

techniques

C.-H. DOMINÉ

de

l'intelligence

artificielle

un guide structuré

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

BO-PRÉ

DUNOD

informatique

techniques de l'intelligence artificielle

un guide structuré



Charles-Henri Dominé

Préface de René Malgoire
Président du CEPIA

BO-PRÉ

DUNOD

informatique



• © BO-PRÉ
ISBN : 2-89315-019-5

© BORDAS, Paris, 1988
ISBN : 2-04-018680-8

"Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants-droit, ou ayants-cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration"

Préface

Le Centre d'Etudes Pratiques d'Informatique et d'Automatique (CEPIA), créé en 1968, est une association pour la promotion, au travers d'actions de formations, du bon usage de l'informatique et de l'automatique.

Promouvoir un bon usage c'est, simultanément, détecter, autant que faire se peut, les causes d'un mauvais usage (l'expérience et les leçons qu'apportent les échecs), diffuser (notamment sous forme d'enseignements) la connaissance de l'état de l'art considéré et, enfin, procéder à des choix judicieux quant aux avancées de l'art qu'il convient de retenir (faire les bons paris).

Faire le bon choix n'est pas simple : le respect de la mode, l'engouement pour la nouveauté, la crainte de rester à la traîne sont autant de causes de... mauvais choix.

Il est du rôle d'un organisme comme le CEPIA de participer, à sa manière, à ces bons choix.

Le CEPIA a choisi d'enseigner l'informatique symbolique et de bien choisir les enseignants qui auraient à intervenir dans ses programmes.

Pourquoi enseigner l'informatique symbolique ? Sûrement parce que l'informatique algorithmicienne ne peut prendre en charge les problèmes où la part du qualitatif est grande par rapport à celle du quantitatif.

Or, notamment dans le domaine de la gestion des entreprises et des administrations, peu à peu se développe une nette volonté de ne plus en rester aux seules procédures dont les critères d'analyse ne seraient que d'ordre quantitatif.

Certes, l'informatique symbolique ne peut résoudre tous les problèmes qui jusque là n'avaient pas trouvé de réponses satisfaisantes, sauf celles qu'apportaient l'expérience, le précédent ou la finesse.

Préface

Mais elle peut largement aider à mieux affronter ces problèmes. En effet, l'informatique symbolique conduit ceux qui sont en mesure d'apporter des réponses à mieux expliciter leurs connaissances. Finalement, mais mon attitude est volontairement provocatrice, l'informatique symbolique peut, déjà, permettre de disposer d'experts encore plus confiants dans leurs savoirs.

Or, un expert qui peut mieux expliciter ses connaissances est, du même coup, un expert qui peut mieux transmettre son savoir.

Rien que cet enjeu vaut qu'on s'intéresse à l'intelligence artificielle et à sa partie actuellement la plus visible : les systèmes-experts !

Reste à les enseigner.

Le curriculum de Charles-Henry Dominé n'est pas de ceux qui se résument en quelques lignes. Si force nous est de nous en tenir à un tel résumé encore nous faut-il en prévenir le lecteur.

M. Dominé est polytechnicien (X72), ingénieur de l'Armement, ancien élève de l'Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées (77) et de l'Institut d'Etudes Politiques de Paris (78).

Il a été ingénieur de projet à l'Etablissement Technique Central de l'Armement, puis responsable de la division "Informatique" à la Direction des Recherches, Etudes et Techniques (DRET) à la Délégation générale pour l'Armement et, actuellement, il est Chef de Cabinet du Directeur de la DRET... et il est loin d'avoir atteint la quarantaine !

Il est de cette génération montante qui accumule les titres, les fonctions et les mérites pour mieux comprendre le monde actuel qui exige de ceux qui se veulent être des acteurs du changement un champ de compréhension large.

Surtout il a l'art d'enseigner car, outre sa compétence, il apporte son enthousiasme.

L'ouvrage de M. Dominé bénéficie des qualités pédagogiques de son auteur. On en sera convaincu de façon simple : les mots utilisés sont définis avec soin et précision. La barrière du vocabulaire est donc aisée à franchir.

La barrière des principes est aussi facile à sauter : l'auteur a balisé le parcours avec une grande rigueur intellectuelle et un sens de la simplification qui appartient surtout aux pédagogues.

