des outils, suit l'usure des outils et s'assure que les bons outils et bridages sont livrés à la cellule. Elle fournit l'information à des systèmes tels la GMAO pour la mise à jour de l'inventaire. Cette fonction doit aussi avoir un lien avec la fonction exécution de l'horaire our qu'elle puisse livrer les outils à la bonne place et au bon moment.

Gestion des alarmes et recouvrement d'erreurs

Cette fonction détecte les conditions de fonctionnement anormales de la cellule. Face à ces problèmes, elle assiste l'opérateur à diagnostiquer l'erreur et prévoit une procédure selon la gravité de la situation. L'intégration

d'un système de sécurité permet l'arrêt immédiat des opérations en cas de problèmes majeurs. Un service de maintenance (historique des opérations, maintenance préventive) peut aussi être ajouté à cette fonction.

Contrôle de la qualité

Cette fonction exécute, suit et modifie des instructions et des procédures de contrôle de qualité à l'intérieur de la cellule.

Exécution de l'horaire de production

Cette fonction coordonne tous les services fournis par les fonctions précédentes afin d'exécuter un horaire de production préalablement établi. Elle initie les services fournis par les fonctions du contrôleur de cellule et leur fournit l'information et les ressources nécessaires (nom des programmes de commandes, liste de matériel, d'outils, etc.) pour accomplir leur tâche.

Génération des horaires de production

Cette fonction planifie les activités que doit accomplir la cellule. Comme toutes les autres fonctions, la génération d'horaire varie grandement d'une cellule à une

autre. Dans certains cas, l'horaire peut être simplement basé sur le principe de premier-arrivé, premier-servi. Les tâches sont donc mises en file d'attente et exécutées au fur et à mesure. Cependant, dans d'autre cas où il y a plusieurs ressources critiques (outil, matériel, priorité des tâches, etc.), la planification peut devenir très sophistiquée. Ce type de planification vise aussi une utilisation efficace des ressources de la cellule en fonction de la planification établie par les systèmes de niveau supérieurs et l'état de la cellule. Cette fonction peut utiliser un système de GMAO pour recevoir et planifier la production des tâches déléguées à la cellule.

B.3 Caractéristiques d'un contrôleur de cellule

Plusieurs catégories de contrôleurs de cellule se manifestent. Les différents contrôleurs de cellule se caractérisent par l'utilisation de matériel informatique (hardware) et logiciels spécifiques. Cette section analyse les caractéristiques de ces deux éléments et étudie comment ils peuvent être utilisés pour le développement des contrôleurs de cellule.

Le type de matériel informatique utilisé pour le contrôle cellulaire dépend de cinq facteurs:

a. Temps de réponse;

b. Quantité d'équipement à l'intérieur de la cellule;

c. Complexité des fonctions de la cellule;

d. Nombre d'usagers;

e. Espaces mémoires.

Le type d'ordinateur qui peut répondre aux divers besoins de la cellule se situe entre les mini-ordinateurs (DEC PDP/11, DEC Micro VAX, HP 1000 etc.) et les PCs IBM industriels. Les contrôleurs de cellule sont, soit une copie exacte de ces ordinateurs d'usage général ou soit une modification de ces versions (Allen Bradley VISTA 2000, Gould Cell Controller, etc.). Dans le dernier cas, des équipements spéciaux tels des éléments de contrôle, d'affichage et d'entrées/sorties ont tout simplement été ajoutés aux ordinateurs d'usage général. Il y a aussi les "ordinateurs à commandes numériques" (Computer Numerical Control - CNC) qui ont leur part du marché. Ces ordinateurs sont fournis par les fabricants de contrôleurs de MOCNs. Cependant, ces ordinateurs ne peuvent pas supporter des applications très lourdes et ils offrent peu de flexibilité. Pour une application sérieuse, il ne faut considérer que la première catégorie. Ainsi une cellule constituée d'un robot, d'une MOCN et des fonctions d'application très élémentaires pourrait être facilement représentée par un PC IBM. Pour une cellule plus complexe avec 3 ou 4 MOCNs, un système de manutention complet et des fonctions

de planification et de contrôle avancés, il faut inévitablement se tourner vers les mini-ordinateurs.

