

Acquisition automatique et analyse de processus de décision. Application au domaine bancaire.

Philippe Lenca

▶ **To cite this version:**

Philippe Lenca. Acquisition automatique et analyse de processus de décision. Application au domaine bancaire.. Recherche opérationnelle [cs.RO]. Université de Rennes 1, 1997. Français. NNT : 1997REN10012 . tel-03292746

HAL Id: tel-03292746

https://imt-atlantique.hal.science/tel-03292746

Submitted on 20 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année 1997

Thèse présentée devant

L'UNIVERSITE DE RENNES I

pour obtenir

le Doctorat de l'Université de Rennes I

mention : Informatique

par

Philippe Lenca

Acquisition automatique et analyse de processus de décision. Application au domaine bancaire.

Soutenue le 14 janvier 1997, à l'ENST-Bretagne, devant la commission d'examen composée de :

MM.

Bruno	Arnaldi	Président	IRISA
Jean-Pierre	Barthélemy	Directeur	ENST-Bretagne
Norbert	Cot	Rapporteur	Université de Paris V
Jean-Charles	Pomerol	Rapporteur	Université de Paris VI, LAFORIA
Israël César	Lerman	Examinateur	IRISA
Philippe	Vincke	Examinateur	Université Libre de Bruxelles
Hervé	Le Borgne	Invité	Université de Bretagne Occidentale

Remerciements

Je tiens à remercier les membres du jury :

- M. Bruno Arnaldi, professeur à l'INSA de Rennes, d'avoir accepté de présider ce jury.

- M. Norbert Cot, professeur à l'Université de Paris V, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger, après le Magistère d'Informatique Appliquée d'Ile de France et le DEA Intelligence Artificielle et Reconnaissance des Formes, une nouvelle fois mon travail. C'est grâce à M. Cot, notamment, que je me suis pris de passion pour l'Intelligence Artificielle.

- M. Jean-Charles Pomerol, professeur à l'Université de Paris VI, qui au même titre que Monsieur Cot me fait l'honneur d'accepter de juger, après le DEA Intelligence Artificielle et Reconnaissance des Formes, une nouvelle fois mon travail. Ses travaux en Aide à la Décision sont pour moi une référence et un exemple d'inspiration. Je tiens également à remercier M. Pomerol pour l'aide apportée dans le cadre de mes interventions à l'Euro-Institut d'Actuariat (EURIA) de l'Université de Bretagne Occidentale (UBO).

- M. Philippe Vincke, professeur à l'Université Libre de Bruxelles, qui a accepté de siéger dans ce jury et qui me fait l'honneur de s'intéresser à mon travail. Après diverses rencontres au sein du groupe de travail Européen d'Aide Multi-Critère à la Décision, c'est avec plaisir que je retrouve M. Vincke dont les travaux m'ont beaucoup servi dans la rédaction de cette thèse.

- M. Israël César Lerman, professeur à l'Université de Rennes I, d'avoir accepté de siéger dans ce jury.

- M. Hervé Le Borgne, directeur de l'EURIA, maître de conférence associé de l'UBO, pour son soutien sans faille tout au long de cette thèse. Je tiens également à remercier M. Le Borgne pour la confiance qu'il m'a accordée au sein de l'EURIA. J'ai pu ainsi y exercer pleinement une activité d'enseignement et je remercie également le personnel et les étudiants de l'EURIA.

- M. Jean-Pierre Barthélemy, professeur à Télécom Bretagne, qui a encadré et dirigé ce travail de thèse. Je ne le remercierai jamais assez pour ses nombreux conseils scientifiques et amicaux. Son enthousiasme et les interminables soirées JADAR (projet Jugement, Aide à la Décision et Acquisition de Règles) qui, se terminant souvent devant une cheminée et un sirop de houblon, ont donné un cadre de travail agréable à cette thèse.

Je remercie également M. Etienne Mullet, directeur à l'Ecole Pratiques des Hautes Etudes pour les précieux conseils qu'il m'a donnés au cours de nos rencontres.

Je remercie vivement tous les joyeux membres du Laboratoire d'Intelligence Artificielle et Sciences Cognitives (LIASC) de Télécom Bretagne. Nos bonnes et mauvaises humeurs, nos discussions effrénées ont fait du LIASC un endroit où il fait bon travailler. Les citer tous ici serait trop long. Je remercie plus particulièrement Fabrice, Emmanuel et Jean-Daniel pour nos échanges scientifiques et amicaux, Sylvie, Elisabeth, Nicolas, Benoît, Sarhane pour la bonne ambiance du bureau 123. Enfin je ne remercierai jamais assez Elisabeth, Pierre (encore une fois !) et Ghislaine pour leur soutien et l'aide inestimable apportée à distance (environ 1000 km ; que c'est beau les réseaux informatiques) dans le sprint final de mise au point de ce document.

Je remercie Janet Omrod, enseignante d'anglais à Télécom Bretagne, pour sa patience et les corrections apportées aux articles publiés dans la langue de Shakespeare.

Une grande partie de ce travail a été réalisé au Crédit Mutuel de Bretagne (CMB) dans le cadre d'une convention CIFRE. Je remercie tous les membres de la Direction Vie Coopérative et Mutualiste du CMB et en particulier Ms. Pierre Pailler et Jean-Michel Le Bot. Leur soutien et leur aide sont inestimables.

Je remercie vivement M. André Rousseau, directeur des études marketing du Crédit Mutuel de Bretagne, pour son soutien au sein du CMB et pour l'aide précieuse qu'il m'a fournie afin de me faire comprendre l'approche du consommateur dans le domaine bancaire.

Je remercie également très chaleureusement Marie-Joëlle, Hélène, Armelle, Rachel, Nadine, Dominique, Hubert, etc, pour leur nombreux conseils, pour leur joie et bonne humeur qui rendaient les pauses café et les repas agréables. Je remercie les informaticiens du CMB qui m'ont aidé à développer la version windows d'APACHE, en particulier Thierry et Eric. Enfin, que toute l'équipe de Brest Centre, en particulier Philippe, Laurent et Thierry, reçoive mes remerciements pour m'avoir toujours bien accueilli au sein de leur agence. Ils ont contribué à ma formation bancaire et à ma compréhension du travail de conseiller.

Les expériences menées dans le cadre de ce travail n'auraient jamais pu être réalisées sans la bonne volonté des sujets qui s'y sont prêtés. Ils resteront anonymes et je leur dois beaucoup, en particulier à Christel et Patrick.

Enfin, je tiens à remercier tous mes nouveaux collègues de l'Institut Polytechnique de Sévenans (IPSE) pour leur soutien, leur confiance et l'aide morale qu'il m'ont apportée depuis mon arrivée à l'IPSE sur un poste d'enseignant-chercheur. Je tiens à remercier en particulier, Mr. Bulabois, directeur de l'IPSE, Nadia, Abder, Pablo,

Maxime, Abderrahim, Belhassen, Didier, Pierre, Jean-Louis, Pascal, Jean-Noël, Valérie, Mohcine, Jean-Claude et aussi les étudiants de l’IPSE.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, m’ont toujours aidé tout au long de cette thèse. Je pense en particulier à mes parents, à toute ma famille, à mes amis et à Marie.

Sommaire

Remerciements **2**

Sommaire **5**

Introduction **9**

Chapitre 1 -Vers l'étude des processus de décision du consommateur13

1 Introduction 15
1.1 Le consommateur : l'aboutissement de l'entreprise 15
1.2 Une explosion de l'offre et de la concurrence 15
1.3 Cas particulier du secteur bancaire 16
1.4 Savoir ce que veut le consommateur 19
2 Les facteurs explicatifs 21
2.1 Généralités 21
2.2 Les facteurs individuels 23
3 Les approches modernes du consommateur 25
4 La décision individuelle 26
4.1 Généralités 26
4.1.1 Structure d'un problème de décision 26
4.1.2 La tâche de décision 28
4.1.3 La nature du décideur 29
4.1.4 Modélisation du décideur 31
4.1.5 L'apport de la psychologie 33
4.1.6 La décision comme un processus 33
4.2 Traitement de l'information et processus de décision 34
4.2.1 La mémoire 34
4.2.2 Rationalité limitée et comportement du décideur 35
4.3 Modèles de prise de décision 36
4.3.1 La théorie de l'utilité 37
4.3.2 Le modèle «Attente-Valeur» 38
4.3.3 Le critère de Laplace 39
4.3.4 Le critère de Hurwicz 40
4.3.5 La règle de dominance 40
4.3.6 Les règles conjonctive et disjonctive 40
4.3.7 Le modèle lexicographique 41
4.3.8 L'élimination par aspects 41

