

N° d'ordre

TU 8839

THESE

présentée à

LA FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE GRENOBLE

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR INGENIEUR

par

Philippe GABRINI

Ingénieur A. M. Master of Science

Etude et réalisation d'un système de programmation pour la commande numérique des machines-outils

Thèse soutenue le

devant la commission d'examen :

MM. J. KUNTZMANN Président

L. BOLLIET

F. GENUYS

R. PERRET

C. SAUVAIRE

R. SIBILLE

Examineurs

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

L I S T E D E S P R O F E S S E U R S

Doyen Honoraire : Monsieur M. MORET
Doyen : Monsieur E. BONNIER

PROFESSEURS TITULAIRES

MM.	NEEL Louis	Physique Expérimentale
	KRAVTCHENKO Julien	Mécanique Rationnelle
	CHABAUTY Claude	Calcul différentiel et intégral
	BENOIT Jean	Radioélectricité
	CHENE Marcel	Chimie Papetière
	FELICI Noël	Electrostatique
	KUNTZMANN Jean	Mathématiques Appliquées
	BARBIER reynold	Géologie Appliquée
	SANTON Lucien	Mécanique des Fluides
	OZENDA Paul	Botanique
	FALLOT Maurice	Physique Industrielle
	KOSZUL Jean Louis	Mathématiques
	GALVANI Octave	Mathématiques
	MOUSSA André	Chimie Nucléaire
	TRAYNARD Philippe	Chimie Générale
	SOUTIF Michel	Physique Générale
	CRAYA Antoine	Hydrodynamique
	REULOS René	Théorie des Champs
	BESSON Jean	Chimie Minérale
	AYANT Yves	Physique Approfondie
	GALLISSOT François	Mathématiques
Mlle	LUTZ Elisabeth	Mathématiques
MM.	BLANBERT Maurice	Mathématiques
	BOUCHEZ Robert	Physique Nucléaire
	LLIBOUTRY Louis	Géophysique
	MICHEL Robert	Minéralogie et pétrographie
	BONNIER Etienne	Electrochimie et Electrométallurgie
	DESSAUX Georges	Physiologie animale
	PILLET Emile	Physique Industrielle-Electrotechnique
	YOCCOZ Jean	Physique Nucléaire théorique
	DEBELMAS Jacques	Géologie Générale
	BERBER Robert	Mathématiques
	PAUTENET René	Electrotechnique
	MALGRANGE Bernard	Mathématiques Pures
	VAUQUOIS Bernard	Calcul Electronique
	BARJON Robert	Physique Nucléaire
	BARBIER Jean Claude	Physique
	SILBERT Robert	Mécanique des Fluides
	BUYLE-BODIN Maurice	Electronique
	DREYFUS Bernard	Thermodynamique

MM.	KLEIN Joseph	Mathématiques
	VAILLANT François	Zoologie et Hydrobiologie
	ARNAUD Paul	Chimie
	SENGEL Philippe	Zoologie
	BARNOUD Fernand	Biosynthèse de la Cellulose
	BRISSONNEAU Pierre	Physique
	GAGNAIRE Didier	Chimie Physique
Mme	KOFLER Lucie	Botanique
MM.	DEGRANGE Charles	Zoologie
	PEBAY-PEROULA Jean Claude	Physique
	RASSAT André	Chimie Systématique
	DECROS Pierre	Cristallographie Physique
	DODU Jacques	Mécanique Appliquée I.U.T.
	ANGLES D'AURIAC Paul	Mécanique des Fluides
	LACAZE Albert	Thermodynamique
	GASTINEL Noël	Analyse Numérique
	GIRAUD Pierre	Géologie
	PERRET René	Servo-mécanisme
	PAYAN Jean Jacques	Mathématiques Pures

PROFESSEURS SANS CHAIRE

MM.	GIDON Paul	Géologie
Mme	BARBIER Marie-Jeanne	Electrochimie
Mme	SOUTIF Jeanne	Physique
MM.	COHEN Joseph	Electrotechnique
	DEPASSEL R.	Mécanique des Fluides
	GLENAT René	Chimie
	BARRA Jean	Mathématiques Appliquées
	COUMES André	Electronique
	PERRIAUX Jacques	Géologie et Minéralogie
	ROBERT André	Chimie Papetière
	BIARREZ Jean	Mécanique Physique
	BONNET Georges	Electronique
	CAUQUIS Georges	Chimie Générale
	BONNETAIN Lucien	Chimie Minérale
	DEPOMMIER Pierre	Physique Nucléaire-Génie Atomique
	HACQUES Gérard	Calcul Numérique
	POLOJADOFF Michel	Electrotechnique
Mme	KAHANE Josette	Physique
Mme	BONNIER Jane	Chimie
MM.	VALENTIN Jacques	Physique
	REBECQ Jacques	Biologie
	DEPORTES Charles	Chimie
	SARROT-REYNAULD Jean	Géologie
	BERTRANDIAS Jean Paul	Mathématiques
	AUBERT Guy	Physique