Les logiciels nécessaires pour le développement d'un contrôleur revêt un aspect très important. Les principaux critères que doivent supporter les logiciels se listent comme suit:

a. Tâche en temps réel;
b. Traitement en parallèle (multi-tasking);
c. Communication entre procédures;
d. Priorité et synchronisation d'exécution;
e. Programmation en langage de haut niveau;
f. Protocole de communication.

On divise la partie logiciel en deux composantes de base, le système d'exploitation et le code d'exploitation. Les fonctions de ces deux composantes ont été définies à la section B.2 (fonction de support et d'application). C'est le système d'exploitation qui supporte la majorité des critères énumérés précédemment. Face à ces critères, plusieurs vendeurs ont vite modifié certains systèmes d'exploitation pour les adapter à ces spécifications (par exemple, MS DOS modifié pour IC DOS qui est devenu un système d'exploitation en temps réel). Un choix logique de système d'exploitation offre deux possibilités, VMS ou Unix. VMS est le mieux adapté aux critères mentionnés

précédemment. Cependant, Unix est le plus accepté et offre donc de plus grandes possibilités de portabilité.

L'aspect communication est aussi un élément vital au sein du contrôle cellulaire. Le contrôleur doit pouvoir supporter des communications avec les éléments suivants:

a. Equipements à l'intérieur de la cellule;

b. Usagers;

c. Pairs (autres cellules);

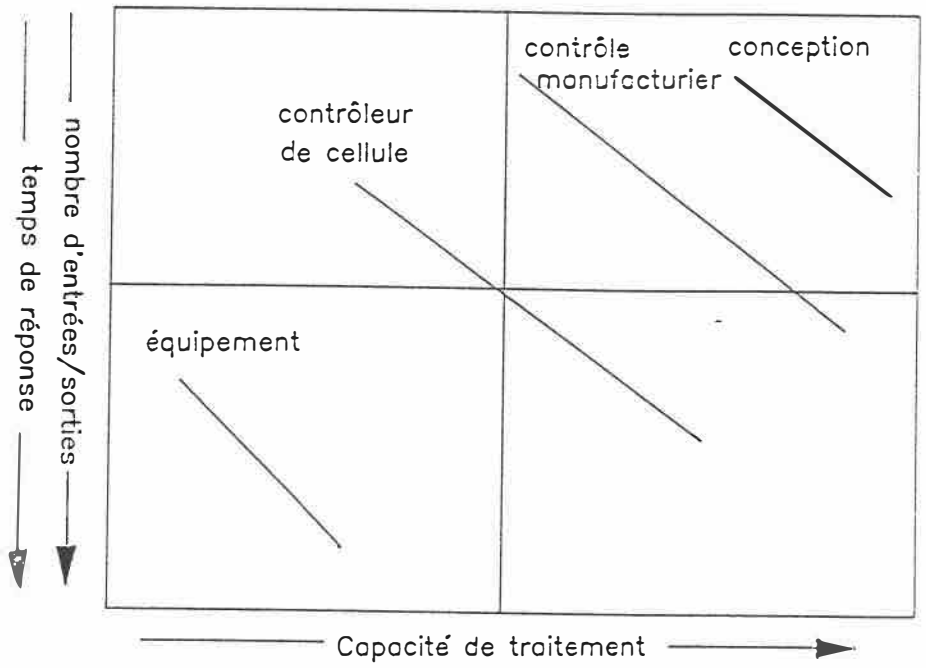
d. Systèmes manufacturiers de haut niveau.