4.3.9 Les critères maximax et maximin 41
4.4 Discussion 42

Chapitre 2 -Modèle et algorithmes 45

1 La problématique de l'acquisition des connaissances 47
1.1 Pourquoi faire de l'extraction d'expertise ? 47
1.2 L'acquisition de connaissances 48
1.2.1 Acquisition dirigée par l'implémentation et par les modèles 48
1.2.2 Principales difficultés liées à la verbalisation 49
1.2.3 Acquisition dirigée par un modèle cognitif 51
1.2.4 Vers l'acquisition par apprentissage 51
2 Modèle d'acquisition de stratégies de décision 54
2.1 Modèle psychologique 54
2.2 Modélisation 60
2.2.1 Espaces de représentation 60
2.2.2 La structure des attributs 61
2.2.3 L'algorithme d'apprentissage 62
2.2.4 Conclusions 65
3 Recherche d'antichaînes dans un ensemble ordonné 66
3.1 Recherche d'une antichaîne 67
3.2 Comparaison avec d'autres algorithmes d'apprentissage 69
4 Complexité 69
4.1 Complexité maximale théorique cn 70
4.2 Complexité cn "réelle" 72
4.3 Complexité minimale cn théorique 74
4.4 Choix du point-question 75
4.5 Evolution des performances de l'algorithme pour cn 78
4.6 Complexité maximale ct théorique 82
4.7 Complexité cs 83
5 Problèmes liés à la modélisation 83
5.1 Obtention des attributs pertinents 83
5.2 Structure des attributs et échelles d'attractivité 84
5.3 Combinatoire de *P* *86*
5.4 Monstres cognitifs 86
5.5 Discussion 89
6 Algorithmes 90
6.1 Création et codage de l'espace des possibles *P* 91

6.1.1 Recouvrement par des chaînes ... 91
6.1.2 Recouvrement total par des intervalles ... 92
6.1.3 Recouvrement total par l'ordre lexicographique ... 92
6.1.3.1 Codage de *P* ... *92*
6.1.3.2 Déroulement de l'algorithme : un exemple ... 96
6.2 Propriétés ... 96
6.2.1 Recouvrement de *P* ... 96
6.2.2 Recherche des éléments de *P* ... 97
6.2.3 Partition minimale en chaînes de *P* ... 97
6.2.4 Traiter les monstres cognitifs ... 102
6.2.5 La modification de l'espace des possibles en cours d'extraction ... 103
6.3 La procédure de choix de l'élément question ... 103
6.3.1 Principes ... 104
6.3.2 Complexité ... 105
6.4 Limites de ce codage ... 107
6.5 APACHE et l'aide à la décision ... 107
6.6 Conclusions ... 109
7 Acquisition avec APACHE ... 109
7.1 Le modèle du monde *O* ... 110
7.2 L'acquisition par apprentissage ... 110
7.3 La vérification des stratégies apprises ... 111

Chapitre 3 -Application au domaine bancaire ... 113

1 Application au domaine de l'épargne ... 114
1.1 Le modèle du monde de l'épargne ... 116
1.1.1 Taille maximale du monde des possibles ... 116
1.1.2 Le monde des possibles utilisé ... 116
1.2 Protocole expérimental ... 119
1.2.1 Présentation de l'expérience ... 119
1.2.2 Instructions données ... 119
1.2.3 Déroulement de l'expérience ... 121
1.2.4 Choix des sujets ... 123
1.2.5 Résumé des différences entre expériences ... 123
1.3 Résultats quantitatifs ... 124
1.4 Résultats qualitatifs ... 126
1.5 Expériences menées avec le sujet 1 ... 130
1.5.1 Questionnaire ... 130
1.5.2 Les stratégies calculées ... 133
1.5.3 Commentaires sur les contradictions ... 134

1.5.4 La reconnaissance des monstres cognitifs 136
1.5.5 Les temps de réponses 136
1.5.6 Les échelles d'attractivités 137
1.5.7 Problème 137
1.6 Expériences menées avec le Sujet 2 137
1.7 Expériences menées avec le Sujet 3 139
1.8 Discussion 139
1.8.1 Retour sur le modèle 139
1.8.2 Retour sur l'application 140
2 Prospective vers d'autres utilisations d'APACHE 141
2.1 Application au crédit avec les conseillers 141
2.2 Application à la mesure du risque client 142
2.3 Deux utilisations actuelles 143

Annexes 145

Annexe 1 - A propos des sciences et techniques cognitives, de l'aide à la décision pour la banque et la finance. 146

Annexe 2 - Règles du sujet 1 - expérience 1 166

Annexe 3 - Expériences menées pour la construction de l'espace des possibles 168

Annexe 4 - Principaux produits d'épargne (cités dans le rapport de thèse). 169

Annexe 5 - L'épargne 170

Annexe 6 - Ensembles ordonnés 186

Références bibliographiques 195

Index des auteurs 206

Index 211

Liste des figures 214

Liste des tableaux 215

Introduction

Le travail de thèse présenté dans ce document a été réalisé dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation par la REcherche (CIFRE) entre le Crédit Mutuel de Bretagne et le Département d'Intelligence Artificielle et Sciences Cognitives (IASC) de Télécom Bretagne sous la direction de Jean-Pierre Barthélemy.

Son objet est l'*Acquisition automatique et l'analyse de processus de décision appliquées au domaine bancaire* (extraction de critères de décision de clients en matière de produits d'épargne).

Il a été réalisé dans le cadre du projet JADAR (Jugement, Aide à la Décision et Acquisition de Règles) mené au département IASC entre 1991 et 1995.

Il correspond tant à une problématique scientifique qu'à des enjeux économiques.

Les enjeux portent sur le secteur bancaire où la concurrence est particulièrement importante entre les établissements dits classiques. Celle-ci s'accroît chaque jour avec l'arrivée et les offensives de nouveaux venus. Grandes surfaces, grands magasins, et établissements publics ont fait leur apparition (au début des années 90) dans un marché quasiment saturé.

Cette concurrence féroce a appris au consommateur, désormais fortement multi-bancarisé, qu'il lui était possible de négocier avec les banques. Les facilités dont il dispose pour quitter un établissement lui donnent un sentiment de puissance, renforcé par le fait qu'il s'agit de *son* argent, qu'il peut mettre où il désire. Le consommateur devient l'objet de toutes les attentions.

Afin d'attirer la clientèle et de la fidéliser, les banquiers sont conduits à faire preuve d'une imagination débordante pour créer des *produits adaptés aux besoins des consommateurs*. Ils doivent par ailleurs leur assurer de très bonnes performances. Mais, ce n'est pas suffisant. Il existe un portefeuille de produits courants identiques d'un établissement à un autre. Il faut donc rivaliser en termes de services, de réputation et surtout de *qualité de conseil* pour attirer le consommateur. Ce dernier, qui se comporte de plus en plus comme un gestionnaire averti, est plus sensible à l'adéquation entre l'offre et ses besoins qu'aux performances exceptionnelles de produits dont il peut se passer. Nous nous intéresserons particulièrement au marché de l'épargne. Celui-ci constitue un enjeu important, étant donné le taux d'épargne élevé des ménages.

Le choix d'un ou de plusieurs placements pose des problèmes décisionnels complexes, tant pour l'épargnant que pour le conseiller de la banque. Afin de pouvoir proposer des produits adaptés à son client, le banquier doit d'abord déterminer avec précision ce que ce dernier veut et ce dont il a besoin. Le client est, quant à lui, très souvent incapable d'exprimer lui-même ses besoins et aimerait bien concilier des propriétés contradictoires comme la disponibilité de son épargne, une fiscalité avantageuse et un rendement élevé.

La mise au point d'un *système d'aide au conseil* est donc devenu un objectif particulièrement pertinent pour les établissements financiers. Une des étapes importantes du conseil est de savoir exactement ce que veut l'épargnant-consommateur. Il s'agit alors de connaître les préférences de l'épargnant en matière d'épargne, dans la perspective de constituer des produits "à la carte".

Dans cette perspective, un *système d'acquisition automatique en temps réel des stratégies de décision* de l'individu devient d'un intérêt évident. Celui-ci permettra de comprendre les décisions à l'instant où elles sont prises et, en matière d'offre commerciale, de faire les propositions correspondantes au bon moment. Un tel système constituera le module de base d'un système interactif d'*aide à la décision* ou d'aide à la vente mis à la disposition des conseillers du réseau de la banque.

On se situe ainsi dans une problématique d'*aide à la décision* non seulement du point de vue du banquier, dans le sens où l'on calcule les stratégies de décision de sa clientèle au moment où elles sont actives, mais aussi du point de vue du consommateur, en déterminant son profil personnel en tant qu'individu et non par rapport à un profil moyen.

L'acquisition des stratégies de décision de l'individu relève quant à elle d'une problématique plus générale de l'*acquisition des connaissances*. L'utilisation *on-line* du système, en agence et avec le client, est fortement contrainte. C'est une situation dans laquelle la disponibilité du décideur et des intervenants est quasi-nulle. Les contraintes concernent l'ergonomie du logiciel, les temps de calcul et la taille du questionnaire. Le système doit de plus fonctionner sur une machine de type PC-portable.

Les techniques classiques d'acquisition de connaissances ne sont guère adaptées pour résoudre notre problème. Les méthodes dites dirigées par l'implémentation ont pour effet de conduire l'individu à s'exprimer dans un langage proche de la machine. Les techniques reposant sur une modélisation du domaine de l'expertise, conduisent

l'individu à agir en *problem solver*. Dans les deux cas, la verbalisation est toujours très utilisée et l'expertise acquise tend à rester proche de la machine. Ce type d'approche nécessite de plus la présence active d'un cogniticien.

