



LABORATOIRE D'INFORMATIQUE DE PARIS 6

# Apprentissage et Acquisition de Connaissances

**Apprentissage supervisé par  
génération de règles : le système  
SUCRAGE**

*A. Borgi - Ben Bouzid*

THÈSE de DOCTORAT de l'UNIVERSITÉ PARIS 6

LIP6 1999 / 008

janvier 1999

# Table des matières

---

<b>Introduction générale.....</b>	<b>9</b>
<b>I. Classification et Apprentissage automatique.....</b>	<b>15</b>
I.1. Introduction.....	15
I.2. L'apprentissage automatique.....	16
I.2.1 L'apprentissage non supervisé.....	17
I.2.2 L'apprentissage supervisé.....	18
I.3. Classification en Reconnaissance des Formes.....	19
I.3.1 Introduction.....	19
I.3.2 L'espace de mesure.....	21
I.3.3 L'espace de représentation.....	21
I.3.4 L'espace de décision ou d'interprétation.....	22
I.4. Des méthodes de classification.....	24
I.4.1 De l'approche statistique .....	24
I.4.1.1 La régression.....	24
I.4.1.2 L'analyse discriminante.....	25
I.4.1.2.1 L'analyse discriminante à but descriptif.....	25
I.4.1.2.2 L'analyse discriminante à but décisionnel.....	28
I.4.1.3 La discrimination fonctionnelle.....	29
I.4.2 De l'approche probabiliste.....	31
I.4.2.1 La théorie bayésienne de la décision .....	31
I.4.2.1.1 Méthodes non paramétriques.....	32
I.4.3 Classification par génération de règles.....	34
I.4.3.1 Les arbres de décision.....	35
I.4.3.2 Les méthodes polythétiques de génération de règles.....	38
I.4.3.3 Les Systèmes d'Inférence Floue ou SIF.....	42
I.5. Les grandes lignes de l'approche proposée .....	47
<b>II. Apprentissage par génération automatique de règles à prémisses multi-valentes.....</b>	<b>51</b>
II.1. Introduction .....	51
II.1.1 L'ensemble d'apprentissage.....	52
II.1.2 Morphologie des règles .....	53
II.2. Regroupement des attributs.....	54
II.2.1 Recherche de corrélations toutes classes confondues.....	54
II.2.1.1 Calcul de la matrice de corrélation linéaire R.....	54
II.2.1.2 Seuillage de R.....	55
II.2.1.3 Recherche de la partition orthogonale minimale.....	55

II.2.1.4 Un exemple.....	57
II.2.2 Recherche de corrélations intra-classes.....	58
II.2.2.1 Calcul des matrices de corrélation linéaire $R^k$ .....	58
II.2.2.2 Seuillage des matrices $R^k$ .....	59
II.2.2.3 Recherche des partitions orthogonales minimales.....	59
II.2.2.4 Un exemple de recherche de corrélations intra-classes.....	60
II.3. Génération des prémisses.....	61
II.3.1 Discrétisation de l'espace des attributs corrélés.....	61
II.3.1.1 Les méthodes de discrétisation non supervisée.....	62
II.3.1.1.1 La discrétisation régulière.....	62
II.3.1.2 Les méthodes de discrétisation supervisée.....	63
II.3.1.2.1 La méthode basée sur le MDLPC.....	64
II.3.1.2.2 FUSINTER.....	66
II.3.1.3 Discussion.....	67
II.3.2 Construction des prémisses.....	68
II.4. Conclusions des règles.....	71
II.4.1.1 Les conclusions.....	71
II.4.1.2 Représentation de l'incertitude.....	72
II.4.1.2.1 Le degré de croyance est une probabilité.....	73
II.4.1.2.2 Le degré de croyance est un coefficient de certitude.....	76
II.5. Complexité en nombre de règles générées.....	78
II.6. Discussion.....	83
II.6.1 Sélection des attributs.....	83
II.6.2 Prise en compte d'attributs symboliques.....	84
II.6.3 Les corrélations entre attributs.....	85
II.6.3.1 Le seuil de corrélation.....	85
II.6.3.2 Une autre méthode de recherche de corrélation linéaire.....	86
II.6.3.3 Autres formes de corrélations.....	87
II.6.4 La discrétisation.....	87
II.6.4.1 Détermination de la taille de la partition optimale.....	87
II.6.4.2 D'autres méthodes de discrétisation.....	89
II.6.5 Interprétation des règles et optimisation de leur nombre.....	90
II.6.6 Comparaison avec les SIF.....	94
II.7. Conclusion.....	95
<b>III. Le système d'inférence.....</b>	<b>99</b>
III.1. Le système d'inférence.....	100
III.1.1 Le raisonnement.....	100
III.1.2 Le traitement de l'incertitude.....	102
III.2. L'incertitude est représentée par des probabilités.....	104
III.3. L'incertitude est représentée par des CF.....	108
III.4. Cohérence et caractéristiques de la base de règles.....	111
III.5. Conclusion.....	111
<b>IV. Le raisonnement approximatif.....</b>	<b>115</b>
IV.1. Introduction.....	115

