Stuart Russell et Peter Norvig

Intelligence artificielle

2º édition

Avec près de 400 exercices



Table des matières

Pı	réfac	е		X	xiii
$\mathbf{I}_{\mathbb{S}}$	\mathbf{Inte}	lliger	nce Artificielle		
1	Intr	oduct	Agents et environments en la company de sur A		1
	1.1	Défin	ition de l'IA		2
		1.1.1	Agir comme des humains : le test de Turing		3
		1.1.2	Penser comme des humains : l'approche cognitive		4
		1.1.3	Penser rationnellement : les « lois de la pensée »		4
		1.1.4	Agir rationnellement : l'approche de l'agent rationnel		5
	1.2	Fonde	ements de l'intelligence artificielle		6
		1.2.1	Philosophie (de 428 av. JC. à nos jours)		6
		1.2.2	Mathématiques (de 800 à nos jours)		9
		1.2.3	Économie (de 1776 à nos jours)		11
		1.2.4	Neurosciences (de 1861 à nos jours)		12
		1.2.5	Psychologie (de 1879 à nos jours)		14
		1.2.6	Ingénierie informatique (de 1940 à nos jours)		16
		1.2.7	Théorie du contrôle et cybernétique (de 1948 à nos jours)		17
		1.2.8	Linguistique (de 1957 à nos jours) de soldiages stress A de S		18
	1.3	Histo	ire de l'intelligence artificielle		19
		1.3.1	Gestation de l'intelligence artificielle (1943-1955) de moi did soi		19
		1.3.2	Naissance de l'intelligence artificielle (1956)		19
		1.3.3	L'enthousiasme des débuts : les grandes espérances (1952-1969)		20
		121	L'éprouve de le réglité (1066-1072)		22

		1.3.5	Systèmes fondés sur les connaissances : la clé de la puissan $(1969-1979)$	ace?	25
		1.3.6	L'IA devient une industrie (de 1980 à nos jours)		28
		1.3.7	Retour des réseaux de neurones (de 1986 à nos jours)		28
	ere ka e	1.3.8	L'IA devient une science (de 1987 à nos jours)		29
		1.3.9	Émergence des agents intelligents (de 1995 à nos jours)		31
	1.4	État	de l'art		31
	Résu	ımé			33
	Note	s bibli	ographiques et historiques		34
	Exer	cices			35
_		30.00	tolligents artificielle le		37
2			temgents		37
	2.1				40
	2.2		comportements : le concept de rationalité		
			Mesures de performance		40
			Rationalité		41
		2.2.3	Omniscience, apprentissage et autonomie		42
	2.3	Natur	re des environnements		43
		2.3.1	Spécification de l'environnement d'une tâche		44
		2.3.2	Propriétés des environnements de tâches		46
	2.4	Struc	ture des agents		50
		2.4.1	Programmes agents [square and all the below of the below		51
		2.4.2	Agents réflexes simples		53
		2.4.3	Agents réflexes fondés sur des modèles		55
		2.4.4	Agents fondés sur des buts		57
			Agents fondés sur l'utilité		58
		2.4.6	Agents capables d'apprentissage		59
	Résu	ımé			6.
	Note	es bibl	iographiques et historiques		62
	Exe	rcices			64

II Résolution de problèmes aradanada maint à adapanqua A L.A

3	Rése	olutio	n de problèmes par l'exploration	67
	3.1	Agent	s de résolution de problèmes	67
		3.1.1	Des problèmes bien définis et de leurs solutions	70
		3.1.2	De la formulation des problèmes	71
	3.2	Exem	ples de problèmes noitsaimitgo b	72
		3.2.1	Problèmes jouets identify abulance and mutatology 3 1.5.4	73
		3.2.2	Problèmes du monde réel mais masse ma moismolqu'il £.£.k	76
	3.3	Reche	erche de solutions (hotel) passe, al no electro nei tancique (E.E.A.	78
		3.3.1	Mesure de la performance de la résolution de problèmes	82
	3.4	Straté	égies d'exploration non informée	83
		3.4.1	Exploration en largeur d'abord and la moltanologie le stand de la la	83
		3.4.2	Exploration à coût uniforme monagent que le semisidor \mathbb{T}_{-} Lé \mathbb{R}_{-}	85
		3.4.3	Exploration en profondeur d'abord de proposité à la	85
		3.4.4	Exploration en profondeur limitée aut no noitscolque la la la	87
		3.4.5	Exploration itérative en profondeur : la sesse du anqué. L'été	88
		3.4.6	Exploration bidirectionnelle	90
		3.4.7	Comparaison des stratégies d'exploration non informées	92
	3.5	Évite	r les répétitions d'états	92
	3.6	Explo	oration avec informations partielles	94
		3.6.1	Problèmes sans capteurs	95
		3.6.2	Problèmes avec contingences	96
	Résu	ımé		98
	Note	es bibli	ographiques et historiques	99
	Exe	rcices		101
4	Evr	dorati		107
	4.1		égies d'exploration informée (heuristique)	107
			Exploration meilleur d'abord gloutonne	108
		4.1.1	Résumé . L. Company de la comp	
		4.1.2	solution anaparation are some design and solution anaparation are some design and solution are some design as the solution are solution are solved as the solution	109
		4.1.3	Explorations heuristiques à mémoire limitée	115