Nous proposons d'utiliser une technique d'*acquisition par apprentissage* mettant en œuvre un modèle cognitif du décideur (l'*Heuristique de la Base Mobile*, HBM, de Barthélemy et Mullet). L'approche cognitive consiste, essentiellement, à élaborer un modèle du décideur puis, par observation de son comportement, à le valider. L'acquisition est pilotée par un algorithme d'apprentissage, ce dernier joue le rôle du cogniticien en choisissant judicieusement les questions à proposer.

Cette approche consiste à proposer une série d'objets (constituant l'ensemble d'apprentissage) au décideur. Ce dernier doit alors classer les objets. Elle exige une structure particulière du monde des objets (cadre de la décision multi-attributs, échelles ordinales). C'est le cas du monde de l'épargne.

Le défi est alors de minimiser la taille de l'ensemble d'apprentissage tout en obtenant une collection de règles permettant d'expliquer la totalité des choix effectués. La minimisation de la taille de l'ensemble d'apprentissage nécessite en particulier que ce dernier soit engendré dynamiquement par l'algorithme. Cet algorithme consiste à chercher des antichaînes dans un ensemble ordonné. On se trouve alors face à un problème d'optimisation combinatoire pour lequel on cherche à minimiser les temps de calcul.

Ce travail nous a en particulier conduit à mettre au point une méthode originale (au niveau des algorithmes mis en œuvre et des structures de données) d'acquisition de stratégies expertes afin de minimiser la durée de l'acquisition.

Il s'est concrétisé par la réalisation du logiciel APACHE (*Acquisition Par Apprentissage de Connaissances Humaines Expertes*) qui est une implémentation du modèle HBM.

Les objectifs sont atteints. Ainsi, pour des problèmes concrets, comme l'aide au conseil en matière d'épargne, on réalise en même temps la minimisation de la taille de l'ensemble d'apprentissage et l'obtention de temps de calcul négligeables sur des machines de type PC. On dispose de plus, d'un outil très simple à utiliser tant pour le conseiller que pour l'épargnant. Les expériences menées auprès d'épargnants ont montré la pertinence de l'approche.

Nous avons également étudié les limites de notre modèle. Ainsi, pour une utilisation aussi contrainte que l'aide au conseil, on montre qu'il n'est guère envisageable d'utiliser plus de cinq attributs pour décrire les objets. On propose également des moyens de franchir ces limites.

Enfin, APACHE est généralisable à tout type d'application respectant les hypothèses du modèle. Il est d'ailleurs actuellement utilisé dans d'autres domaines que l'épargne.

Le document est structuré en quatre grandes parties.

Le chapitre 1 (Vers l'étude des processus de décision du consommateur) précise le cadre applicatif de ce travail. Il étudie les rapports entre la compréhension du comportement du consommateur et la décision individuelle. On montre l'intérêt d'un système d'acquisition automatique des stratégies de décision de l'individu pour résoudre un problème difficile posé au monde bancaire.

Au chapitre 2 (Modèle et algorithmes), on étudie le modèle de prise de décision HBM et la mise au point du système APACHE. Nous étudierons en particulier les structures de données et les algorithmes mis en œuvre dans APACHE pour minimiser l'ensemble d'apprentissage et les temps de calcul. Les problèmes liés aux modèles seront également discutés.

Enfin, le chapitre 3 présente une application au domaine de l'épargne. Les résultats d'expériences menées avec des épargnants sont présentés et discutés. Pour terminer, on propose deux autres domaines d'application pouvant intéresser le monde bancaire.

La quatrième et dernière partie regroupant toutes les annexes apporte un certain nombre de compléments. L'annexe 1 discute de l'intérêt des Sciences et Techniques Cognitives pour la banque et la finance. Les quatre annexes suivantes concernent le domaine de l'épargne (elles précisent certaines expériences décrites au chapitre 3 et le monde de l'épargne). Enfin, l'annexe 6 sur les ensembles ordonnés contient les notions utilisées au chapitre 2.

Chapitre 1 - Vers l’étude des processus de décision du consommateur

Si l’on ne pense pas client, on ne pense pas du tout
Ted Levitt

Un objectif essentiel pour les banques est l’amélioration de leur relation avec la clientèle (cf. l’annexe 1).

Pour l’atteindre, les banques doivent, en particulier, se donner les moyens de mieux connaître les besoins de leurs clients afin d’adapter l’offre à la demande, l’idéal étant de personnaliser de plus en plus les conseils et produits. Les exigences et l’infidélité de la clientèle croissent chaque jour. Ainsi, dans un secteur hyper-concurrentiel, la réalisation de cet objectif est primordiale. Il permet de conserver les clients et d’en conquérir de nouveaux. Les clients satisfaits de leur banque la conseillent très volontiers à leur entourage.

Pour cela, il faut pouvoir créer ou proposer, à temps, les produits et services qui intéressent les individus tout en respectant les contraintes financières de l’entreprise. Le «juste à temps» (c’est-à-dire avant la concurrence compte tenu de la receptivité du client) est un facteur important de réussite. Il devient incontournable pour tous les produits réglementés, dont la détention doit être unique (par individu ou par foyer fiscal), favorisant ainsi, avec un conseil de qualité, la monobancarisation. Le conseil de qualité passe nécessairement par une adéquation entre les solutions proposées et les besoins et profils de la clientèle. Pour cela, il faut s’attacher au développement d’outils d’aide à la décision ou au conseil permettant, d’une part, d’assister le conseiller et le client dans le choix des solutions et, d’autre part, de fournir un argumentaire de vente personnalisé. Ce type d’outils, utilisé *on-line* c’est-à-dire en agence avec le client, permet d’assister le banquier au moment où les décisions sont prises.

Le développement d’outils d’aide au conseil relève des problèmes de décision. Il faut s’intéresser aux aspects *prise de décision* chez le consommateur et *aide à la décision* chez le banquier. L’étude du comportement du consommateur est difficile. Celle-ci passe par la compréhension de toutes les facettes du comportement humain au travers de

nombreux facteurs ; les classes sociales, les styles de vie, de prise de décision ... L’une des finalités de l’étude du comportement du consommateur consiste à isoler les caractéristiques des produits qui jouent un rôle clé dans le jugement que porte le consommateur. C’est cette voie, par l’étude de la décision individuelle, que nous allons privilégier.

Aussi, après une présentation succinte de la théorie du consommateur et de ses motivations, nous présenterons une approche uniquement orientée vers l’étude des stratégies de décision mises en oeuvre par les individus-consommateurs. Elle possède l’avantage de ne pas avoir à se préoccuper des facteurs souvent difficiles d’accès comme, par exemple, l’influence des groupes, des classes sociales ...

1 Introduction

1.1 Le consommateur : l’aboutissement de l’entreprise

Les consommateurs sont (au même titre que les salariés mais pour des raisons différentes) des agents vitaux pour l’entreprise. Ce sont eux qui, par leur décision d’achat du bien, du service ou du produit, garantissent une grande partie du profit de l’organisation. Les clients sont, après tout, l’aboutissement final de l’entreprise (Dubois, 1994).

Les consommateurs doivent ainsi faire l’objet d’efforts importants de la part de nombreux services (marketing, communication, service après-vente, accueil ...) afin d’être satisfaits le mieux possible. Il faut s’attacher à créer un désir favorable aux produits afin de déclencher l’acte d’achat mais aussi maintenir un degré élevé de satisfaction «post-achat».

Un consommateur mécontent peut être considéré comme perdu pour longtemps voire définitivement. De plus, il est prouvé empiriquement qu’un client insatisfait communique assez aisément sa déception. Inversement, un consommateur satisfait répand des avis favorables sur l’entreprise, a tendance à acheter d’autres produits de la même marque (Dubois, 1994). Son agrément ou désagrément peut donc avoir des conséquences considérables.

Il n’est donc guère nécessaire de justifier plus la nécessité de comprendre celui dont la réponse conditionne le succès de l’échange, qu’on a déjà appellé simplement, le consommateur (usager, patient, utilisateur ...).

1.2 Une explosion de l’offre et de la concurrence

L’entreprise n’opère plus dans un environnement stable où la clientèle et la concurrence sont parfaitement identifiées. Les règles guidant l’échange sont en permanence modifiées et il faut sans cesse avancer dans la direction indiquée par le marché. Répondre aux besoins et envies du consommateur devient un objectif primordial dans un contexte où la diversité de l’offre est présente sur la quasi totalité des marchés et où la concurrence est rude. Le consommateur se voit proposer d’innombrables produits

et services selon des méthodes de commercialisation et de tarification de plus en plus diverses.

Ses exigences, en terme de qualité, s’accroissent chaque jour. Il ne faut plus se contenter de le satisfaire, il faut l’enthousiasmer, c’est-à-dire lui proposer des produits qui, tout en respectant les conditions de survie de l’entreprise, dépassent ses attentes. Or, dépasser ses attentes, c’est principalement innover c’est-à-dire lancer sur le marché un produit plus ou moins inconnu. C’est aussi lui proposer quelque chose auquel il ne pensait même pas. Il est dès lors important de connaître ses réactions. Il arrive que, dans le doute, le consommateur minimise les risques de déception et se méfie ainsi des nouveaux produits, même si ceux-ci sont objectivement meilleurs que les produits existants. Il est alors nécessaire de bien identifier les besoins du marché cible et de les satisfaire avant la concurrence. Le consommateur est de plus en plus exigeant et volatile. Lui proposer ce qu’il attend ne le conduit pas à comparer immédiatement et à chercher ailleurs.