La barrière des usages de la matière enseignée se présente en fin de parcours. L'auteur est sûrement parti d'un principe : tout se mérite et il faut disposer de bonnes bases avant d'aborder les applications : c'est le prix qu'il

Préface

faut accepter de payer pour ne pas se mettre en fausse position par rapport aux questions évoquées. Car, en l'occurrence, il est très facile, sans bonnes bases, de tout demander aux systèmes-experts ou de ne s'en servir que pour traiter de brouilles.

Puissent les lecteurs de cet ouvrage et les auditeurs du CEPIA tirer grand profit de sa lecture.

Ils en tireront certainement grand profit pour une bonne raison : le livre de M.Dominé rassemble ce qui est épars dans la littérature actuelle sur le sujet. En bref, son livre est, tout à la fois, un moyen d'initiation pour les nouveaux venus et une actualisation précise des connaissances pour ceux déjà familiarisés avec l'intelligence artificielle.

Cet ouvrage enrichit la collection CEPIA qu'édite Dunod dans sa collection "Informatique".

Je tiens à remercier l'Editeur de faire une place au CEPIA depuis bientôt 20 ans dans ses parutions.

Je tiens à remercier l'Auteur de ce remarquable ouvrage et à lui dire en quelle estime les Animateurs, les Auditeurs du CEPIA et moi-même le tenons.

R. MALGOIRE
Inspecteur Général
des Postes et Télécommunications
Président du CEPIA
Président de l'Institut de Recherche, d'Etudes
et de Prospective Postales (IREPP)

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

Table des matières

Préface	V
Présentation	XV
Chapitre 1. Définition, champ d'application et limites du domaine	1
1.1. Historique	2
1.1.1. Filiation	2
1.1.2. Naissance	4
1.1.3. Enfance et adolescence	5
1.1.4. L'entrée dans la vie active	7
1.2. Faut-il parler d' "Intelligence Artificielle" ?	9
1.2.1. Pourquoi parler d' "Intelligence Artificielle"	9
1.2.2. Pourquoi NE PAS parler d' "Intelligence Artificielle" ?	11
1.2.3. Conclusion	13
1.3. Informatique symbolique	14
1.3.1. Situation dans le champ de l'informatique	14
1.3.2. Structuration interne	15
— La reproduction des sens et interface humaine — La reproduction des mécanismes du raisonnement et de la manipulation de la connaissance — Les outils	16
1.3.3. Caractérisation des systèmes d'informatique symbolique	19
— Structure d'un système symbolique — Les deux domaines techniques	20
1.3.4. Survol du territoire et de ses frontières	23
— Les systèmes de raisonnement — Les interfaces et système de communication	23
1.4. Conclusion	26

PREMIERE PARTIE. LES TECHNIQUES DE CONTROLE

Chapitre 2. Le problème du contrôle	29
2.1. Les composantes d'un système de contrôle	30
2.1.1. L'espace de recherche	30
2.1.2. Les tâches de contrôle	30
2.2. Contrôle en génération de plan	32
2.3. Le contrôle : plan de la présentation	34

Chapitre 3. Description de l'espace de recherche	35
3.1. Choix d'une représentation	35
3.1.1. Espace d'états - espace de problème	36
— La représentation en espace d'états — La représentation en espace de problèmes	37
3.2. Le "blackboard"	39
3.3. Génération de plans et description de l'espace de recherche	41
3.3.1. L'analyse fins-moyens (means-ends analysis)	41
— General Problem Solver — Means-ends analysis	41
3.3.2. Planification hiérarchique	43
— STRIPS and ABSTRIPS — Planification hiérarchique	43
3.4. Conclusion	47
Chapitre 4. Techniques de recherche	49
4.1. Rappel sur les graphes	49
4.2. Classement des modes de parcours	51
4.2.1. Chaînage avant - chaînage arrière	51
4.2.2. Classement par type de stratégie	52
4.3. Stratégies (1) : Recherche sans mémorisation et sans retour	52
4.3.1. Conditions	53
4.3.2. Systèmes commutatifs	53
4.3.3. Le hill-climbing	55
4.3.4. Conclusions	56
4.4. Stratégies (2) : Recherche avec "retour arrière" (backtrack)	56
4.4.1. Procédure	56
4.4.2. Une procédure améliorée	57
4.4.3. Retour arrière et heuristique	58
4.5. Stratégies (3) : Recherche en graphe	61
4.5.1. Description générale	61
4.5.2. Politiques de recherche en graphe	63
— Politiques basées sur la connaissance du passé — Politiques basées sur une prévision de l'avenir	64
4.5.3. Un aménagement : le "bandwidth search"	70
4.6. Récapitulation : les stratégies de contrôle	70
4.7. Méthodes de recherche pour les jeux	71
4.7.1. Exposition du problème	71
4.7.2. Algorithme MINIMAX	72
4.7.3. Le formalisme NEGMAX	73
4.7.4. Allègement de la recherche par le système "Alpha-Bêta"	74
Chapitre 5. Les heuristiques	77
5.1. Définition	77
5.2. Signification et rôle	78
5.2.1. Heuristiques et connaissances	80
5.2.2. Coût des heuristiques	80
5.3. Classement des heuristiques	81