		4.1.4 Apprendre à mieux chercher seguéidong ab moisuloso A	119
	4.2	Fonctions heuristiques	119
		4.2.1 Répercussion de l'exactitude de l'heuristique sur la performance	120
		4.2.2 Création de fonctions heuristiques admissibles	121
		4.2.3 Apprentissage d'heuristiques à partir de l'expérience	124
	4.3	Algorithmes d'exploration locale et problèmes d'optimisation	125
		4.3.1 Exploration par escalade (hill-climbing) and amount of the second	126
		4.3.2 Exploration par recuit simulé (simulated annealing)	130
		4.3.3 Exploration locale en faisceau (local beam search)	131
		4.3.4 Algorithmes génétiques els comunication el els comesiments.	132
	4.4	Exploration locale d'espaces continus	134
	4.5	Agents d'exploration en ligne et environnements inconnus	138
		4.5.1 Problèmes d'exploration en ligne	139
		4.5.2 Agents d'exploration en ligne doudoug au nouts relique & A.E.	141
		4.5.3 Exploration en ligne locale mahaolorg as notte respect 1.4.4	142
		4.5.4 Apprentissage et exploration en ligne en notterolie de la	144
	Résu	3.4.6 Exploration bidirection will express to sale a smr	145
	Note	es bibliographiques et historiques	146
	Exe	rcices Proprières des caracteres con establishes de l'approprière de salvant de l'approprière de la company de l'approprière de la company de l'approprière de la company	150
5	Pro	blèmes à satisfaction de contraintes	155
	5.1	Problèmes à satisfaction de contraintes	155
	5.2	Exploration avec backtracking pour les CSP	160
		5.2.1 Ordre des variables et des valeurs	162
		5.2.2 Propager les informations par le biais des contraintes	163
		5.2.3 Backtracking intelligent : l'examen en amont	168
	5.3	Exploration locale pour les problèmes à satisfaction de contraintes Approprie de contraintes	169
	5.4	La structure des problèmes	17
		4.1.2 Exploration A' : minimisation du cont total estimé de la	17
	Not	es bibliographiques et historiques	17
	Exe	#11.3 Explorations houdstiques à memoire limitée	17

m :	1 1	1		
la.	ble	des	mati	eres

6 E	xplorati	ion en situation d'adversité les les membres et et		181
6.	l Les j			181
6.5	2 Décis	ions optimales dans les jeux		183
	6.2.1	Stratégies optimales		183
	6.2.2	L'algorithme du minimax		185
	6.2.3	Décisions optimales dans le cadre de jeux multi-joueu	rs	186
6.3	3 Élaga	age alpha-bêta		188
6.4	4 Décis	ions imparfaites en temps réel		191
	6.4.1	Fonctions d'évaluation		192
	6.4.2	Recherche avec arrêt (cut off) and all sound triog!		194
6.		comportant une part de hasard		196
	6.5.1	Évaluation des positions dans les jeux à nœuds de ha	sard	198
	6.5.2	Complexité d'expectiminimax		199
	6.5.3	Jeux de cartes unitation de la succitiza de la succita de la succita de la succitar de la succita		200
6.6	6 État	de l'art des programmes de jeu		202
6.	7 Bilan	et perspectives		205
as Re	ésumé			207
No	otes bibl	iographiques et historiques *** ********************************		208
Ex	ercices			212
III (Connai	issances et raisonnement		
7 A	gents lo	c of sémantique de la logique da première ordre aspigo		217
7.	l Agen	ts fondés sur les connaissances		219
7.5	2 Le m	onde du Wumpus		221
7.	_			224
7.4	4 Logic	que propositionnelle : une logique très simple	8.2.4	228
		Syntaxe		228
	7.4.2	Sémantique		230
	7.4.3	Une base de connaissances simple	8.2.7	232
	7.4.4	Inférence		233
	7.4.5	Équivalence, validité et satisfiabilité		234