1.3 Cas particulier du secteur bancaire

Le secteur bancaire est un cas particulier à plusieurs titres.

Dans ce secteur la concurrence est particulièrement vive entre les établissements dits classiques. Les banques font de l’assurance, les assureurs vendent des produits bancaires : on est à l’heure de la *bancassurance*.

De plus, cette concurrence ne semble pas être sur le point de s’atténuer avec l’arrivée et les offensives de nouveaux venus. Grandes surfaces, grands magasins, et établissements publics tels la Poste ont fait leur apparition dans un marché quasiment saturé. On peut en effet, depuis le début des années 90, acheter des produits financiers dans les rayons des grands magasins en même temps que des couches-culottes ou des boîtes de petits-pois. Les guichets des services financiers de ces nouveaux concurrents possèdent de plus deux atouts majeurs que n’ont pas les établissements classiques. D’une part, ils ont des heures d’ouverture autrement plus étendues (les banques ne peuvent d’ailleurs pas contre-attaquer sur ce point pour le moment), et d’autre part, ils bénéficient naturellement d’un flux de clientèle très important puisque ce sont des lieux de grande consommation par essence.

Cette concurrence féroce a appris au consommateur, désormais fortement multi-bancarisé, qu’il lui était possible de négocier avec les banques. Il y est d’ailleurs

encouragé en permanence par de très nombreuses revues et par les établissements en quête de nouveaux clients. Les facilités dont dispose le consommateur pour quitter un établissement, grâce aux procédures de transfert de compte, lui donnent un certain sentiment de puissance, sentiment renforcé par le fait qu’il s’agit de son argent et qu’il peut le mettre là où il veut. C’est moins évident lorsque l’on a acheté un véhicule d’une certaine marque et que l’on est insatisfait. On ne change pas sa voiture aussi facilement que sa banque !

Enfin, pour reprendre l’exemple du domaine automobile où l’offre est assez différenciée, il faut remarquer que, dans le secteur bancaire, il existe un portefeuille de produits courants tous identiques d’un établissement à un autre. Ainsi, pour le consommateur, il n’y a pas de différence entre le CODEVI de la banque «Dupont» et celui de la banque «Martin». Il faut donc rivaliser en termes de services, de réputation et surtout de *qualité de conseil* pour attirer le consommateur chez soi.

Depuis quelques années, les établissements bancaires ont mis tout en oeuvre pour réduire les coûts avec l’externalisation de nombreuses tâches. Cet objectif a donc poussé le développement des services télématiques et des GAB[1]. Partiellement atteint, il possède un revers. Alors que l’objectif second était d’augmenter la disponibilité des conseillers pour des tâches plus commerciales et de conseil, en les débarrassant des tâches administratives et répétitives, il existe des groupes de consommateurs qui, appréciant tous ces services, les utilisent beaucoup et fréquentent de moins en moins leurs agences. Se pose alors un problème : il faut faire le bon diagnostic pour un client que l’on voit et connaît peu.

Tout le monde est d’accord ou presque : l’individu consommateur est de plus en plus exigeant et applique des méthodes de gestion rigoureuses à son propre foyer. Le consommateur devient un gestionnaire averti ; il ne dépense plus à l’«aveuglette» et en «veut pour son argent». On en parle comme d’un réducteur de coût pour tout ce qui peut être considéré comme superflu. La crise aidant, la peur de l’avenir (retraite et emploi) accélère le processus.

Cette attitude a deux conséquences importantes. La première concerne toutes les entreprises, la seconde plus particulièrement les établissements financiers. D’une part, nous l’avons déjà dit, il devient impératif de proposer, donc de savoir, ce que veut le consommateur pour déclencher le processus d’achat, et, d’autre part, les restrictions

1. Guichet Automatique de Banque.

budgétaires appliquées aux revenus du foyer entraînent un apport de trésorerie qu'il convient de placer de la meilleure façon qu'il soit. Le taux d'épargne des ménages atteint actuellement des niveaux records proches de 13 % des revenus (sources : CREDOC). Si l'individu fait des sacrifices, ce n'est surtout pas pour que son argent dorme sur un compte non rémunéré. Il faut alors faire preuve d'imagination afin d'offrir ce type de service tout en conciliant des points de vue souvent antagonistes (rémunération, fiscalité et disponibilité). En la matière, toutes les enquêtes réalisées sur les désirs des épargnants convergent. Ces derniers veulent que leurs banquiers connaissent bien leurs besoins avant de leur conseiller un ou plusieurs produits. Le consommateur ne veut plus être un numéro. C'est un individu qui ne souhaite pas avoir les mêmes produits, les même conseils que son voisin. Des études récentes montrent qu'il est désormais prêt à payer un conseil de qualité et individualisé, répondant à ses besoins personnels alors que jusqu'à maintenant ce service était gratuit. Le tableau 1 est un extrait d'une enquête de Louis Harris sur l'évolution des attitudes des Français face à l'argent (Banques des particuliers, Septembre 1994, pp. 38-39).

	1989	1994
Voici 3 opinions. De laquelle vous sentez-vous le plus proche ?		
Il faut gérer et placer l'argent dont on dispose.	49 %	63 %
Il suffit d'économiser de l'argent pour le cas où l'on en aurait besoin sans pour autant s'occuper de le gérer.	29 %	17 %
L'argent est fait pour être dépensé.	22 %	20 %
Parmi les services bancaires ou financiers suivants, pour lesquels accepteriez-vous de payer ?		
Chèques.	10 %	7 %
Minitel.	17 %	27 %
DAB/GAB.	6 %	5 %
Conseil pour mieux gérer.	11 %	17 %
Envoi de documents pour mieux gérer.	15 %	10 %
Diagnostic financier individuel.	18 %	26 %

Tableau 1 : Evolution de l'attitude des Français de 1989 à 1994 face à l'argent et leurs relations avec la banque.

Les auteurs de cette enquête relèvent trois faits marquants :

- un comportement plus rationnel des épargnants ;
- une angoisse plus forte face à l’avenir ;
- et une plus grande acceptation de la facturation pour certains services.

Une enquête de la Sofrès (juillet 1994) révèle que 81 % des Français trouvent utile de disposer d’un bilan patrimonial (2 à 4 fois par an pour 61 % des sondés) et 19 % d’entre-eux seraient prêts à payer ce service. L’élément le plus important du bilan est la proposition de placements les plus adaptés (76 %).

Le secteur bancaire est donc confronté à la nécessité d’offrir des placements adaptés à chaque individu. Le monde de l’épargne étant particulièrement complexe et le conseil difficile, la mise au point de système d’aide au conseil est devenue l’objectif de nombreux établissements financiers. Il faut personnaliser l’offre, chaque client devenant un segment spécifique. Une des étapes importantes du conseil, est de savoir exactement ce que veut l’épargnant-consommateur. Il s’agit de connaître les préférences de l’individu en matière d’épargne.

1.4 Savoir ce que veut le consommateur

La satisfaction totale du client passe par de nombreuses étapes. Tous les acteurs de l’entreprise doivent l’avoir en permanence comme objectif. Un accueil de la clientèle sans reproche, le respect des délais, un service-après vente sans faille, des prix compétitifs participent à satisfaire le client mais ce n’est pas suffisant.

Il faut savoir ce que veut le consommateur afin de déclencher le processus d’achat. Il faut détecter les besoins insatisfaits bien avant que les produits ne soient imaginés, surveiller en permanence les réactions des clients afin d’améliorer sans cesse l’offre et les performances de l’entreprise.

Ce qui était vrai autrefois ne l’est plus aujourd’hui : même si le processus d’achat est déclenché grâce à une bonne promotion commerciale et publicitaire, à une bonne distribution, si l’offre ne correspond pas aux besoins et envies du consommateur, le jugement post-achat (car le processus de consommation se poursuit bien au-delà de l’achat) sera sans appel et conduira à un échec à moyen terme. Les changements terribles de l’environnement économique des dernières années ont conduit à repenser les

approches, les concepts et les outils d’hier afin de comprendre le comportement et les exigences du consommateur d’aujourd’hui.

Il faut donc finalement posséder une parfaite connaissance des individus et des logiques guidant leurs actions et décisions. Cela peut paraître présomptueux mais il ne faut pas se cacher le fait que le défi est d’envergure. La description et la compréhension des préférences du consommateur est une étape indispensable mais difficile pour expliquer ses choix. La difficulté provient du fait que les facteurs humains y jouent un très grand rôle et les problèmes rencontrés ne sont pas toujours quantifiables et sont fondamentalement complexes. Les décisions doivent être prises à partir d’informations souvent incomplètes et décalées dans le temps.

C’est pour répondre à cette préoccupation que s’est développée fortement, depuis les années 50, la recherche en comportement du consommateur. Celle-ci ne peut se baser uniquement sur l’intuition et il faut disposer de cadres théoriques et d’outils méthodologiques pertinents. Sans cette connaissance, il serait en effet illusoire de prétendre proposer une offre adéquate à la demande. C’est l’extraordinaire diversité des besoins et désirs de l’individu qui justifie une recherche de plus en plus fine afin de proposer la bonne offre à la bonne personne et au bon moment.

