

THESE

présentée à

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE DE GRENOBLE
INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

POUR OBTENIR LE GRADE DE
DOCTEUR DE 3ème CYCLE

Matija EXEL

DE L'OPTIMISATION DES PROGRAMMES

Thèse soutenue le 6 octobre 1975 devant la Commission d'Examen.

Président : Monsieur L. BOLLIET
Rapporteur : Monsieur M. GRIFFITHS
Examineurs : Monsieur G. VEILLON
Monsieur P. JORRAND

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE
DE GRENOBLE

M. Michel SOUTIF

Présidents

M. Louis NEEL

M. Gabriel CAU

Vice-Présidents

MM. Lucien BONNETAIN

Jean BENOIT

MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT DE L'U.S.M.G.

PROFESSEURS TITULAIRES

MM.	ANGLES D'AURIAC Paul	Mécanique des fluides
	ARNAUD Paul	Chimie
	AUBERT Guy	Physique
	AYANT Yves	Physique approfondie
Mme	BARBIER Marie-Jeanne	Electrochimie
MM.	BARBIER Jean-Claude	Physique expérimentale
	BARBIER Reynold	Géologie appliquée
	BARJON Robert	Physique nucléaire
	BARNOUD Fernand	Biosynthèse de la cellulose
	BARRA Jean-René	Statistiques
	BARRIE Joseph	Clinique chirurgicale
	BEAUDOING André	Clinique de Pédiatrie et Puériculture
	BERNARD Alain	Mathématiques Pures
Mme	BERTRANDIAS Françoise	Mathématiques Pures
MM.	BEZES Henri	Pathologie chirurgicale
	BLAMBERT Maurice	Mathématiques Pures
	BOLLIET Louis	Informatique (IUT B)
	BONNET Georges	Electrotechnique
	BONNET Jean-Louis	Clinique ophtalmologique
	BONNET-EYMARD Joseph	Pathologie médicale
	BOUCHERLE André	Chimie et toxicologie
	BOUCHEZ Robert	Physique nucléaire
	BOUSSARD Jean-Claude	Mathématiques appliquées
	BRAVARD Yves	Géographie
	CABANEL Guy	Clinique rhumatologique et hydrologie
	CALAS François	Anatomie
	CARLIER Georges	Biologie végétale
	CARRAZ Gilbert	Biologie animale et pharmacodynamie
	CAU Gabriel	Médecine légale et toxicologie
	CAUQUIS Georges	Chimie organique
	CHABAUTY Claude	Mathématiques Pures
	CHARACHON Robert	Clinique Oto-Rhino-Laryngologique
	CHATEAU Robert	Thérapeutique (Neurologie)
	CHIBON Pierre	Biologie animale
	COEUR André	Pharmacie chimique et chimie analytique
	CONTAMIN Robert	Clinique gynécologique
	COUDERC Pierre	Anatomie pathologique
	CRAYA Antoine	Mécanique
Mme	DEBELMAS Anne-Marie	Matière médicale
MM.	DEBERMAS Jacques	Géologie générale
	DEGRANGE Charles	Zoologie
	DELORMAS Pierre	Pneumo-Phtisiologie
	DEPORTES Charles	Chimie minérale
	DESRE Pierre	Métallurgie
	DESSAUX Georges	Physiologie animale
	DODU Jacques	Mécanique appliquée