PROFESSEURS ASSOCIES

MM.	RODRIGUES Alexandre	Mathématiques Pures
	MORITA Susumu	Physique Nucléaire
	RADHAKRISHNA	Thermodynamique

MAITRES DE CONFERENCES

MM.	LANCIA Roland	Physique Atomique
Mme	BOUCHE Liane	Mathématiques
MM.	KAHANE André	Physique Générale
	DOLIQUE Jean Michel	Electronique
	BRIERE Georges	Physique
	DESRE Georges	Chimie
	LAJZEHOWICZ Joseph	Physique
	LAURENT Pierre	Mathématiques Appliquées
Mme	BERTRANDIAS Françoise	Mathématiques Pures
MM.	LONGQUEUE Jean Pierre	Physique
	SOHM Jean Claude	Electrochimie
	ZADWORNY François	Electronique
	DURAND François	Chimie Physique
	CARLIER Georges	Biologie Végétale
	PFISTER Jean Claude	Physique
	CHIBON Pierre	Biologie Animale
	IDELMAN Simon	Physiologie animale
	BLOCH Daniel	Electrotechnique I.P.
	MARTIN-BOUYER Michel	Chimie (C.S.U. Chambéry)
	SIBILLE Robert	Construction mécanique (I.U.T.)
	BRUGEL Lucien	Energétique I.U.T.
	BOUVARD Maurice	Hydrologie
	RICHARD Lucien	Botanique
	PELMONT Jean	Physiologie Animale
	BOUSSARD Jean Claude	Mathématiques Appliquées (I.P.G.)
	MOREAU René	Hydraulique I.P.G.
	ARMAND Yves	Chimie I.U.T.
	BOLLIET Louis	Informatique I.U.T.
	KUHN Gérard	Energétique I.U.T.
	PEFFEN René	Chimie I.U.T.
	GERMAIN Jean Pierre	Mécanique
	JOLY Jean René	Mathématiques Pures
Melle	PIERY Yvette	Biologie Animale
	BERNARD Alain	Mathématiques Pures
	MOHSEN Tahsin	Biologie (C.S.U. Chambéry).
	CONTE René	Mesures Physiques I.U.T.
	LE JUNTER Noël	Génie Electrique Electronique I.U.T.
	LE ROY Philippe	Génie Mécanique I.U.T.
	ROMIER Guy	Technique Statistiques Quantitatives I.U.T.
	VIALON Pierre	Géologie
	BENZAKEN Claude	Mathématiques Appliquées
	MAYNARD Roger	Physique
	DUSSAUD René	Mathématiques (C.S.U. Chambéry)
	BELORIZKY Elie	Physique (C.S.U. Chambéry)
Mme	LAJZEROWICZ Jeannine	Physique (C.S.U. Chambéry)
M.	JULLIEN Pierre	Mathématiques Pures
Mme	RINAUDO Marguerite	Chimie
MM.	BLIMAN Samuel	E.I.E.
	BEGUIN Claude	Chimie Organique
	NEGRE Robert	I.U.T.

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

MM.	YAMADA Osamu	Physique du Solide
	NAGAO Makoto	Mathématiques Appliquées
	MAREZIO Massimo	Physique du Solide
	CHEECKE John	Thermodynamique
	BOUDOURIS Georges	Radioélectricité
	ROZMARIN Georges	Chimie Papetière

Je tiens à remercier

Monsieur le Professeur Jean KUNTZMANN, Directeur du Service de Mathématiques Appliquées, qui a bien voulu me faire l'honneur de présider le Jury de thèse.

Monsieur le Professeur René PERRET, Directeur du Laboratoire d'Automatique de l'Institut Polytechnique, qui a bien voulu s'intéresser à mon travail et faire partie du Jury.

Monsieur le Professeur Robert SIBILLE, Directeur du département de Génie Mécanique de l'I.U.T. de Grenoble, qui a bien voulu s'intéresser à mon travail et faire partie du Jury.

Monsieur le Professeur Louis BOLLINET, qui par ses encouragements et ses conseils m'a permis de mener ce travail à bien.

Monsieur François GENUYS, Directeur du développement du Service Bureau à IBM France, qui a suivi mon travail et dont les conseils m'ont été précieux.

Monsieur Christian SAUVAIRE, chef des Services techniques de l'ADEPA, qui a bien voulu faire partie du Jury et dont j'ai apprécié l'intérêt pour ce travail.

L'ADEPA, le groupe commande numérique de la CII et les établissements RICHIER de Pont de Claix de l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Jean LE PALMEC sans qui ce travail n'eût pas été possible.