Cette recherche s’intéresse essentiellement aux processus de prise de décision des individus en matière de consommation, en tenant compte des environnements sociaux, économiques, individuels et culturels, afin de répondre principalement aux deux problèmes suivants : quel est le processus de formation du choix d’un bien, quelles sont les variables (externes comme la famille, la classe sociale, les facteurs situationnels et internes comme le style de vie ...) intervenant aux différentes étapes de ce processus ?

Un acte de consommation n’est qu’une facette particulière du comportement humain. Chercher à l’expliquer revient donc à ouvrir toute grande la porte des sciences humaines. Il est nécessaire de procéder de façon interdisciplinaire en ayant recours à la psychologie, l’économie, la sociologie, l’anthropologie mais aussi aux mathématiques, aux statistiques et à l’informatique : l’économie donne une approche pour l’obtention des meilleurs résultats possibles à partir de ressources limitées, les sciences humaines proposent des concepts de référence pour l’interprétation du comportement des agents économiques, la psychologie rend compte des processus d’interactions entre les instincts propres aux individus et leur socialisation dans les organisations humaines, la sociologie explique en quoi les comportements peuvent résulter de mécanismes d’intégration et d’identification à des groupes ou à des classes, l’anthropologie sociale met en évidence

l’importance des institutions et des cultures, les mathématiques fournissent des propositions explicatives des relations existant entre les différentes variables d’un problème ...

La compréhension des choix du consommateur nécessite quelque part de se mettre “dans sa peau” et d’examiner les problèmes de son point de vue. Comment choisit-il entre différents produits susceptibles de satisfaire le même besoin ?

Ceci n’est pas simple pour différentes raisons que nous allons évoquer.

On peut en effet distinguer cinq types de besoins, plus ou moins bien déterminés (Kotler et Dubois, 1994) :

1. Les besoins exprimés, c’est-à-dire ce que le consommateur dit.
2. Les besoins réels, qui correspondent à ce qu’il veut dire.
3. Les besoins latents, auxquels il ne pense même pas.
4. Les besoins imaginaires, dont il rêve.
5. Les besoins profonds, qui en fait le motivent secrètement.

Ainsi, la plupart des besoins restent non verbalisables et se contenter d’écouter ce que dit le consommateur ne permet pas de bien le comprendre car ceci suppose qu’il serait en mesure de verbaliser tous ses besoins. Que veut-il dire par exemple par «pas trop long et sans risque», à propos d’un placement financier ?

Il peut être ainsi fructueux d’essayer une approche cherchant à comprendre les désirs du consommateur à son insu, sans lui demander ce qu’il veut. Cette approche peut de plus permettre de détecter l’ensemble de ses besoins et plus particulièrement les trois premiers. Il faut alors s’intéresser aux facteurs qui vont influencer ses choix.

2 Les facteurs explicatifs

2.1 Généralités

Afin de comprendre le processus de consommation, il faudrait s’intéresser à au moins trois points :

- les facteurs individuels : les attitudes et préférences du décideur/acheteur qui orientent ses choix (des produits consommés ainsi que des marques ...),

- les facteurs environnementaux : la culture, les classes sociales, les groupes, les facteurs situationnels,
- la phase pré/post achat (le processus de consommation commence en effet bien avant l’achat et se termine bien après ; on acquiert une expérience d’utilisation d’un produit qui va conditionner les décisions futures ...).

D’une façon générale, il est possible d’agencer les facteurs explicatifs selon les différents niveaux présentés figure 1 (Dubois, 1994).

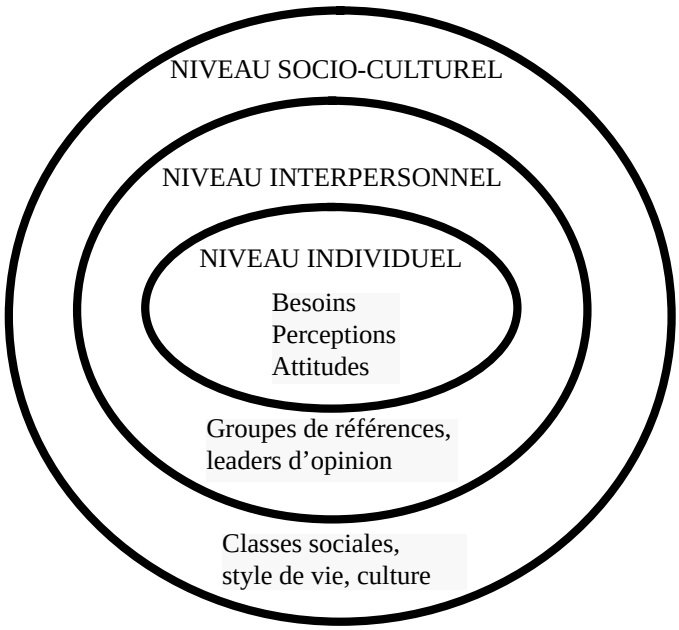


Figure 1. Les trois niveaux d’explication du comportement du consommateur

Dans une large mesure, un achat reflète les caractéristiques individuelles de l’acheteur telles que ses motivations, perceptions, expériences passées et attitudes. Cependant ce dernier subit, pour de nombreux produits, l’influence de son microcosme social : famille, amis, voisins ... Enfin, l’impact de ces groupes de référence s’inscrit à son tour dans le cadre plus vaste du contexte socio-démographique (classe sociale, style de vie ...) et d’un système de valeurs caractérisant l’environnement culturel.

On a cru, notamment à partir des années 60, pouvoir réaliser des modèles intégrateurs visant à retracer la démarche de consommation dans son intégralité (Howard et Sheth, 1969 ; Nicosia, 1969 ; Engel et Blackwell, 1982). Cependant, la complexité de

la tâche est telle que l'idée même d'une théorie générale du comportement du consommateur n'a, aujourd'hui, plus cours. La plupart des variables, comme la classe sociale et les groupes de références, nécessaires à des modèles intégrateurs sont souvent difficilement accessibles.

2.2 Les facteurs individuels

L'acte d'achat résulte donc à la fois de facteurs internes et de stimulations externes. C'est l'étude des facteurs individuels qui nous intéresse dans le cadre de ce travail. L'étude des attitudes et préférences du consommateur se justifie par le fait qu'il existe de nombreuses situations (achats importants comme un bien immobilier, une voiture, des produits financiers ...) pour lesquelles il est moins enclin à être influencé par des facteurs environnementaux. Ces situations supposent une réflexion profonde et non impulsive de la part de l'individu. De plus, quelle que soit l'influence des facteurs externes, la décision finale est le fruit d'un processus qui a intégré ces derniers. C'est le cas pour la sélection de produits d'épargne. On peut à la fois vouloir de la sécurité pour sa famille mais aussi effectuer des placements boursiers parce qu'on aime le risque.

> «On définit, en recherche commerciale, l'attitude vis-à-vis d'un produit ou d'une marque comme une prédisposition à évaluer d'une certaine manière ce produit ou cette marque. La notion de préférence exprime alors la même notion rapportée à plusieurs produits.», (Campbell, 1963).
>
> L'attitude est structurée autour de trois composantes :
>
> 1. Une composante cognitive, qui regroupe l'ensemble des connaissances, croyances et associations entretenues à propos de l'objet considéré. L'ensemble des représentations faites constitue une image de l'objet.
> 2. Une composante affective, qui correspond à l'évaluation de l'image ainsi formée, résume les sentiments positifs ou négatifs et les émotions engendrées.
> 3. une composante conative, qui concerne les intentions de comportement. La connaissance des intentions d'achat est d'une importance considérable afin d'établir les prévisions de vente d'un produit.

A travers l'énoncé des composantes de l'attitude, on comprend que celle-ci intègre les motivations, les perceptions et l'apprentissage. La dimension cognitive s'appuie sur la perception filtrée par la mémoire, l'évaluation s'opère à partir de critères exprimant les

motivations et l’intention résume les prédispositions correspondantes. C’est ainsi que (Krech *et al.*, 1962) définissent l’attitude :

> «Organisation durable de processus motivationnels, émotionnels, perceptifs et cognitifs à l’égard d’un aspect du monde de l’individu».

L’attitude est ainsi une variable centrale dans l’étude du comportement du consommateur car sa compréhension donne une espérance de prédiction de son comportement grâce à son caractère «durable» et «stable». L’étude de cette relation repose sur deux postulats : d’une part, il existe une relation causale entre attitude et action, et d’autre part, le lien entre ces deux éléments est suffisamment étroit pour qu’une connaissance du premier autorise une bonne anticipation du second. L’approche traditionnelle suppose que les attitudes contrôlent les comportements et, quand celles-ci sont modifiées, par une publicité par exemple, les actions en sont affectées par contre-coup.