L'élément qui, idéalement, peut relier tous ces constituants est appelé un réseau local. Un réseau local permet à un nombre important d'équipements et de procédures d'application de communiquer ensemble et d'échanger n'importe quels types d'informations avec un minimum de contraintes d'utilisation et de durée d'exécution [48]. Il relie des systèmes différents, plus ou moins autonomes, pour réaliser un système intégré.

Ceci implique des équipements à connecter présentant des différences de fonctionnement. Il en résulte des contraintes de communication fonction de l'hétérogénéité des matériels provenant de divers fabricants. Un réseau local doit rendre compatible la communication entre ces diverses

applications en normalisant les techniques de transmission et l'organisation logique des échanges de données.

Le contrôleur de cellule est le pont entre deux mondes complètement différents. Il y a, d'un côté, un environnement caractérisé par plusieurs entrées/sorties dirigées vers les équipements de la cellule, et de l'autre côté, un environnement informatique d'usage général (general purpose) avec de grandes capacités de traitement [18]. La figure 3.5 illustre la situation globale des sytèmes informatiques selon la structure de contrôle.



Systèmes informatiques selon le niveau de contrôle

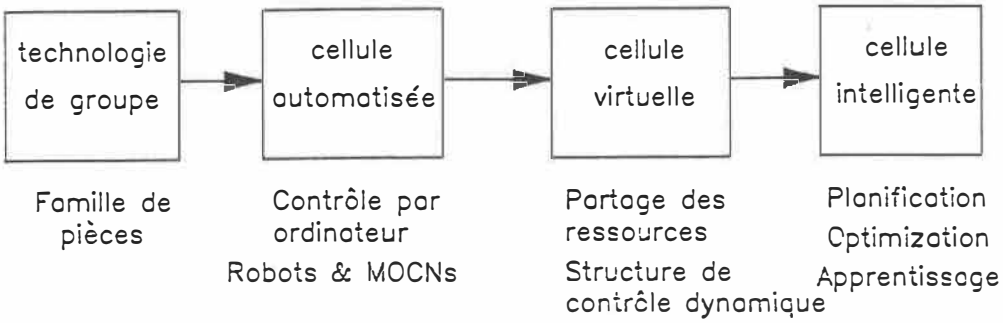
Figure B.5

On remarque que le contrôleur de cellule doit répondre à des capacités de traitement assez élevées pour supporter ses fonctions d'application. Il doit aussi offrir un système d'exploitation capable de supporter une grande diversité de tâches (temps réel, priorité, communication, etc.). Finalement, il doit fournir une interface avec tous les niveaux de contrôle avec des contraintes de coûts et de flexibilité d'un système ouvert. C'est pourquoi les versions modifiées d'ordinateur d'usage général semblent être une solution à ce problème.

B.4 Tendances futures

L'apparition d'un contrôleur de cellule au sein d'une organisation manufacturière est récente et son évolution est très rapide. Le développement et l'application concrète des contrôleurs de cellule dans l'industrie sont largement devancés par les concepts et les fonctions que l'on voudrait voir ressortir de ces derniers.

L'évolution du contrôleur cellule telle que vue par National Bureau of Standards [31] , est montrée à la figure B.6. Actuellement, l'industrie traverse la deuxième étape de cette évolution (cellule automatisée). Il est cependant intéressant d'avoir un oeil sur les applications futures des contrôleurs de cellule.



Evolution de la fabrication cellulaire

Fig. B.6

Le concept de la fabrication cellulaire virtuelle a été proposé par le NBS. La principale différence avec ses pré-cédents repose sur la façon d'assigner une localisation phy-sique. La localisation physique et l'identité de la famille de pièces des cellules traditionnelles sont fixes, alors que pour la cellule de fabrication virtuelle, ces éléments ne sont pas fixes, mais plutôt dynamiques. Les éléments de la cellule varient avec les besoins des traitements manufacturiers de la pièce. Une cellule virtuelle n'est donc pas associée avec un groupe de machines fixes. Les stations de travail sont assignées à temps plein ou à temps partagé avec d'autres cellules de fabrication alternative. Lorsque la famille de pièces change, l'affectation

des stations de travail change aussi.