1817.5		nas de raisonnement en logique vos b no dantis no noite estitionnelle		236
	7.5.1	Résolution		238
	7.5.2	Forme normale conjonctive		240
	7.5.3	Un algorithme de résolution		241
	7.5.4	Complétude de la résolution		242
	7.5.5	Chaînage avant et chaînage arrière		243
7.6	Algor	ithmes d'inférence propositionnelle efficaces		246
		Algorithme par backtracking complet		247
	7.6.2	Algorithmes d'exploration locale		249
	7.6.3	Problèmes de satisfiabilité difficiles		250
7.7	Agent	ts fondés sur la logique propositionnelle		252
	7.7.1	Recherche des puits et des Wumpus avec l'inférence logique	ıe	252
	7.7.2	Suivi des positions et de l'orientation		254
	7.7.3	Agents fondés sur des circuits		254
	7.7.4	Une comparaison		258
Rés	umé			260
Note	es bibli	ographiques et historiques		261
Exe	rcices			264
8 Log	ique d	lu premier ordre		269
8.1	Retou	ur sur la représentation l'élément de la resentation l'élément de la représentation d		269
8.2	Synta	xe et sémantique de la logique du premier ordre		274
	8.2.1	Modèles de la logique du premier ordre		275
	8.2.2	Symboles et interprétations		276
	8.2.3	Termes 900 ig		278
	8.2.4	Énoncés atomiques		278
	8.2.5	Énoncés composés		279
	8.2.6	Quantificateurs appitusmed 2.1		279
	8.2.7	Égalité éganges simple 4.3 (Inc base de comaissances simple		284
8.3	Utilis	er la logique du premier ordre		284
	8.3.1	Assertions et requêtes en logique du premier ordre		284

Table de	es mat	ières	vii
	8.3.2	Le domaine des liens de parenté du los est obsolution 2 d. c. e	285
	8.3.3	Nombres, ensembles et listes madroù enrahertenoira (la a.a.c.	287
	8.3.4	Le monde du Wumpus	289
8.4		ierie des connaissances en logique notate la sempidatagoil did se emier ordre	293
	8.4.1	Le processus d'ingénierie des connaissances	293
	8.4.2	Le domaine des circuits électroniques (1900 291) (1011a 1939) (1	295
Résu	ımé		299
Note	es bibli	ographiques et historiques	299
Exe	rcices		300
9 L'in	férenc	ce en logique du premier ordre	305
9.1		nce propositionnelle vs inférence du premier ordre	305
	9.1.1	Règles d'inférence pour les quantificateurs	306
		Réduction à l'inférence propositionnelle	307
9.2	Unific	cation et élargissement	308
	9.2.1	Une règle d'inférence du premier ordre	309
	9.2.2	Unification suppression such to the segment 5.5.01	310
	9.2.3	Stockage et récupération	312
9.3	Chaîr	nage avant	314
	9.3.1	Clauses définies du premier ordre	314
	9.3.2	Un algorithme de chaînage avant simple	316
	9.3.3	Chaînage avant efficace	318
9.4	Chaîr	nage arrière	322
	9.4.1	Un algorithme de chaînage arrière	322
		Programmation logique	323
		Programmation logique avec contraintes	330
788 ₁₀₈ 9.5	Résol		331
		Forme normale conjonctive pour la logique du premier ordre	331
		Règle de résolution des inférences	333

336

340

9.5.3 Complétude de la résolution

9.5.4 Traitement de l'égalité

9.5.5 Stratégies de résolution paragraficament est entire de la financia est est entire de la financia est		342
9.5.6 Démonstrateurs de théorèmes		343
Résumé ampané di sampané di sampa		348
Notes bibliographiques et historiques political de accompagnation ash afraction		348
Exercices		353
La processus d'ingénierie des commissioners des commissiones de 2002		250
10 Représentation des connaissances de la little de la li		359
10.1 Ingénierie ontologique		359
10.2 Catégories et objets		
10.2.1 Composition physique		364
10.2.2 Mesures		365
10.2.3 Substances et objets		367
10.3 Actions, situations et événements		369
10.3.1 Ontologie du calcul des situations		369
10.3.2 Description des actions en calcul des situations		371
10.3.3 Résolution du problème représentationnel de la persist	ance	372
10.3.4 Résolution du problème inférentiel de la persistance		374
10.3.5 Temps et calcul des événements		375
10.3.6 Événements généralisés		376
10.3.7 Processus		379
10.3.8 Intervalles		380
10.3.9 Fluents et objets		381
10.4 Événements mentaux et objets mentaux		383
10.4.1 Théorie formelle des croyances		383
10.4.2 Connaissances et croyances		385
10.4.3 Connaissances, temps et action apagoi noningmanagoril		386
10.5 Le monde du commerce électronique		387
		391
10.6 Systèmes de raisonnement pour les catégories		
		393
10.6.1 Réseaux sémantiques		
10.6.2 Logiques de description 10.7 Raisonnements avec informations par défaut		396
10.7 Raisonnements avec informations par defaut		398