IV.2. Un raisonnement approximatif.....	117
IV.2.1 Adéquation entre observation et prémisse.....	120
IV.2.1.1 Une distance locale.....	121
IV.2.1.2 Une distance globale.....	125
IV.2.2 L'inférence approximative.....	131
IV.2.3 Récapitulatif.....	136
IV.3. Validation et apprentissage via le raisonnement approximatif.....	137
IV.3.1 Comparaison entre raisonnement exact et approximatif.....	138
IV.3.2 Apprentissage par le raisonnement approximatif.....	141
IV.3.3 Mise à jour de la base de règles.....	145
IV.4. Discussion.....	148
IV.4.1 Les distances.....	148
IV.4.2 Simplification de la base de règles.....	151
IV.5. Conclusion et Perspectives.....	153
<b>V. Implémentation et résultats.....</b>	<b>159</b>
V.1. Présentation.....	159
V.2. Implémentation : l'application SUCRAGE.....	160
V.2.1 Architecture.....	160
V.2.2 Les tests.....	161
V.2.3 La méthode de validation croisée.....	163
V.3. Les données IRIS.....	164
V.3.1 Inférence exacte.....	164
V.3.1.1 Recherche de corrélations toutes classes confondues.....	164
V.3.1.1.1 Probabilités.....	164
V.3.1.1.2 Coefficients de certitude.....	167
V.3.1.2 Recherche de corrélations intra-classes.....	168
V.3.1.2.1 Probabilités.....	168
V.3.1.2.2 Coefficients de certitude.....	169
V.3.2 Raisonnement approximatif.....	171
V.3.2.1 Recherche de corrélations toutes classes confondues.....	171
V.3.2.1.1 Probabilités.....	171
V.3.2.1.2 Coefficients de certitude.....	174
V.3.2.2 Recherche de corrélations intra-classes.....	176
V.3.2.2.1 Probabilités.....	176
V.3.2.2.2 Coefficients de certitude.....	178
V.3.3 Synthèse des résultats.....	179
V.3.4 Comparaison avec d'autres méthodes.....	181
V.4. Les images.....	182
V.4.1 Présentation générale.....	182
V.4.1.1 La segmentation.....	184
V.4.1.2 La classification.....	185
V.4.1.3 Notre approche appliquée aux images.....	186
V.4.2 Image de cryosection humaine.....	187
V.4.2.1 Inférence exacte.....	188
V.4.2.1.1 Recherche de corrélations toutes classes confondues.....	188
V.4.2.1.2 Recherche de corrélations intra-classes.....	191

V.4.2.2 Raisonnement approximatif.....	192
V.4.2.3 Synthèse des résultats.....	194
V.4.3 Image de papillon coloré.....	196
V.4.3.1 Inférence exacte .....	198
V.4.3.1.1 Recherche de corrélations toutes classes confondues .....	198
V.4.3.1.2 Recherche de corrélations intra-classes .....	200
V.4.3.2 Raisonnement approximatif.....	202
V.4.3.3 Synthèse des résultats.....	204
V.4.4 Image de texture.....	205
V.4.4.1 Inférence exacte .....	205
V.4.4.1.1 Recherche de corrélations toutes classes confondues .....	206
V.4.4.1.2 Recherche de corrélations intra-classes .....	207
V.4.4.2 Raisonnement approximatif.....	209
V.4.4.3 Synthèse des résultats.....	210
V.5. Discussion et conclusion.....	210
<b>Conclusion et perspectives .....</b>	<b>217</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>225</b>
A. Les corrélations linéaires.....	227
B. Composantes connexes d'un graphe et partition orthogonale.....	229
C. Extraits du code de SUCRAGE.....	233
C.1 Exemples de structures de données.....	233
C.2 Des exemples de fonctions.....	233
D. Entrées/Sorties et traces d'exécution.....	237
D.1 Un exemple de fichier d'apprentissage.....	237
D.2 Extrait d'un fichier de résultats.....	237
D.3 Extrait d'un fichier de règles générées.....	238
E. Tests sur d'autres bases de données et comparaisons avec d'autres méthodes d'apprentissage.....	243
E.1. Les bases de test.....	243
E.2. Résultats des tests et comparaisons.....	244
F. Tests avec d'autres méthodes de discrétisation.....	247
F.1. Deux méthodes de discrétisation supervisée.....	247
F.2. Résultats expérimentaux.....	247
F.3. Conclusion .....	250
<b>Bibliographie.....</b>	<b>251</b>