Il existe cependant des situations où le comportement précède l’attitude et selon la *théorie de l’attribution causale* (Bem, 1968), l’individu ne peut accepter des actes “forcés” et va donc chercher une cause à ses comportements afin de les justifier. Cette rationalisation va faire émerger une attitude favorable à l’encontre de la réponse, comme si elle l’avait précédée. C’est le cas lorsqu’un consommateur choisit un produit au hasard (dans une catégorie donnée) ou bien un produit dont la nécessité n’est pas établie ; il va chercher des raisons post-achat (techniques ou hédonistes) pour expliquer sa décision. Il en est de même selon la *théorie de la dissonance cognitive* (Festinger, 1957), qui suggère qu’un consommateur venant d’effectuer un achat important trouve les informations positives destinées à le rassurer sur son choix.

Ceci étant, l’état actuel de la recherche permet d’accepter comme hypothèse forte l’existence d’une relation directive importante (à défaut d’être causale) entre attitude et comportement (Brée, 1994). La décomposition d’une attitude en éléments cognitifs, affectifs et conatifs peut servir à en comprendre la nature mais aussi la structure. Au cœur de l’attitude et de la préférence se trouvent, d’une part, les critères utilisés par le consommateur pour structurer l’univers des produits et, d’autre part, les profils d’image des marques en présence.

3 Les approches modernes du consommateur

Les approches modernes du comportement du consommateur partent de trois postulats fondamentaux (Pinson et Jolibert, 1989) :

- le consommateur n’obéit pas au principe de la rationalité économique telle qu’elle est communément définie ;
- le consommateur ne se comporte toutefois pas de manière aléatoire et son étude ne peut se réduire à des modèles stochastiques ;
- les besoins et comportements sont extrêmement variés, faits d’inné et d’acquis, de conscient et non conscient.

Son comportement peut alors prendre la forme d’un achat impulsif ou être précédé d’une délibération complexe, correspondant à une véritable prise de décision. Il est ainsi amené à développer des *stratégies de décision plus ou moins élaborées* et à gérer des objectifs contradictoires (comme l’éternel arbitrage entre qualité et prix). C’est particulièrement vrai pour des actes de consommation importants et comportants des risques, comme les placements financiers.

Il est de plus admis que les produit ne sont pas considérés sous un angle holistique et que l’on ne peut pas négliger les attributs les décrivant : le consommateur prend ses décisions sur la base des valeurs prises par les attributs.

De nombreux travaux ont donné naissance à des modèles multi-attributs afin de répondre à la question essentielle : comment, parmi un ensemble de produits susceptibles de satisfaire leurs besoins, les consommateurs effectuent-ils leurs choix ?

L’idée de client moyen a de moins en moins cours. Chaque client est un individu qu’il convient de satisfaire par une offre personnalisée. Ainsi, nous allons nous intéresser au consommateur en tant que décideur individuel qui a développé ses stratégies de décision.

4 La décision individuelle

4.1 Généralités

4.1.1 Structure d'un problème de décision

A tout problème de décision, on peut associer, ou au moins essayer d'associer, trois ensembles (Charreton et Bourdaire, 1985) :

- L'ensemble *E* des états de la nature ;

  C'est l'ensemble des événements qui peuvent survenir une fois la décision prise.

- L'ensemble *C* des conséquences ;

  L'ensemble *C* des conséquences ou encore des issues est formé des combinaisons d'actions et d'états de la nature.

- L'ensemble *A* des actions.

  C'est l'ensemble des objets, décisions, candidats, options, alternatives que le décideur va ou peut explorer dans le processus de décision et entre lesquelles il balance. Ainsi, nous parlerons indifféremment d'objets, d'actions, de décisions ou encore d'alternatives.

  Une décision est le choix d'une action.

Les principales caractéristiques de cet ensemble méritent d'être précisées. Celles-ci sont importantes pour la mise au point de systèmes d'aide à la décision. L'ensemble des actions A peut ainsi être (Vincke, 1989) :

> «défini en extension», par énumération de ses éléments, lorsqu'il est fini et suffisamment petit pour que l'énumération soit possible ; «défini en compréhension», par une propriété caractéristique ou par contraintes, lorsqu'il est infini ou fini mais trop grand pour que l'énumération soit possible.
>
> «stable» lorsqu'il est défini a priori et n'est pas susceptible de changer ; «évolutif» lorsqu'il peut être modifié.

L'exemple du jeu de pile ou face avec une pièce de monnaie permet d'illustrer simplement ces notions. Le joueur (le décideur) a la possibilité de choisir pile ou bien face (A = {pile ; face} est défini en extension et est stable). Une fois sa décision prise et la pièce lancée, deux événements peuvent se produire : la pièce tombe soit sur pile soit

sur face (E = {pile ; face}). Il y a alors quatre issues possibles : choisir pile et la pièce tombe sur pile, choisir pile et la pièce tombe sur face, etc. Pour le joueur cela conduit respectivement aux quatre conséquences suivantes : perdre, gagner, perdre, gagner.

Comment notre joueur de pile ou face va-t-il décider de jouer ? Afin de répondre à cette question, nous devons disposer d'un modèle de prise de décision.

Pour cela, il convient de préciser les structures que l'on peut associer aux trois ensembles *E*, *C* et *A*. Ces structures nous permettent d'idéaliser le concept usuel de vraisemblance pour l'ensemble *E* des états de la nature, le concept de valeur pour l'ensemble *C* des conséquences (valeurs monétaires, degrés de satisfaction ...) et le concept de préférence pour l'ensemble *A* des actions.

On peut alors considérer trois structures :

- Pas de structure ou une structure plus faible qu'un ordre ;
- Une structure d'ordre ;
- Une mesure.

Il y a donc, théoriquement, 27 combinaisons possibles de triplets. A chacun de ces triplets est associé au moins un critère de décision. Ce critère doit permettre d'ordonner les actes afin d'en trouver au moins un qui soit préféré. Ainsi, l'absence d'ordre ou de préférence pour *A* n'a pas de sens et il reste finalement 18 combinaisons possibles.

Ainsi, pour résumer, la structure d'un problème de décision se décompose selon :

- Trois ensembles ;
- Trois structures sur ces ensembles ;
- Un critère de décision.

Deux situations peuvent survenir quant aux caractéristiques de l'ensemble *E*. Lorsqu'il n'y a pas de structure sur *E*, on ne peut mesurer ni même ordonner les états de la nature selon leur vraisemblance. On se trouve en situation de décision dans l'incertain ou encore d'ignorance. Par contre, si l'on est en mesure de préciser les probabilités d'apparition des événements, on parle alors de choix avec aléas ou encore de décision avec risque. La prise en compte de l'incertitude suppose l'utilisation de modèles probabilistes. Lorsque, pour chaque acte, les issues sont connues, on parle de décision sous des conditions de certitude.

Dans la décision multi-attributs, le décideur dispose de toutes les informations nécessaires. Les actions sont décrites par un ensemble fini d'attributs et l'on pourra chercher à comprendre et à expliquer les décisions prises. On s'intéresse alors à la qualité et la quantité de l'information traitée par le décideur (modèles déterministes) ; les décisions sont effectuées sur la base des valeurs prises par les attributs.

4.1.2 La tâche de décision

Dans le cas du jeu de pile ou face, la tâche est simple : jouer ou ne pas jouer. Elle peut cependant nécessiter la mise en oeuvre de processus cognitifs complexes.

Il existe de nombreuses situations où la tâche que doit réaliser le décideur est bien différente. Parmi les tâches les plus courantes et aussi les plus étudiées on trouve :

Le *choix binaire* qui consiste à ordonner, par ordre de préférence, deux actions x et y : soit x est préférée à y ($x > y$), soit y est préférée à x ($y > x$), soit le décideur est indifférent ($x = y$).

Le *jugement de similarité* qui porte aussi sur des paires d'objets. Le décideur doit alors se prononcer sur la ressemblance entre x et y : soit $x \approx y$ soit $x \neq y$.

Le j*ugement catégorique* qui consiste à attribuer des étiquettes c_i aux objets. Celles-ci peuvent prendre leurs valeurs dans un ensemble fini $\{c_1, c_2, ..., c_n\}$ donné (nombre de catégories possibles ainsi que leur libellés) ou non. Dans ce dernier cas, le décideur est libre de définir ses propres catégories. L'ensemble des catégories peut être également structuré par un ordre ou non (de la meilleure à la plus mauvaise par exemple). Si *n* est le nombre de catégories, l'ensemble des objets est ainsi partitionné en au plus *n* catégories.

La tâche de *sélection/rejet* qui consiste, pour le décideur, à sélectionner ou non un objet qui lui est proposé. On obtient alors une bipartition de l'ensemble des objets.

Selon Vincke (1989), on considère souvent les trois tâches suivantes : déterminer un sous-ensemble d'actions considérées comme les meilleures (*problème de choix*), partitionner l'ensemble des actions en sous-ensembles suivant des normes préétablies (*problème de tri*) et ranger les actions de la meilleure à la moins bonne (*problème de rangement*).

La distinction entre tâche de jugement et tâche de choix est importante dans la mesure où les processus de traitement de l'information peuvent être fort différents

(Barthélemy et Mullet, 1994). Dans le cas du jugement, ceux-ci sont alors uniquement interdimensionnel (recherche en largeur). Le choix peut également entraîner des processus intradimensionnels (recherche en profondeur).