MM.	DOLIQUE Jean-Michel	Physique des plasmas
	DREYFUS Bernard	Thermodynamique
	DRUCROS Pierre	Cristallographie
	DUGOIS Pierre	Clinique de dermatologie et syphiligr
	FAU René	Clinique neuro-psychiatrique
	GAGNAIRE Didier	Chimie physique
	GALLISSOT François	Mathématiques pures
	GALVANI Octave	Mathématiques pures
	GASTINEL Noël	Mathématiques appliquées
	GAVEND Michel	Pharmacologie
	GEINDRE Michel	Electroradiologie
	GERBER Robert	Mathématiques pures
	GERMAIN Jean-Pierre	Mécanique
	GIRAUD Pierre	Géologie
	JANIN Bernard	Géographie
	KAHANE André	Physique Générale
	KLEIN Joseph	Mathématiques pures
	KOSZUL Jean-Louis	Mathématiques pures
	KRAVTCHENKO Julien	Mécanique
	KUNTZMANN Jean	Mathématiques appliquées
	LACAZE Albert	Thermodynamique
	LACHARME Jean	Biologie végétale
	LAJZEROWICZ Joseph	Physique
	LATREILLE René	Chirurgie générale
	LATURAZE Jean	Biochimie pharmaceutique
	LAURENT Pierre-Jean	Mathématiques appliquées
	LEDRU Jean	Clinique médicale B
	LLIBOUTRY Louis	Géophysique
	LONGEQUEUE Jean-Pierre	Physique nucléaire
Mle	LOUP Jean	Géographie
	LUTZ Elisabeth	Mathématiques pures
	MALGRANGE Bernard	Mathématiques pures
	MALINAS Yves	Clinique obstétricale
	MARTIN-NOEL Pierre	Seméiologie médicale
	MAZARE Yves	Clinique médicale A
	MICHEL Robert	Minéralogie et pétrographie
	MICOUD Max	Clinique maladies infectieuses
	MOURIQUAND Claude	Histologie
	MOUSSA André	Chimie nucléaire
	MULLER Jean-Michel	Thérapeutique (néphrologie)
	NEEL Louis	Physique du solide
	OZENDA Paul	Botanique
	PAYAN Jean-Jacques	Mathématiques pures
	PEBAY-PEYROULA Jean-Claude	Physique
	RASSAT André	Chimie systématique
	RENARD Michel	Thermodynamique
	RINALDI Renaud	Physique
	DE ROUGEMONT Jacques	Neuro-chirurgie
	SEIGNEURIN Raymond	Microbiologie et hygiène
	SENGEL Philippe	Zoologie
	SIBILLE Robert	Construction mécanique
	SOUTIF Michel	Physique générale
	TANCHE Maurice	Physiologie
	TRAYNARD Philippe	Chimie générale
	VAILLANT François	Zoologie
	VALENTIN Jacques	Physique nucléaire
	VAUQUOIS Bernard	Calcul électronique
Mme	VERAIN Alice	Pharmacie galénique
MM.	VERAIN André	Physique
	VEYRET Paul	Géographie
	VIGNAIS Pierre	Biochimie médicale
	YOCOZ Jean	Physique nucléaire théorique

PROFESSEURS ASSOCIES

MM.	CHEEKE John	Thermodynamique
	COPPENS Philip	Physique
	CORCOS Gilles	Mécanique
	CRABBE Pierre	CERMO
	GILLESPIE John	I.S.N.
	ROCKAFELLAR Ralph	Mathématiques appliquées

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Mlle	AGNIUS-DELORD Claudine	Physique pharmaceutique
	ALARY Josette	Chimie analytique
MM.	AMBROISE-THOMAS Pierre	Parasitologie
	BELORIZKY Elie	Physique
	BENZAKEN Claude	Mathématiques appliquées
	BERTRANDIAS Jean-Paul	Mathématiques pures
	BIAREZ Jean-Pierre	Mécanique
	BILLET Jean	Géographie
Mme	BONNIER Jane	Chimie générale
MM.	BOUCHET Yves	Anatomie
	BRUGEL Lucien	Energétique
	CONTE René	Physique
	DEPASSEL Roger	Mécanique des fluides
	GAUTHIER Yves	Sciences biologiques
	GAUTRON René	Chimie
	GIDON Paul	Géologie et Minéralogie
	GLENAT René	Chimie organique
	GROULADE Joseph	Biochimie médicale
	HACQUES Gérard	Calcul numérique
	HOLLARD Daniel	Hématologie
	HUGONOT Robert	Hygiène et Méd. Préventive
	IDELMAN Simon	Physiologie animale
	JOLY Jean-René	Mathématiques pures
	JULLIEN Pierre	Mathématiques appliquées
Mme	KAHANE Josette	Physique
MM.	KUHN Gérard	Physique
	LOISEAUX Jean	Physique nucléaire
	LUU-DUC-Cuong	Chimie organique
	MAYNARD Roger	Physique du solide
	PELMONT Jean	Biochimie
	PERRIAUX Jean-Jacques	Géologie et minéralogie
	PFISTER Jean-Claude	Physique du solide
Mlle	PIERY Yvette	Physiologie animale
MM.	RAYNAUD Hervé	Mathématiques appliquées
	REBECQ Jacques	Biologie (CUS)
	REVOL Michel	Urologie
	REYMOND Jean-Charles	Chirurgie générale
	RICHARD Lucien	Biologie végétale
Mme	RINAUDO Marguerite	Chimie macromoléculaire
MM.	ROBERT André	Chimie papetière
	SARRAZIN Roger	Anatomie et chirurgie
	SARROT-REYNAULD Jean	Géologie
	SIROT Louis	Chirurgie générale
Mme	SOUTIF Jeanne	Physique générale
MM.	VIALON Pierre	Géologie
	VAN CUTSEM Bernard	Mathématiques appliquées