Table des matières

5.4. Génération de plans et heuristiques : l'implication minimale (least commitment)	83
Chapitre 6. Contrôle et heuristique : analyse de quelques réalisations	85
6.1. Geometry Theorem Proving Machine.....	85
6.2. Symbolic Automatic Integrator (SAINT)	87
6.3. MOLGEN.....	88
Chapitre 7. Les techniques d'identification	91
7.1. L'appariement (pattern-matching).....	91
7.1.1. Définition	91
7.1.2. Variables	93
— Variables "atomiques" — Variables complexes — Variables précontraintes	93
7.1.3. Un algorithme d'appariement	96
7.1.4. Extensions et problèmes	97
7.2. Unification	97
7.2.1. Principe	98
7.2.2. Algorithme d'unification	100
7.2.3. Variables libres et variables "moins libres"	101

DEUXIEME PARTIE . LES TECHNIQUES DE REPRESENTATION DES CONNAISSANCES

Chapitre 8. Représentation des connaissances : émergence et limites	105
8.1. Emergence de la notion	105
8.2. Le débat syntaxe-sémantique : recherche d'une frontière	107
8.2.1. Indissociabilité du couple "connaissance-mécanisme d'interprétation"	107
8.2.2. Importance de la forme de représentation	109
8.3. Classement des connaissances et de leurs représentations	110
8.3.1. Les catégories de connaissances	110
8.3.2. Les techniques de représentation	112
— Représentation parcellisées-représentations structurées — Structures et mécanismes	113
Chapitre 9. La structure "SI...ALORS..."	119
9.1. Règles de productions	119
9.1.1. Système de production	119
9.1.2. Avantages- inconvénients	120
9.1.3. Exemple : MYCIN	121
— La représentation des connaissances — Le raisonnement — Conclusion.....	122
9.2. La logique	125
9.2.1. Le formalisme logique	126
— Premiers éléments — La logique des propositions — Le calcul des prédicats — Les fonctions et la logique du 1er ordre	126
9.2.2. Avantages - inconvénients	129

Table des matières

9.2.3. Exemple : PROLOG	130
--- Une base de données intelligente — Programmer en PROLOG	
--- Conclusion	130
Chapitre 10. La structure "sorte de" : arborescence taxonomique et héritage	135
10.1. Arborescences (ou arbres)	136
10.2. Notion d'héritage	137
10.3. Avantages - inconvénients	137
10.4. Exemple : INTERNIST	137
10.4.1. Représentation des connaissances	138
10.4.2. Contrôle	139
10.4.3. Conclusion.....	141
Chapitre 11. La structure "objets-relations" : les réseaux -sémantiques	143
11.1. Définition. Premiers exemples	143
11.2. Mécanismes d'interprétations	144
11.3. Généralisation	146
11.4. La dépendance conceptuelle	148
11.4.1. Lien d'instanciation, lien de spécialisation	151
11.5. Avantages - inconvénients	152
11.6. Exemple : PROSPECTOR	152
11.6.1. Représentation des connaissances	152
11.6.2. Contrôle	155
11.6.3. Conclusion	155
Chapitre 12. La structure "modèle" : les "frames" et les scripts"	157
12.1. Principes : modèles et instances. Notion d'héritage	157
12.2. Structure	158
12.3. Scripts	160
12.4. Avantages - inconvénients	161
12.5. Exemple : the Present Illness Program (P. I. P.)	162
12.5.1. La connaissance	163
12.5.2. Le raisonnement	164
12.5.3. Conclusions	165
Chapitre 13. Les structures "analogiques"	167
13.1. Définition et caractéristiques	168
13.2. Avantages - inconvénients	170
13.2.1. Simulation	170
13.2.2. Richesse	172
13.2.3. Complémentarité d'une représentation analogique	173
13.3. Conclusion	174