Les concepts de la fabrication cellulaire virtuelle sont très intéressants et permettent une plus grande flexibilité pour répondre aux changements de production. Cependant avant de voir l'implantation de ces concepts, deux développements majeurs doivent être d'abord accomplis [20]: augmentation du niveau d'intelligence des contrôleurs de cellule et mise en place d'un protocole de communication.

Le but ultime de cette évolution doit atteindre la cellule intelligente. Les systèmes experts et l'intelligence artificielle sont certainement des atouts qui pourraient être ajoutés aux contrôleurs de cellule. Personne sait quand et où arrêtera l'évolution de ces deux éléments. Il est certain que les principes de l'intelligence artificielle pourraient contribuer à imbriquer des fonctions d'optimisation, de planification et d'apprentissage au contrôleur de cellule.

B.5. Approche globale pour le développement d'un contrôleur de cellule de fabrication

Les sections précédentes ont décrit de façon générale tous les éléments qui constituent le contrôleur de cellule. La présente section définit de façon précise l'information échangée entre le contrôleur de cellule et les autres niveaux décisionnels. Le traitement de cette information par le contrôleur de cellule est ensuite expliqué. Ceci fera ressortir une approche de développement d'un contrôleur de cellule.

Le travail du contrôleur de cellule commence au moment où une tâche lui est déléguée par les niveaux décisionnels supérieurs. L'information définissant cette tâche est envoyée au contrôleur de cellule dans un "ordre de tâche". Un ordre de tâche est un résumé de données de conception et de planification générées par les niveaux de contrôle supérieurs (PPAO, CAO, TMAO). Celui-ci comprend les données suivantes:

a. Nombre de pièces requises;
b. Délai de livraison du produit fini et niveau de priorité;
c. Identification des traitements manufacturiers (type, séquences des opérations, temps des opérations);

d. Liste et description des:

1. outils;
2. montages & bridages;
3. matériel;
4. produits finis;
5. programmes de commandes.

Sous réception d'un "ordre de tâche", le contrôleur établiera un horaire de production (fonction génération des horaires de production). Cette fonction devra prendre en considération les tâches déjà en attente, les en-cours, le nombre de pièces requises, les dates de livraisons, la priorité de la tâche, et le séquencement possible des opérations, pour ensuite produire un horaire de production. Plusieurs logiciels d'application de GMAO peuvent accomplir cette fonction. Ils doivent être intégrés au contrôleur de cellule. L'horaire ainsi obtenu, doit fournir les renseignements suivants:

a. Temps approximatifs d'arrivée des montages, des outils, et du matériel aux stations de travail;
b. Temps approximatifs de la mise en place des montages et des outils sur les stations de travail;
c. Temps approximatifs pour le début et la fin des opérations (i.e. envoi de commandes aux unités fonctionnelles) sur la pièce.

La fonction "exécution des horaires de production" synchronisera et contrôlera ces opérations de façon sécuritaire et efficace, en initiant les services appropriés (contrôle des unités fonctionnelles, manutention, etc.) aux temps opportuns. Un suivi constant de ces opérations doit aussi être fait.

Le déroulement d'une tâche suit généralement les cinq étapes suivantes:

a. Envoi d'instructions au système de manutention et d'entreposage de l'atelier, pour commander le montage de la pièce, le matériel brut et les outils (fonctions de gestion d'outils, de gestion du matériel et de gestion des montages);

b. Envoi d'instructions au système de manutention de l'atelier pour le transfert des outils, des montages et du matériel à la zone de chargement et déchargement de la cellule (fonction de contrôle de la manutention);

c. Envoi d'instructions au système de manutention de la cellule, pour le transfert des outils et des montages sur les unités fonctionnelles (la fonction de contrôle de la manutention);

d. Envoi de commandes aux unités fonctionnelles pour accomplir les opérations de traitement (fonction de contrôle des unités fonctionnelles);

e. Envoi d'instructions au système de manutention de la cellule, pour le transfert du montage à une autre unité fonctionnelle ou pour livraison de la pièce à la zone de déchargement (fonction de contrôle de la manutention) .