Tous les membres du Laboratoire et le personnel des services de dactylographie et de reproduction qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cet ouvrage.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

à Anne-Marie

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

TABLE DES MATIERES

0 - INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - PRINCIPES DE BASE DE LA COMMANDE NUMERIQUE	I-1
1.1. Généralités	I-1
1.2. Principes de base.....	I-2
1.3. Modes de fonctionnement des machines-outils.....	I-5
1.3.1. Mise en position sans relation entre les déplacements sur. les différents axes de coordonnées.....	I-9
1.3.2. Mise en position avec relation entre axes de déplacement..	I-9
1.4. Instructions de commande numérique.....	I-10
1.4.1. Ordres donnés à la machine	I-10
1.4.2. Supports de programmation.....	I-12
1.4.2.1. Bandes perforées.....	I-12
1.4.2.2. Bandes magnétiques.....	I-13
1.5. Organisation générale de la commande numérique des machines.....	I-13
1.6. Principaux systèmes.....	I-16
1.6.1. Mise en position point à point.....	I-16
1.6.1.1. Systèmes analogiques.....	I-16
1.6.1.2. Systèmes numériques codés.....	I-17
1.6.1.3. Systèmes numériques à comptage.....	I-17
1.6.1.4. Systèmes mixtes.....	I-20
1.6.2. Mise en position continue	I-20
1.6.2.1. Systèmes à calculateur extérieur.....	I-21
1.6.2.2. Systèmes à calculateur intégré.....	I-21
1.7. Elaboration des instructions de commande.....	I-22
1.7.1. Types de programmation.....	I-22
1.7.2. Problèmes de détermination de la trajectoire de l'outil...	I-22
1.8. Importance de la commande numérique.....	I-24

CHAPITRE II - PROGRAMMATION EN COMMANDE NUMERIQUE	II-1
2.1. Généralités	II-1
2.2. Programmation manuelle et forme des ordres de commande numérique...	II-2
2.2.1. Programmation manuelle	II-2
2.2.2. Ordres de commande numérique.....	II-4
2.3. Programmation automatique.....	II-8
2.3.1. Généralités.....	II-8
2.3.2. Traitement des langages	II-12
2.3.3. Les différents langages	II-14
2.3.3.1. APT et l'usinage multi-axes.....	II-14
2.3.3.2. PROFILE-DATA et l'usinage en "deux axes et demi"...	II-16
2.3.3.3. AUTOSPOT et les centres d'usinage	II-16
2.3.3.4. EXAPT et l'introduction des données technologiques.	II-17
2.3.3.5. Tendances actuelles.....	II-18
 CHAPITRE 3 - ETUDE DES SYSTEMES DE PROGRAMMATION ACTUELS ET DU LAN- GAGE APT.....	 III-1
3.1. Systèmes actuels	III-1
3.2. APT	III-4
3.2.1. Généralités.....	III-4
3.2.2. Description du langage APT.....	III-5
3.2.2.1. Structure du langage.....	III-6
3.2.2.2. Instructions APT.....	III-7
3.2.2.3. Exemple de programme de pièce.....	III-11
3.2.3. Conclusion.....	III-14
3.3. Programmes d'adaptation ou postprocesseurs.....	III-16
3.3.1. Postprocesseurs point à point.....	III-16
3.3.2. Postprocesseurs en mode continu.....	III-19

CHAPITRE 4 - REALISATION DU SYSTEME	IV-1
4.1. Description du nouveau système.....	IV-1
4.1.1. Conception.....	IV-1
4.1.2. Structure du système.....	IV-2
4.1.3. Réalisation.....	IV-4
4.2. Préprocesseur.....	IV-5
4.2.1. Langage intermédiaire.....	IV-6
4.2.2. Fonctionnement du préprocesseur.....	IV-6
4.2.3. Table syntaxique.....	IV-12
4.2.4. Exemple.....	IV-14
4.3. Bibliothèque de sous-programmes.....	IV-14
4.3.1. Exemple.....	IV-18
4.4. Constructeur.....	IV-20
 CHAPITRE 5 - ADAPTATION ET EXTENSION DU SYSTEME.....	 V-1
5.1. Adaptation du système à l'ordinateur IBM 1130.....	V-1
5.1.1. Préprocesseur.....	V-1
5.1.2. Bibliothèque de sous-programmes.....	V-2
5.1.3. Limitations.....	V-2
5.2. Adaptations du système à divers types de commande numérique.....	V-4
5.2.1. Adaptation à une machine GSP.....	V-4
5.2.2. Adaptation à une machine Olivetti-Auctor CNZ.....	V-18
5.2.3. Adaptation au format de sortie CLDATA.....	V-23
5.3. Extension du système pour les travaux de contournage.....	V-25
5.3.1. Ordres de mouvement.....	V-26
5.3.2. Problèmes géométriques.....	V-28
5.3.3. Problèmes posés par la réalisation.....	V-31
5.3.4. Problèmes de précision.....	V-33
5.4. Conclusions pratiques.....	V-34
 CHAPITRE 6 : PERSPECTIVES OFFERTES PAR LES DEVELOPPEMENTS DE LA COM- MANDE NUMERIQUE.....	 VI-1
6.1. Intégration des données technologiques à la programmation automatique.....	VI-1

6.2. Commande adaptative.....	VI-8
6.3. Commande numérique directe	VI-9
6.4. Gestion intégrée des ateliers de commande numérique	VI-14
6.5. Aides graphiques et commande numérique	VI-14
7 - CONCLUSION.....	VII-1
- ANNEXE.....	A-1
- BIBLIOGRAPHIE:.....	A-25