MAITRES DE CONFERENCES ET MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

MM.	AMBLARD Pierre	Dermatologie
	ARMAND Gilbert	Géographie
	ARMAND Yves	Chimie
	BARGE Michel	Neurochirurgie
	BEGUIN Claude	Chimie organique
Mme	BERTEL Hélène	Pharmacodynamique
M.	BOUCHARLAT Jacques	Psychiatrie adultes
Mme	BOUCHE Liane	Mathématiques (CUS)
MM.	BRODEAU François	Mathématiques (IUT B)
	BUISSON Roger	Physique
	BUTEL Jean	Orthopédie
	CHAMBAZ Edmond	Biochimie médicale
	CHAMPETIER Jean	Anatomie et organogénèse
	CHARDON Michel	Géographie
	CHERADAME Hervé	Chimie papetière
	CHIAVERINA Jean	Biologie appliquée (EFP)
	COHEN-ADDAD Jean-Pierre	Spectrométrie physique
	COLOMB Maurice	Biochimie médicale
	CORDONNIER Daniel	Néphrologie
	COULOMB Max	Radiologie
	CROUZET Guy	Radiologie
	CYROT Michel	Physique du solide
	DELOBEL Claude	M.I.A.G.
	DENIS Bernard	Cardiologie
	DOUCE Roland	Physiologie végétale
	DUSSAUD René	Mathématiques (CUS)
Mme	ETERRADOSSI Jacqueline	Physiologie
MM.	FAURE Jacques	Médecine légale
	FONTAINE Jean-Marc	Mathématiques pures
	GAUTIER Robert	Chirurgie générale
	GENSAC Pierre	Botanique
	GIDON Maurice	Géologie
	GRIFFITHS Michaël	Mathématiques appliquées
	GROS Yves	Physique (stag.)
	GUITTON Jacques	Chimie
	HICTER Pierre	Chimie
	IVANES Marcel	Electricité
	JALBERT Pierre	Histologie
	KOLODIE Lucien	Hématologie
	KRAKOWIAK Sacha	Mathématiques appliquées
Mme	LAJZEROWICZ Jeannine	Physique
MM.	LEROY Philippe	Mathématiques
	MACHE Régis	Physiologie végétale
	MAGNIN Robert	Hygiène et médecine préventive
	MARECHAL Jean	Mécanique
	MARTIN-BOUYER Michel	Chimie (CUS)
	MICHOULIER Jean	Physique (IUT A)
Mme	MINIER Colette	Physique
MM.	NEGRE Robert	Mécanique
	NEMOZ Alain	Thermodynamique
	PARAMELLE Bernard	Pneumologie
	PECCOUD François	Analyse (IUT B)
	PEFFEN René	Métallurgie
	PERRET Jean	Neurologie
	PHELIP Xavier	Rhumatologie
	RACHAIL Michel	Médecine interne
	RACINET Claude	Gynécologie et obstétrique
	RAMBAUD Pierre	Pédiatrie
Mme	RENAUDET Jacqueline	Bactériologie
MM.	ROBERT Jean-Bernard	Chimie-Physique

MM.	ROMIER Guy	Mathématiques (IUT B)
	SHOM Jean-Claude	Chimie générale
	STIEGLITZ Paul	Anesthésiologie
	STOEBNER Pierre	Anatomie pathologique
	VROUSOS Constantin	Radiologie

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

MM.	COLE Antony	Sciences nucléaires
	FORELL César	Mécanique
	MOORSANI Kishin	Physique

CHARGES DE FONCTIONS DE MAITRES DE CONFERENCES

MM.	BOST Michel	Pédiatrie
	CONTAMIN Charles	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
	FAURE Gilbert	Urologie
	MALLION Jean-Michel	Médecine du travail
	ROCHAT Jacques	Hygiène et hydrologie

Fait à Saint Martin d'Hères, OCTOBRE 1974.