Il est important de noter que les systèmes d'entreposage et de manutention sont des systèmes pairs au contrôleur de cellule (i.e. système de même niveau et indépendant).

Cette approche implique l'utilisation maximale de l'intelligence locale du contrôleur de cellule. En effet, le contrôle et le suivi d'une tâche sont principalement effectués par le contrôleur de cellule avec un minimum d'intervention des niveaux supérieurs. Les fonctions de recouvrement d'erreurs et de planification de l'horaire d'une tâche sont décentralisées et principalement accomplies par le contrôleur de cellule. Ainsi, les données transférées du contrôleur de cellule vers les niveaux supérieurs seront gardées au minimum. Néanmoins, pour atteindre un niveau d'intégration tel que stipulé antérieurement, deux classes d'informations seront fournies aux niveaux supérieurs:

a. Etat de la cellule;

b. Erreurs majeures.

La première catégorie fournit des données pertinentes pour la planification manufacturière établie par les niveaux supérieurs. On y retrouve l'information suivante:

a. Les en-cours;
b. Le taux d'utilisation et de disponibilité des ressources de la cellule;
c. Le nombre de pièces fabriquées;
d. L'état des outils;
e. Les besoins de maintenance et d'entretien préventif;

L'autre catégorie de données signale les erreurs qui ne peuvent être résolues localement. Ces types d'erreurs sont:

a. Horaire impossible à rencontrer;
b. Outils & matériels défectueux;
c. Erreurs de conception (montage, commandes, etc.);
d. Bris ou panne majeure.

Le contrôleur de cellule doit aussi échanger de l'information avec ses systèmes pairs (autre cellule, système de transport et de manutention, etc.). En effet, lorsqu'une tâche est assignée à un contrôleur de cellule, celui-ci est responsable d'échanger des messages avec ses systèmes pairs en vue d'obtenir leur collaboration pour

diverses aspects de la tâche qu'il ne peut accomplir. Par exemple, une opération de traitement thermique entre deux opérations d'usinage, l'envoi d'outils, de montages ou de matériels à la cellule sont des opérations que le contrôleur de cellule peut déléguer à ses systèmes pairs.

Finalement, il y a les échanges d'informations entre le contrôleur de cellule et les niveaux inférieurs. Ces échanges sont regroupés en deux classes: l'envoi de commandes aux équipements et réception de données de suivi de la cellule.

Les données de suivi sont générées par les contrôleurs d'équipements (contrôleurs numériques, PLCS, etc.). Ces données de suivi peuvent être sollicitées ou non-sollicitées. Le suivi sollicité exige l'envoi de commandes spécifiques aux équipements, pour qu'ils retournent les données demandées par le contrôleur de cellule. Ce type de données est généralement relié à des procédures de gestion d'outils, de maintenance, etc.. Le suivi non-sollicité reproduit des données envoyées au contrôleur de cellule sans que celui-ci en fasse la demande. Les interruptions, les alarmes, l'état des machines et des opérations sont généralement le type d'informations envoyées au contrôle de cellule sans que celui-ci en fasse la demande.

B.6 Conclusion

Ce chapitre a défini de façon globale un modèle générique pour un contrôleur de cellule. En premier lieu, un bref historique a expliqué les circonstances entourant l'apparition des contrôleurs de cellule pour insister sur leur utilité au sein d'un système manufacturier flexible. Une définition en terme de fonctions et des implications décisionnelles du contrôleur de cellule a ensuite servi de base pour définir un modèle générique précis. Face à ce modèle, les caractéristiques du matériel physique et des logiciels de développement d'un contrôleur de cellule ont été décrits. Finalement, un regard a été porté sur les développements futurs qui sont anticipés dans le domaine des contrôleurs de cellule.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00290810 9