		10.7.1 Monde ouvert et monde clos per la come en la discontinue de la	398
		10.7.2 Négation par l'échec et sémantique des modèles stables	401
		10.7.3 Circonscription et logique des défauts	402
	10.8	Systèmes à maintenance de vérité emparament es compulaparamilent sound.	405
	Résu	mé sychowall	407
	Note	s bibliographiques et historiques	408
	Exer	Planification et action dans le monde réel	414
17	/ Pls	12.1.1 Ordensational axis contrained to tessential	
11	1 10	12.2 Phuilliar avoc un résean bienardial de taches	
11	Plan	12.2.1 Representation des décompositions d'action moitaille	421
	11.1	Le problème de la planification des procession le planification de la planification de	422
		11.1.1 Le langage des problèmes de planification molesposité (A.C.).	423
		11.1.2 Expressivité et extensions a sour such que les se montre d'année (2.2)	425
		11.1.3 Exemple: transport du fret aérien annihillows notional model 1.21	427
		11.1.4 Exemple : le problème de la roue de secours	427
		11.1.5 Exemple : le monde des blocs	428
	11.2	Planification par exploration dans un establica normalisation de la companie de l	429
		11.2.1 Exploration en avant dans un espace d'états	430
		$11.2.2\mathrm{Exploration}$ arrière dans un espace d'états mos notatoitus l'a $11.2.2\mathrm{Exploration}$	431
		11.2.3 Heuristiques pour l'exploration dans un espace d'états	433
	11.3	Planification en ordre partiel	435
		11.3.1 Un exemple de planification en ordre partiel la completa un sur	439
		11.3.2 Planification en ordre partiel avec variables libres alla \mathbb{R}^{-1}	441
		11.3.3 Heuristiques pour la planification en ordre partiel	442
	11.4	Graphes de planification	443
		11.4.1 Graphes de planification pour l'estimation heuristique	446
		11.4.2 L'algorithme GRAPHPLAN	447
		11.4.3 Terminaison de GRAPHPLAN	450
	11.5	Planification avec la logique propositionnelle	451
		11.5.1 Description de problèmes de planification en logique propo-	151

		11.5.2 Complexité des encodages propositionnels vou shandle la Complexité des encodages propositionnels vou se la Complexité des encodages propositionnels vou se la Complexité des encodages propositionnels vou se la Complexité de la Complexité des encodages propositionnels vou se la Complexité de la Complex	455
	11.6	Analyse des approches de la planification des la segundades de 12.7 (il	456
	Résu	10.7.3 Circonscription et logique des délauts des	458
	Note	s bibliographiques et historiques bibliographiques et historiques bibliographiques et historiques	459
	Exer	cices outpositi	462
		Notes bibliographiques et historiques	
12	Plan	ification et action dans le monde réel	467
	12.1	Temps, ordonnancement et ressources	467
		12.1.1 Ordonnancement avec contraintes de ressources	470
	12.2	Planifier avec un réseau hiérarchisé de tâches	472
		12.2.1 Représentation des décompositions d'action	473
		12.2.2 Modifier le planificateur pour les décompositions and long aud 1.1.1	476
		12.2.3 Discussion postsardinal quality and assumed a quantum for the little	478
	12.3	Planification et action dans des domaines non déterministes	481
	12.4	Planification conditionnelle and the temperature and an experience of the temperature of temperature of the	484
		12.4.1 Planification conditionnelle en environnements totalement observables	484
		12.4.2 Planification conditionnelle en environnements partiellement observables	489
	12.5	Monitoring de l'exécution et replanification	493
	12.6	Planification continue	498
	12.7	Planification multi-agent and motion of grown complete and S. S. H.	502
		12.7.1 Coopération : buts et plans communs appearant moderation :	503
		$12.7.2\mathrm{Plan}$ multicorps of the second control of the second	504
		12.7.3 Mécanismes de coordination au subseque des moltes d'antières de la coordination au subseque de la coordination au sub	506
		12.7.4 Concurrence becomes an italianally all most complicational 1.2.11	508
	Résu	1.1 Chaphes de planificación.	508
	Note	es bibliographiques et historiques en mothenfinale ele endenne 1.1. 11	509
	Exe	rcices NALTHERARD conditionals i. 2.1.11	513