4.1.3 La nature du décideur

Nous avons jusqu'à maintenant utilisé indifféremment les termes décideurs, experts ou encore individu pour désigner celui ou celle qui commet l'acte de décider. Nous parlerons indifférement d'expert ou de décideur expert. On peut constater chaque jour que suivant les situations ou suivant les problèmes rencontrés nous ne sommes pas toujours le "même décideur". Aussi, il faut préciser ces différences entre les individu-décideurs.

L'une des premières difficultés qui apparaît est la multitude des définitions du terme «expert». Selon Shanteau (1993), il y a autant de définitions que de chercheurs. Nous pouvons retenir la définition suivante : «*personne possédant un savoir important dans un domaine particulier ainsi que des capacités à manipuler ce savoir de façon à résoudre efficacement (dans le sens d'un taux de réussite élevé) et rapidement les problèmes qui lui sont posés*.». Shanteau (1995) fait également remarquer que la mesure de l'expertise décrit une échelle continue et qu'il existe, de même, de nombreuses définitions des différents niveaux d'expertise (Hoffman *et al.*, 1995). Il est souvent plus facile d'énumérer une liste de personnes ou de professions correspondant au statut d'experts : médecin, professeur, juriste, pilote, etc.

On distingue ainsi classiquement trois types de décideurs : le naïf, le professionnel et l'expert (Barthélemy et Mullet, 1994).

Lorsque nous sommes confrontés aux problèmes de la vie quotidienne nous nous comportons en *décideurs naïfs*. Nous utilisons alors des comportements simples, instables et bien souvent mal adaptés aux problèmes (par manque de connaissance par exemple) en se fiant essentiellement à notre bon sens.

Le *décideur professionnel* possède au contraire des outils lui permettant de traiter des problèmes de décision. Les économistes et les chercheurs opérationnels en sont des exemples typiques.

Enfin, on désigne par *expert* ou *décideur-expert* celui qui a atteint un niveau "supérieur". L'expert possède, bien évidemment, d'importantes connaissances. Il dispose de plus d'un savoir-faire fondé sur sa longue expérience des problèmes traités. On ne naît

pas expert, il faut du temps pour le devenir. L'expertise d'une tâche quelconque repose sur des années de pratique. Il est cependant difficile de donner une idée précise de la quantité d'effort nécessaire. Lindsay et Norman (1980) estiment que 1000 à 5000 heures sont requises pour passer du statut d'amateur à celui de professionnel. Ainsi chaque expert confirmé est passé par un stade d'expert novice (qui possède essentiellement d'importantes connaissances théoriques). On confiera notre automobile au mécanicien et nos problèmes d'insomnie à notre médecin ; chacun est expert de son domaine. L'expert est en mesure d'utiliser des stratégies de décision complexes mais aussi, et surtout, d'aller à l'essentiel rapidement. Ses décisions sont stables et efficaces. Ceci justifie son statut d'expert professionnellement et socialement (Shanteau, 1988). L'expert sait convaincre son entourage. A ce titre, l'expert doit souvent être en mesure de justifier ses actes mais aussi être capable de connaître ses propres limites[1]. C'est par exemple le cas du médecin généraliste qui, confronté à un problème délicat, demande un diagnostic approfondi par un collègue spécialiste.

La longue expérience de l'expert lui permet de posséder une connaissance compilée l'autorisant à appréhender les problèmes rencontrés en allant rapidement à l'essentiel : l'expert s'est forgé des heuristiques de décision. Une des caractéristiques de l'expertise est de savoir différencier ce qui est important de ce qui ne l'est pas afin de réduire la complexité de la tâche (Shanteau, 1992). Cette capacité de réduction de l'information pertinente différencie les décideurs experts des décideurs novices. Elle permet de plus de mieux résister au stress et d'être plus efficace dans la prise de décision en temps limité. Ceci permet à l'expert contrairement au novice, d'offrir des solutions stables quel que soit le contexte (dans une certaine mesure ...). Sa connaissance étant compilée, elle est souvent difficilement verbalisable. Le décideur expert n'a pas nécessairement conscience des stratégies qu'il utilise. *L'expert est expert de son domaine mais n'est pas expert de son expertise*. Les problèmes rencontrés pour accéder à cette expertise sont nombreux. Nous en présenterons certains au chapitre 2.

Ainsi, l'intérêt de considérer le cadre de la décision multi-attributs devient évident. Toutes les informations décrivant les objets sur lesquels porte la décision sont disponibles. Les décisions prises par le décideur expert se font à partir des stratégies qu'il a élaborées et sur la base de ces informations. On peut alors chercher à les calculer et à connaître ainsi l'information pertinente.

1. Ces deux facultés sont également requises pour la qualité des systèmes informatiques. Elles conditionnent fortement l'acceptation des systèmes par l'opérateur humain.

La psychologie cognitive de la décision s'y est particulièrement intéressée (*process tracing*, méthodes permettant par observation, du comportement d'un décideur, dans des conditions de laboratoire, d'inférer des hypothèses sur les processus qu'il met en jeu ; méthodes consistant à cacher les valeurs prises par les attributs afin d'observer celles qui sont regardées prioritairement par l'individu).

L'identification des attributs déterminants est une nécessité en matière commerciale ; que l'on utilise des modèles globaux ou des modèles de composition de stratégies de décision, il faut connaître les critères de choix utilisés par un acheteur pour évaluer un produit ou une marque. Les méthodes d'identification de ces attributs sont nombreuses et possèdent des performances inégales. On trouvera la comparaison de six méthodes dans Vernette (1987).

La détermination des stratégies élaborées par le décideur relève de la problématique de l'acquisition de connaissances. Nous en discuterons brièvement au paragraphe 1.2 du chapitre suivant.

4.1.4 Modélisation du décideur

L'aide à la décision passe nécessairement par la modélisation des préférences du décideur. En effet, le choix d'une ou plusieurs actions parmi toutes les actions possibles suppose l'existence de préférences de certaines actions sur d'autres.

On peut alors s'intéresser à un comportement idéal du décideur comme l'a fait Milnor (1954). Il a définit des axiomes de comportement auxquels le bon sens et la cohérence recommandent d'obéir pour le choix d'investissement qui nous intéressera particulièrement au chapitre 3. La cohérence avec ces axiomes simples et rationnels conduit à ne garder qu'un seul critère. Les ensembles E des états, C des conséquences et A des actes doivent être munis d'une mesure. Cette approche est donc très restrictive mais constitue un premier pas vers une élaboration d'une théorie de la décision ; c'est ainsi que Savage (1954) proposa une généralisation de l'approche de Milnor tandis que Luce et Raïffa (1957) ont formulé ces axiomes de manière un peu différente.

On peut également et surtout, s'intéresser au comportement réel du décideur.

L'intérêt de comprendre les processus de décisions, les préférences, les stratégies des décideurs est évident pour la construction de systèmes d'aide à la décision. Ceci permettra, après implémentation, de réaliser des systèmes capables d'effectuer les mêmes choix que les décideurs. Une étude récente sur la modélisation de la décision

individuelle au moyen de stratégies élémentaires (dans le cadre de choix multi-attributs) a fourni des résultats très prometteurs (Lapébie, 1995). La mise au point de tels systèmes suppose donc que le comportement réel du décideur soit «algorithmiquement représentable».

Il est raisonnable de penser qu'étant données deux actions, le décideur est capable de dire s'il préfère l'une à l'autre ou s'il les considère comme équivalentes. C'est la base de la théorie de l'utilité de von Neumann et Morgenstern (1947). Il existe cependant une autre éventualité. Le décideur peut être incapable ou peut refuser de choisir entre les deux actions. On dira alors que les actions sont incomparables.

C'est ainsi qu'on a coutume de représenter les préférences du décideur par des relations binaires sur l'ensemble des actions A (ce qui sous-entend -hypothèse assez forte- que toutes les actions sont comparées deux à deux). La plupart des travaux sur la modélisation des préférences considère donc trois relations définies dans A : les relations de *préférence*, d'*indifférence* et d'*incomparabilité*.

Il est naturellement admis que (Vincke, 1989) :

- la relation de préférence est asymétrique ;
- la relation d'indifférence est réflexive et symétrique ;
- la relation d'incomparabilité est irréflexive et symétrique.

Les trois relations précédentes constituent une *structure de préférence* sur A si elles possèdent les propriétés ci-dessus et si, étant données deux actions quelconques x_1 et x_2 de A, une et une seule des situations suivantes est vérifiée : x_1 est préférée à x_2, x_2 est préférée à x_1, il y a indifférence entre x_1 et x_2, il y a incomparabilité entre x_1 et x_2.

Les propriétés de ces relations ne sont pas données. Par exemple, on peut supposer, naïvement, la transitivité de l'indifférence. Cette supposition est cependant incompatible avec l'existence d'un seuil de sensibilité en-dessous duquel le décideur, soit ne perçoit pas de différence entre deux actions, soit refuse de se prononcer. C'est une situation courante, mise en évidence dans la modélisation des préférences par Luce (1956).

L'étude du comportement du décideur, en particulier de sa "rationalité", permet de déterminer les propriétés (transitivité, asymétrie ...) de ces relations et donc les structures que nous pourrons associer à l'ensemble des actions A (une discussion détaillée est faite

par Pomerol et Barba-Romero, 1993). Cette étude est une étape indispensable en aide à la décision.