"MEMBRES DU CORPS ENSEIGNANT DE L'I.N.P.G."

PROFESSEURS TITULAIRES

MM. BENOIT Jean	Radioélectricité
BESSON Jean	Electrochimie
BONNETAIN Lucien	Chimie Minérale
BONNIER Etienne	Electrochimie, Electrometallurgie
BRISSONNEAU Pierre	Physique du solide
BUYLE-BODIN Maurice	Electronique
COUMES André	Radioélectricité
FELICI Noël	Electrostatique
PAUTHENET René	Physique du solide
PERRET René	Servomécanismes
SANTON Lucien	Mécanique
SILBER Robert	Mécanique des fluides

PROFESSEUR ASSOCIE

M. BOUDOURIS Georges	Radioélectricité
----------------------	------------------

PROFESSEURS SANS CHAIRE

MM. BLIMAN Samuel	Electronique
BLOCH Daniel	Physique du solide et cristallographie
COHEN Joseph	Electrotechnique
DURAND François	Metallurgie
MOREAU René	Mécanique
POLOUJADOFF Michel	Electrotechnique
VEILLON Gérard	Informatique fondamentale et appliquée
ZADWORYN François	Electronique

MAITRES DE CONFERENCES

MM. BOUVARD Maurice	Génie mécanique
CHARTIER Germain	Electronique
FOULARD Claude	Automatique
GUYOT Pierre	Chimie minérale
JOUBERT Jean Claude	Physique du solide
LACOME Jean Louis	Géophysique
LANCIA Roland	Physique atomique
LESPINARD Georges	Mécanique
MORET Roger	Electrotechnique nucléaire
ROBERT François	Analyse numérique
SABONNADIÈRE Jean Claude	Informatique fondamentale et appliquée
Mme SAUCIER Gabrièle	Informatique fondamentale et appliquée

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE

M. LANDAU Ioan Doré	Automatique
---------------------	-------------

CHARGE DE FONCTIONS DE MAITRES DE CONFERENCES

M. ANCEAU François	Mathématiques appliquées
--------------------	--------------------------

TABLE DES MATIERES
 -:~::~-~::~-~::~-~::~-~::~-~::~-

	pages
1 - INTRODUCTION -----	1
1.1 - Amélioration des programmes -----	1
1.2 - Programme et sa fonction -----	3
2 - OPTIMISATIONS DANS LA LITTERATURE -----	8
3 - PRESENTATION DE LA THESE - HYPOTHESES ET CHOIX INITIAUX -----	14
3.1 - Idées de départ -----	14
3.2 - Sujets concrets abordés -----	17
3.3 - Hypothèses et choix initiaux -----	18
4 - INFORMATIONS DEDUITES AU NIVEAU DE L'ANALYSE D'UN PROGRAMME- SOURCE EN SPL/1 -----	24
4.1 - Terminologie relative à la structure des programmes- source en SPL/1 -----	24
4.2 - Informations déduites au niveau de l'analyse d'un programme-source -----	27
4.2.1 - Obtention du graphe GPA et des ensembles AP_k ---	27
4.2.2 - Modifications des variables au niveau du programme-source -----	41
4.2.2.1 - Modifications indirectes : la détermination de l'attribut MOD -----	44
4.2.2.2 - Détermination des modifications implicites (les ensembles $MODB_i$ et $MODAP_j$) -----	45
4.3 - Conclusion : une évaluation des informations déduites obtenues -----	60
5 - IMPLEMENTATION DU SPL/1 -----	63
5.1 - Introduction -----	63
5.2 - Points originaux de l'implémentation définie -----	64
5.2.1 - Gestion de l'environnement réalisée au moyen des vecteurs locaux réduits d'environnement -----	64
5.2.2 - Passage des arguments et le retour du résultat d'une procédure-fonction -----	66
5.2.3 - Méthodes d'allocation statique par recouvrements	67
5.3 - Description de l'implémentation -----	69
5.3.1 - Allocations statiques et dynamiques -----	69
5.3.2 - Terminologie et informations déduites relatives aux corps des procédures et aux fiefs de portée	70