V Connaissances et raisonnement en environnement incertain

13	Ince	14.3 Représentation efficace des distributions conditionnelles	517
	13.1		517
			518
			520
		13.1.3 Conception d'un agent utilisant la théorie de la décision	521
	13.2	Probabilités : notations de base	522
		13.2.1 Propositions (marrayeab) promorphory ob complification 4.3.3.1	522
		13.2.2 Événements atomiques	523
		13.2.3 Probabilités a priori	524
		13.2.4 Probabilités conditionnelles	526
	13.3	Les axiomes des probabilités	527
		13.3.1 Utilisation des axiomes des probabilités	529
		13.3.2 Pourquoi les axiomes des probabilités sont raisonnables	530
	13.4	Inférence utilisant des distributions conjointes complètes	531
	13.5	Indépendance	534
	13.6	La règle de Bayes et son utilisation	536
	13.7	Application de la règle de Bayes : le cas simple	537
		13.7.1 Utilisation de la règle de Bayes : la combinaison d'observations	538
	13.8	Le monde du Wumpus revisité	540
	Résu		544
	Note	s bibliographiques et historiques	545
	Exer	cices enterended and the state of the state	547
14	Rais	sonnement probabiliste	551
		Représentation des connaissances dans un domaine incertain	551
	14.2	Sémantique des réseaux bayésiens	554
		14.2.1 Représentation de la distribution de probabilités conjointe complète	554
		14.2.2 Une méthode pour construire des réseaux bayésiens orduit de Santa	555

		14.2.3 Compacité et ordre des nœuds sanociers les seconsissantio	556
		14.2.4 Relations d'indépendance conditionnelle dans les réseaux bayésiens	558
	14.3	Représentation efficace des distributions conditionnelles	559
		14.3.1 Réseaux bayésiens à variables continues	561
	14.4	Inférence exacte dans les réseaux bayésiens	564
		14.4.1 Inférence par énumération sus sus la element 2.1.81	564
		14.4.2 L'algorithme d'élimination des variables	566
		14.4.3 Complexité de l'inférence exacte	570
		14.4.4 Algorithmes de groupement (clustering)	571
	14.5	Inférence approchée dans les réseaux bayésiens	572
		14.5.1 Méthodes d'échantillonnage direct esse processes le la	572
		14.5.2 Échantillonnage par rejet dans les réseaux bayésiens	574
		14.5.3 Pondération par la vraisemblance	575
		14.5.4 Inférence par simulation de chaînes de Markov Monte-Carlo (MCMC)	578
		14.5.5L'algorithmeMCMCconstantiational transition constant3.81	578
		14.5.6 Pourquoi MCMC fonctionne	579
	14.6	Extensions des probabilités aux représentations du premier ordre	581
	14.7	Autres approches du raisonnement incertain	586
		14.7.1 Méthodes à base de règles pour le raisonnement incertain	587
		14.7.2 Représentation de l'ignorance : la théorie de Dempster-Shafer	589
		14.7.3 Représentation de l'imprécision : ensembles flous et logique floue	590
	Résu	Notes bibliographiques et historiques a casa a consumera par	591
	Note	es bibliographiques et historiques	592
	Exer	Raisonnement probabiliste	596
15	Rais	sonnement probabiliste temporel	601
	15.1	Temps et incertitude	601
		15.1.1 États et observations	602
		15.1.2 Processus stationnaires et hypothèse de Markov	603
	15.2	L'inférence dans les modèles temporels et apog obord l'un ontil 2.2.14	606

Table de	es matières	xiii
	15.2.1 Filtrage et prédiction approximation de la	607
	$15.2.2\mathrm{Lissage}$ de describe and the second of the sec	609
	15.2.3 Découverte de la séquence la plus probable conservation la la sequence la plus probable conservation de la sequence de	612
15.3	Modèles de Markov cachés obstitutouil reva serum distribit. A.A.dil	614
	15.3.1 Algorithmes matriciels simplifiés molecule de zumassiff	615
15.4	Filtres de Kalman	617
	$15.4.1\mathrm{Mise}$ à jour des distributions gaussiennes benefits de la collection de la coll	618
	15.4.2 Un exemple unidimensionnel simple discordad lab quality ad	619
	15.4.3 Le cas général de la company de la co	622
	15.4.4 Applications du filtrage de Kalman (2003) silument au C. 2.0.1	623
15.5	Réseaux bayésiens dynamiques de la	625
	15.5.1 Construction de RBD	626
	15.5.2 Inférence exacte dans les RBD el masellitu atroque sométage	630
	15.5.3 subsection Inférence approximative dans les RBD	631
15.6	Reconnaissance de la parole	635
	15.6.1 Les sons de la langue	637
	15.6.2 Les mots	639
	15.6.3 Les phrases sociation et a sociation et a	641
	15.6.4 Construction d'un système de reconnaissance de la parole	644
Résu	é mé	645
Note	s bibliographiques et historiques	646
Exer	cices trénation de la valeur	648
16 Pris	e de décisions simples	653
	Désirs, croyances et incertitude	653
	Concepts de base de la théorie de l'utilité	655
	16.2.1 Contraintes sur les préférences rationnelles	655
	16.2.2 Puis l'utilité vint	
16.3	Fonctions d'utilité	
70.0	16.3.1 L'utilité de l'argent situadi al sasquillant almana la anoisias d	
	16.3.2 Échelles d'utilité et évaluation de l'utilité	
16.4	Fonctions d'utilité multiattributs	