Table des matières

Chapitre 14. Mécanismes	175
14.1. Le mécanisme de pondération	176
14.2. Le mécanisme d'évocation	178
14.3. Le mécanisme de calcul associé à une connaissance : "l'attachement procédural"	179
14.4. Le mécanisme de communication : les messages	180
14.5. Le mécanisme de contrôle du contrôle	181
Chapitre 15. Problèmes	185
15.1. L'extension du champ des valeurs de vérité	185
15.2. La représentation et le traitement du temps	187
15.2.1. Le problème du temps réel	187
15.2.2. La représentation du temps	189
15.2.3. La non-monotonie	190
15.3. La cohérence	191
 TROISIEME PARTIE. PRATIQUE DES SYSTEMES EXPERTS	
Chapitre 16. L'introduction de l'informatique symbolique dans l'entreprise	197
16.1. Pourquoi et comment décide-t-on de recourir à l'informatique symbolique ?	197
16.1.1. Mauvaises raisons	198
16.1.2. Bonnes raisons	199
16.1.3. Conclusion	200
16.2. La démarche stratégique	201
16.2.1. Conditions et préliminaires	201
16.2.2. Déroulement du processus	202
16.2.3. Elaboration de choix final	203
16.3. Le choix d'un sujet	204
16.3.1. Conditions "sine qua non" de faisabilité d'un système expert	204
16.3.2. Justification technique du recours à l'informatique symbolique	208
16.3.3. Evaluation de l'intérêt économique	209
16.3.4. Appréciation de l'opportunité du projet	211
16.3.5. La vérification détaillée de faisabilité	213
— Critères concernant l'expert — Critères sur la complexité du problème	
— Critères sur la complexité du système — Critère sur l'objectif visé	214
16.4. Les intervenants	217
16.4.1. Description des différents acteurs	217
— L'expert — L'ingénieur de la connaissance — Le chef de projet — Les autres acteurs	217
16.4.2. Le choix d'une équipe	220
16.5. Résumé	221
Chapitre 17. La réalisation d'un système expert	223
17.1. Elaboration d'un présystème	223
17.1.1. Rôle du présystème	223

Table des matières

17.1.2. Caractéristiques	224
17.1.3. Processus de réalisation	226
— L'étape d'identification (ou spécialisation) — L'étape d'analyse et formalisation — L'étape de réalisation et de test — Validation et conclusion de la réalisation du présystème	227
17.2. Vers le système opérationnel	233
17.2.1. Les étapes possibles	234
— L'extension du système expert — L'étude des interfaces — L'intégration	234
17.2.2. La validation-évaluation du système	236
— Principes et problèmes — Critères — Protocoles — Recueil et analyse des conclusions ?	236
17.2.3. Délais et coûts de réalisation	239
17.3. Conclusion : synthèse sur la méthode	239
17.3.1. Caractéristiques	239
17.3.2. Comparaisons des "cycles de vie"	241
— Le cycle de vie classique — Le cycle de vie de l'informatique symbolique — Présystème jetable et "prototype rapide"	241
17.3.3. Evolution et tendances	246
Chapitre 18. Le marché : domaines d'application et outils	247
18.1. Analyse par secteurs industriels	247
18.1.1. Intérêts et limites	247
18.1.2. Panorama des secteurs	250
— Agriculture — Industries de base — Industries de première transformation — Industries de production de produits finis — Tertiaire	250
18.2.1. La définition de la typologie	259
18.2. Analyse par type d'applications	259
18.2.1. La définition de la typologie	259
18.2.2. Les systèmes déducteurs	261
— Diagnostic et interprétation — Des exemples	261
18.2.3. Les systèmes concepteurs	263
— Les systèmes d'ordonnancement — Les systèmes de génération de solution	264
18.3. Les outils de réalisation	269
18.3.1. Panorama	269
— Les machines — Les logiciels	269
18.3.2. Analyse d'un produit : éléments de fiche technique	273
— Composants techniques de base — Critères d'évaluations	273
Conclusion : Perspectives	283
1. Les limites	283
2. Les atouts	285
Annexe. LISP	287
1. Unités de base	287
2. Fonctions - Evaluation	288
3. Manipulation de listes	291
4. Construction de fonctions	292