5.3.2.1 - Corps des procédures -----	70
5.3.2.2 - Fiefs de portée -----	72
5.3.3 - Implémentation des instructions CALL et des appels des procédures-fonctions -----	72
5.3.4 - Prologues des corps des procédures - Un exemple de gestion des vecteurs locaux réduits d'environnement -----	77
5.3.5 - Prologues des fiefs -----	82
5.3.6 - Epilogues -----	83
5.3.7 - Sauts (les instructions GOTO) -----	85
5.3.8 - Tableaux -----	87
5.4 - Allocation par recouvrements : un exemple d'optimisation de l'espace des données -----	90
5.4.1 - Recouvrement des zones locales -----	91
5.4.2 - Allocation par recouvrements à l'intérieur d'une zone locale -----	96
5.4.2.1 - Temporaires -----	97
5.4.2.2 - Listes d'arguments et les arguments intermédiaires à taille fixe -----	99
a) - Algorithme A2 -----	103
b) - Algorithme A3 -----	111
c) - Comparaison des solutions fournies par les algorithmes A2 et A3 -----	115
d) - Allocation des données générées par des arbres d'appel maximaux -----	118
6 - LANGAGE INTERMEDIAIRE -----	126
6.1 - Présentation -----	126
6.2 - Description du langage intermédiaire LI -----	127
6.2.1 - Eléments du langage LI -----	128
6.2.2 - Instructions arithmétiques, logiques et de con- version -----	130
6.2.3 - Instruction de rangement -----	130
6.2.4 - Instructions d'entrée-sortie -----	130
6.2.5 - Instructions de transfert -----	131
6.2.6 - Instructions d'appel -----	132
6.2.7 - Instructions de structure -----	133
6.2.8 - Instructions auxiliaires -----	135
6.2.9 - Exemples -----	135
6.3 - Sauts représentés par les instructions <u>sortie</u> -----	139
6.4 - Opérandes d'un programme intermédiaire -----	144

6.4.1 - Opérandes modifiables -----	144
6.4.2 - Classes de recouvrement des opérandes modifiables -----	146
6.4.3 - Portées des opérandes -----	146
6.5 - Expressions d'un programme intermédiaire -----	148
7 - GRAPHES D'UN PROGRAMME EN LANGAGE INTERMEDIAIRE -----	150
7.1 - Blocs intermédiaires -----	150
7.2 - Graphes des programmes -----	151
7.2.1 - Graphe d'un fief -----	152
7.2.2 - Graphe d'un corps de procédure -----	154
7.2.3 - Graphe d'un corps de boucle propre -----	156
7.2.4 - Décompositions d'un graphe de procédure -----	158
7.3 - Numérotation des sommets d'un graphe de programme - Prédominance -----	162
7.4 - Sommets d'articulation d'un graphe de programme -----	165
7.5 - Autres rappels -----	167
8 - OPTIMISATIONS APPLIQUEES A UN PROGRAMME INTERMEDIAIRE -----	169
8.1 - Rappels - Optimisations proposées -----	169
8.1.1 - Méthodes de collection d'informations -----	169
8.1.1.1 - Résolution d'un système d'équations booléennes -----	170
8.1.1.2 - Nombre d'itérations de l'algorithme ALGEN -----	173
8.1.2 - Présentation des optimisations considérées -----	177
8.1.2.1 - Optimisation au niveau d'un bloc élémentaire --	178
8.1.2.2 - Optimisations au niveau d'un graphe de programme	181
8.1.2.2.1 - Traitement des redondances -----	182
8.1.2.2.2 - Déplacements en dehors des boucles -----	184
8.1.2.2.3 - Exploitation des informations que représentent les ensembles $MODB_i$ -----	193
8.1.2.2.4 - Sécurité (cohérence) et efficacité des optimisations considérées -----	194
8.2 - Organisation des optimisations proposées -----	196
8.2.1 - Niveaux des optimisations -----	196
8.2.2 - Collection des informations pour les optimisations globales -----	197
8.2.3 - Prise en compte des portées et de l'invariance ---	204
8.2.3.1 - Portées des expressions -----	205
8.2.3.2 - Prise en compte de l'invariance -----	207
8.2.4 - Eliminations et déplacements des introductions ---	209
8.2.5 - Caractéristiques de l'approche proposée -----	219

9 - CONCLUSION -----	221
----------------------	-----

Annexe 1.

Annexe 2. - Lexique des termes - Notations -

Bibliographie