	16.4.1 Dominance not published to sparified the state of	664
	16.4.2 Structures de préférences et utilité multiattribut	666
	16.4.3 Préférences sans incertitude outemple et als photographs (18.5.5.1	666
	16.4.4 Préférences avec incertitude	8.31667
10.5	Réseaux de décision solutions absolutant sonultinoglA 1 8.61	668
	16.5.1 Représentation d'un problème avec un réseau de décision	668
	16.5.2 Évaluation des réseaux de décision als sobrates a natification de la contraction de la contract	670
01016.6	La valeur de l'information qui s'emplementation de l'information qui s'emplementation de l'information qui s'emplementation de l'information qui s'emplementation de l'information de l'informati	670
	16.6.1 Un exemple simple	671
	16.6.2 Une formule générale als 21 als assaultit als anottanique à la 21	672
	16.6.3 Propriétés de la valeur de l'information le angle à rad a radaca fi	673
	16.6.4 Implémentation d'un agent de collecte d'informations	674
080 16.7	Systèmes experts utilisant la théorie et emple a mance a manifold for ell	675
631	de la décision	678
Rés	4.537 .711 //	679
	es bibliographiques et historiques	680
Exe	rcices stom and C. B.31	579
17 Pri	se de décisions complexes	685
	Problèmes de décision séquentiels	685
	17.1.1 Un exemple	685
	17.1.2 L'optimalité dans les problèmes de décision séquentiels	689
840 17.5	2 Itération de la valeur	691
	17.2.1 Utilités des états salquniz anoisible de	691
	17.2.2 L'algorithme value iteration	693
	17.2.3 Convergence de value iteration	693
17.	3 Itération de la politique	697
17.	4 PDM partiellement observables hard statement observables	600
17.	5 Agents fondés sur la théorie de la décision	702
	6 Décisions et agents multiples : la théorie des jeux	
	7 Conception de mécanismes de l'approprie le la contracte de la conception de mécanismes de la contracte de la	715
	sumé - a maletas la casa de la Marchandia (Smalia malalam Stillia de anoltano)	719

Table de	es matières	xv
Note:	s bibliographiques et historiques salquas salquas samplonQ 1.2.1	719
Exer	19.2.2 Quelques schémus généraux a con a un les tradut essis	721
VI An	prentissage was bring a solution a solution of nontarial 1.2.01	
VI 11P	19.3 2 Amehorsation de l'ellieurate	
18 App	rendre à partir d'observations	725
	Types d'apprentissage in longuit solu conque l'obrandament del 1 1.61	725
	Apprentissage inductif	728
18.3	Apprentissage des arbres de décision appart suppressol nontramportation la	730
	18.3.1 Fonctionnement des arbres de décision	730
	18.3.2 Expressivité des arbres de décision	731
	18.3.3 Induction d'arbres de décision à partir d'exemples	732
	18.3.4 Choix des attributs à tester	735
	18.3.5 Évaluation de la performance de l'algorithme d'apprentissage	737
	18.3.6 Bruit et surapprentissage	739
	18.3.7 Élargir l'applicabilité des arbres de décision	741
	Apprentissage par ensembles	742
18.5	Pourquoi l'apprentissage fonctionne : la théorie de l'apprentissage supplierne agreement de l'apprentissage supplierne agreeme	710
	18.5.1 Combien d'exemples faut-il?	747
	18.5.2 Apprentissage de listes de décision	749
	18.5.3 Discussion storosib soliboni sol	750
Résu	20.2.2.Modeles bayesteas nails	752
Note	es bibliographiques et historiques	752
Exer	cices	754
19 Con	maissances et apprentissage	757
19.1	Une formulation logique de l'apprentissage	757
	19.1.1 Exemples et hypothèses	758
	19.1.2 Meilleure hypothèse courante	759
	19.1.3 Moindre engagement Annual Apparatus de aggestimorque A. C. E. OC	762
	Connaissances et apprentissage	766

		19.2.1 Quelques exemples simples exapprotent to soupidos queildid astock	767
		19.2.2 Quelques schémas généraux	768
	19.3	Apprentissage par explication	770
		19.3.1 Extraction de règles générales à partir d'exemples	771
			773
	19.4	Apprentissage fondé sur la pertinence les resdo le mirrag à cabacaqq A	775
			775
		19.4.2 Apprentissage et utilisation des informations sur la pertinence	776
	19.5	Programmation logique inductive	778
		19.5.1 Un exemple au ficie abbieb en dra seb turanonautomed 1.4.21	779
		19.5.2 Méthodes d'apprentissage inductif descendantes	781
		19.5.3 Apprentissage inductif par résolution inverse	783
		19.5.4 Découvertes par programmation logique inductive	785
	Résu	18.3.5 Evaluation de la performance de l'algorithme d'apprehl'is am	786
	Note	s bibliographiques et historiques	787
	Exer	cices	790
20	Mét	hodes d'apprentissage statistique	795
	20.1	L'apprentissage statistique	795
	20.2	Apprentissage avec données complètes	799
		20.2.1 Apprentissage de paramètres par maximum de vraisemblance :	700
		les modèles discrets	799
		les modèles discrets 20.2.2 Modèles bayésiens naïfs	799 802
		les modèles discrets 20.2.2 Modèles bayésiens naïfs 20.2.3 Apprentissage de paramètres par maximum de vraisemblance :	
		les modèles discrets 20.2.2 Modèles bayésiens naïfs 20.2.3 Apprentissage de paramètres par maximum de vraisemblance : les modèles continus	802
		les modèles discrets 20.2.2 Modèles bayésiens naïfs 20.2.3 Apprentissage de paramètres par maximum de vraisemblance : les modèles continus 20.2.4 Apprentissage bayésien de paramètres	802 802
		les modèles discrets 20.2.2 Modèles bayésiens naïfs 20.2.3 Apprentissage de paramètres par maximum de vraisemblance : les modèles continus 20.2.4 Apprentissage bayésien de paramètres 20.2.5 Apprentissage de la structure des réseaux bayésiens Apprentissage avec variables cachées : l'algorithme EM	802 802 804
		les modèles discrets 20.2.2 Modèles bayésiens naïfs 20.2.3 Apprentissage de paramètres par maximum de vraisemblance : les modèles continus 20.2.4 Apprentissage bayésien de paramètres 20.2.5 Apprentissage de la structure des réseaux bayésiens Apprentissage avec variables cachées : l'algorithme EM 20.3.1 Classification non supervisée : apprentissage de mélanges de	802 802 804 806
		les modèles discrets 20.2.2 Modèles bayésiens naïfs 20.2.3 Apprentissage de paramètres par maximum de vraisemblance : les modèles continus 20.2.4 Apprentissage bayésien de paramètres 20.2.5 Apprentissage de la structure des réseaux bayésiens Apprentissage avec variables cachées : l'algorithme EM 20.3.1 Classification non supervisée : apprentissage de mélanges de gaussiennes	802 802 804 806 808

1000000	the Part of Co		
		20.3.4 Forme générale de l'algorithme EM said se sompide regolidid se toll	815
		20.3.5 Apprentissage de structures de réseaux bayésiens avec variables cachées	816
	20.4	Apprendissage forde but les exemples	817
		20.4.1 Modèles des plus proches voisins	818
		20.4.2 Modèles à noyau moitsoinsummo	820
	20.5	Réseaux de neurones	821
		20.5.1 Unités dans les réseaux de neurones	821
		20.5.2 Structures des réseaux de neurones	823
		20.5.3 Réseaux de neurones feed-forward monocouches (perceptrons)	824
		20.5.4 Réseaux de neurones feed-forward multicouches	829
		20.5.5 Apprentissage des structures des réseaux de neurones	833
	20.6	Machines à noyau	834
	20.7	Étude de cas : reconnaissance de chiffres application a configur A LEES	837
	D /	22.4 Crammaires augmentes	840
	Résu	22.4.1 Sous-catégorism for du verbe	841
		s bibliographiques et historiques	
	Exer	22.5 Interpretation sementique	845
21	App	orentissage par renforcement a managaril multi-suptimential Laus	849
	21.1	Introduction squeet ab notsemp64 \$.5 \$.5	849
	21.2	Apprentissage par renforcement passif	851
		21.2.1 Estimation directe de l'utilité congranq noissobagrand 4.7.52	852
		21.2.2 Programmation dynamique adaptative ab goods (1995) 7.5.55	853
		21.2.3 Apprentissage par différence temporelle models as altingidad A 222	854
	21.3	Apprentissage par renforcement actif and asolatening idense ML 1 0 SS	858
		21.3.1 Exploration	858
		21.3.2 Apprentissage d'une fonction action-valeur gold de abli 1.7.22	861
	21.4	Généralisation et apprentissage par renforcement	864
		21.4.1 Applications aux jeux	867
		21.4.2 Applications au contrôle de robots	868
	21.5	Recherche de politique applicated to soupidque gold de voto N	869
	Rés	Exercices èmic de la marchia d	872

	24.4.3 Gradients de texture agagnal ub atailloidorg mamos	977
	24.4.4 Ombrage satslifeted organization self-bold	977
	24.4.5 Contours satisfied and appearance and satisfied and 1.6.32	979
24.5	Reconnaissance d'objets' supplies diffide dans abseques furroup $\mathbb{A} \subseteq 1.02$	983
860 .	24.5.1Reconnaissance à base de luminosité de consecuroup per la la la seconda de la seconda del seconda del seconda de la seconda de la seconda del seconda del seconda de la seconda de la seconda del seconda del seconda del seconda de la seconda de la seconda de la seconda de la seconda del seconda del seconda del seconda del sec	986
	$24.5.2\mathrm{Reconnaissance}$ à base d'attributs anni anno anni anni anni anni anni anni	986
	$24.5.3\mathrm{Estimation}$ de la pose han ab semple se se de manda de la S. S.	988
24.6	Utilisation de la vision pour la manipulation et la navigation	991
Résu	mé and not	993
Note	s bibliographiques et historiques	994
Exer	cices another distributed in a subfamily another substitution of the substitution of t	997
25 Rob	Traduction automatique	999
	Introduction secure de un automotique de la secure de la	999
	Aspects matériels	1001
566	stitlidadorq ab enassaluração la supilsanda a notrada el £.1.59 25.2.1 Capteurs	1001
	25.2.2 Effecteurs	1001
25.3	Perception robotique	1005
168	25.3.1 Localisation	1006
		01011
	25.3.3 Autre types de perception moitonbortal	
	Planification du mouvement	
	25.4.1 Espace des configurations segret in alliant enue enqual 1.1.19	1016
	25.4.2 Méthode de décomposition cellulaire mode de some seve aux 40	1018
	25.4.3 Méthode de squelettisation ab antianomorp a profiner I 8.8.48	1021
	Planification de mouvements incertains of gont bodge a product 1.2.12	1023
	25.5.1 Méthodes robustes illes memeries i el encitare que e refirme la	
788 25.6	Le mouvement de contourses de contourses de la description d	1026
	25.6.1 Dynamique et contrôle pasmill ob gostuterompo2 \$ 5.4.5	1027
	25.6.2 Contrôle de champ de potentiel et enoisement le moisement.	1029
	25.6.3 Contrôle réactif	
25.7	Architectures logicielles en robotique	1032

Table des matières	xxi
able des illaticies	26262

801	25.7.1 L'architecture de subsomption		1032
	25.7.2 L'architecture à trois couches		1034
	25.7.3 Les langages de programmation	de la robotique	1034
25.8	Domaines d'application		1036
Rés	umé ensement difficiles emu		1039
Not	es bibliographiques et historiques		1040
Exe	rcices		1043
VIII	Conclusions		
26 For	dements philosophiques		1047
26.1	IA faible : les machines peuvent-elles a intelligemment ?	gir - semana de langames Descripçion d'algerationes	1047
	26.1.1 L'argument de l'incapacité		1049
	26.1.2 L'objection mathématique		1050
	26.1.3 L'argument de l'informalité		1051
26.2	2 IA forte : les machines peuvent-elles ré	ellement penser?	1053
	26.2.1 Le problème du corps et de l'esp	rit	1055
	26.2.2 L'expérience du « cerveau dans	a cuve »	1057
	26.2.3 L'expérience de la prothèse céré	orale	1058
	26.2.4 La chambre chinoise		1060
26.3	Éthique et risques du développement de l'intelligence artificielle		1062
Rés	umé		1066
Not	es bibliographiques et historiques		1067
Exe	ercices		1069
27 IA	: présent et futur	er caner en expentir d'un i	1071
27.	Les composants des agents		1071
27.5	2 Architectures de l'agent		1074
27.	3 Sommes-nous sur la bonne voie?		1075
27.	4 Et si l'IA atteignait son but?		1077

A Rap	pels mathématiques rolliquiosdus els enuiteetines.	1081
Annexe	$A: Rappels\ math{\'e}matiques 1081 {\it above sion}\ {\it is an obstitute}\ C$	
A.1	Analyse de la complexité et notation $O()$ an al complexité et	1081
	A.1.1 Analyse asymptotique	1081
2801 .	A.1.2 Problèmes NP et intrinsèquement difficiles	1082
	A.1.3 Vecteurs, matrices et algèbre linéaire de somplique par	1084
A.2	Distributions de probabilités	1086
Note	es bibliographiques et historiques	1087
B Note	es sur les langages et les algorithmes	1089
Annexe	B : Rappels mathématiques1089	
B.1	Définition de langages sous forme de Backus-Naur (BNF)	1089
B.2	Description d'algorithmes en pseudocode	1090
B.3	Aide en ligne	1091
1801 j. j	L'objection multiamatique	1000
Bibliog	graphie State of a present state of the stat	1093
Index		1161