4.1.5 L'apport de la psychologie

Les psychologues ont beaucoup étudié le comportement des individus en situation de décision. Il ont ainsi mis en évidence de très nombreuses stratégies élémentaires. Nous présentons les principales règles de décision page 36.

Ils ont aussi porté leur intérêt sur le contexte (effet du stress, prise de décision en temps limité ...), sur l'influence des autres sur la décision individuelle et en particulier sur les effets induits par la nécessité de se justifier (individuellement ou socialement). L'étude des propres ressources du décideur, en particulier des capacités de sa mémoire, a permis d'expliquer certains comportements (phénomène d'oubli, attirance pour les premiers items d'une liste ...).

On étudie aussi le degré d'expertise des individus. De nombreuses expériences montrent ainsi des différences significatives lorsque l'on compare experts et novices. Celles-ci concernent principalement la consistance et la pertinence des décisions prises (Shanteau, 1988).

Parallèlement, la compétence des individus est également étudiée en théorie du consommateur à travers l'analyse des *styles cognitifs*. De nombreuses études mettent ainsi en évidence des différences importantes de comportement en matière de réceptivité et de traitement de l'information. Celles-ci concernent, par exemple, les attitudes face aux stimuli publicitaires, l'influence ou non d'autrui dans la décision, le profit tiré d'un accroissement de l'information ... (Pinson , Malhotra et *al.*, 1988).

4.1.6 La décision comme un processus

La décision est le fruit d'un long processus. On peut constater, par exemple, que le choix d'une nouvelle voiture est fortement conditionné par nos expériences passées d'automobilistes (anciennes voitures possédées, etc).

Simon (1977) propose le cadre suivant afin d'étudier la décision :

1. Renseignement (au sens d'*Intelligence* en anglais)
2. Conception-construction
3. Choix
4. Analyse ex-post (évaluation du choix)

Le choix n'est qu'une étape de la décision. Ce n'est probablement pas le plus important (Pomerol, 1994). Il est fort contraint par les deux premières phases. Nos décisions sont en effet limitées par le faible nombre de possibilités (et d'informations) dont on dispose. Augmenter ce nombre peut coûter cher en temps et aussi en argent. La seconde phase montre que la décision est souvent une affaire d'imagination. Enfin le quatrième point rappelle qu'une décision, ou son histoire plutôt, ne s'arrête pas à l'instant où elle est prise. Il faut en effet bien souvent la justifier. On peut se demander si elle a été difficile à mettre en oeuvre et si, dans la même situation, on effectuerait le même choix.

4.2 Traitement de l'information et processus de décision

4.2.1 La mémoire

Tout système intelligent exige une mémoire. Parler, écrire, prendre des décisions, etc : tout demande de la mémoire (Lindsay et Norman, 1980).

Le processus de mémorisation consiste à acquérir et enregistrer de l'information, de façon à pouvoir y accéder ultérieurement.

La mémoire est objet d'étude dans les processus de prise de décision car celle-ci enregistre nos expériences pour les réutiliser mais aussi car elle n'est pas infaillible. Ainsi, la compréhension de certaines décisions passe par la compréhension des capacités et des limites de ce «support physique» permettant le traitement de l'information par l'individu.

Par commodité, on distingue classiquement deux types de mémoire :

- La mémoire à court terme

La mémoire à court terme (MCT) représente la mémoire de travail. Elle ne peut porter que sur une quantité restreinte d'information et pendant un temps limité (de quelques secondes à -peut-être- quelques minutes). Le caractère restreint de la MCT fait

l’objet d’un certain consensus mais la mesure de cette quantité d’information est difficile. Miller (1956) proposa le *nombre magique* 7 unités ± 2, suivant les individus et les situations.

Les fonctions de la MCT sont de rendre disponibles les données dont un individu a besoin momentanément pour mener une tâche à bien. Ces données disparaissent, une fois la tâche accomplie, pour laisser éventuellement la place à d’autres informations.

- La mémoire à long terme

Contrairement à la MCT, la mémoire à long terme (MLT) possède une capacité de stockage qui n’est, en principe, limitée ni en quantité ni en durée. Tout ce que nous apprenons tout au long de notre vie est sensé y être stocké et la plupart des données sont sensées être disponibles à tout moment. Cependant, il arrive qu’il faille un stimulus opportun pour pouvoir, grâce à la reconnaissance de la situation, retrouver certaines données.

4.2.2 Rationalité limitée et comportement du décideur

Lorsque le décideur est confronté à plusieurs actions, il doit considérer chacune d’entre elles comme un groupe d’attributs. C’est sur la base des attributs et des valeurs prises par ces attributs décrivant les actions qu’il va décider.

Les traitements nécessaires à la décision étant effectués en MCT, sans stockage en MLT, le décideur ne peut considérer tous les attributs en même temps. C’est pourquoi il est important de connaître la partie des attributs qui est retenue dans la prise de décision.

En fait, on se heurte à un quadruple filtrage : ce que le décideur connaît, ce que ses capacités cognitives lui permettent d’intégrer, ce qui correspond à ses centres d’intérêts, et ce à quoi il va penser lors du choix. Ainsi, si le décideur peut faire preuve de rationalité, celle-ci est limitée par de nombreux facteurs (Simon, 1969) : ses capacités de représentation de la situation, sa connaissance des actions, son implication dans la tâche et l’importance qu’il accorde aux résultats de la décision ...

Ainsi, en situation de décision, le décideur va opérer un filtrage des attributs. Les *attributs importants* sont ceux auxquels l’individu accorde beaucoup de poids. Ils sont en adéquation avec ses attentes pour une situation courante. En matière de consommation, ils ne conduisent malheureusement pas toujours à un choix car ils sont tellement importants que l’offre s’attache forcément à les satisfaire. Il faut une caractéristique

supplémentaire permettant de discriminer les actions possibles ; les *attributs déterminants* sont à la fois importants et pertinents. Enfin, le dernier niveau d'analyse correspond à ce qui se passe dans la tête de l'individu au moment de la décision. Le peu de temps disponible et les limites cognitives de l'individu le conduisent souvent à ignorer une partie des attributs déterminants. Les critères qui sont présents à son esprit au moment de la décision et qui finalement amènent cette décision sont les *attributs saillants*.

Selon, les propos précédents, nous supposons que le décideur va suivre l'*heuristique de l'ancrage et d'ajustement* (Tversky et Kahneman, 1974). Celle-ci part de l'idée que l'individu n'accorde pas la même importance à tous les attributs et qu'il procède alors en deux étapes pour prendre sa décision :

- le décideur va d'abord focaliser son attention sur un seul attribut (l'ancre principale) ;
- puis, il va s'intéresser à d'autres aspects, afin d'ajuster son jugement et de prendre sa décision.

4.3 Modèles de prise de décision

Nous allons présenter dans ce paragraphe les principales règles de décision. Suivant la tâche de décision ou la nature des attributs, celles-ci ne sont pas toujours applicables ou n'entraînent pas les mêmes processus.

Ainsi, dans le cas du choix entre plusieurs actions on distingue les stratégies *interdimensionnelles* (évaluation d'une seule action dans sa globalité) des stratégies *intradimensionnelles* (les actions sont comparées attribut par attribut).

On distingue aussi classiquement, deux logiques de décision. Les règles *compensatoires* sont telles qu'aucun attribut n'est éliminatoire. Une mauvaise performance sur un attribut peut être compensée par de bonnes valeurs sur les autres. Les règles non *compensatoires* ne permettent pas de rattraper de mauvais aspects.

Enfin si les attributs sont comparables entre eux on parle de *commensurabilité* entre les attributs. Cette propriété est nécessaire pour toutes les stratégies «moyennant» les valeurs prises par les attributs.

4.3.1 La théorie de l'utilité

C'est l'une des plus anciennes théories qui fut introduite par Bernouilli au 18ième siècle afin de pallier aux défaillances du modèle de la valeur espérée. Plusieurs siècles d'études ont conduit à de très nombreux résultats et ouvrages ; le lecteur intéressé peut en particulier se reporter à Fishburn (1970) et Keeney et Raiffa (1976). Elle fut axiomatisée par Von Neumann et Morgenstern (1947).

La théorie de l'utilité est très largement utilisée en théorie microéconomique du comportement du consommateur mais aussi dans des problèmes de finance et d'actuariat.

Dans la théorie de l'*utilité cardinale*, les ensembles *E*, *C* et *A* sont dotés d'une mesure (une probabilité pour les états qui quantifie la notion de vraisemblance, une valeur ou une utilité pour les conséquences et le critère de décision lui-même pour les actes).

Ce modèle suppose que :

- le décideur est en situation d'information complète sur la nature de ses préférences et l'ensemble *A* des actions ;
- il est capable pour chaque action *y* d'associer son utilité $u(y)$;
- il est capable de calculer l'action *x* telle que $u(x) = \max_{y \in A} u(y)$

La notion d'utilité d'une action permet de mesurer le degré de satisfaction qu'en tire le décideur. La règle de comportement est alors un principe de maximisation. C'est le principe de base du concept de l'***Homo economicus*** : les individus agissent en essayant de maximiser leur utilité.

Les décisions sont donc vues comme l'aboutissement de calculs rationnels et plus ou moins conscients. C'est une approche normative de la décision. Bien qu'ayant permis d'observer des comportements intéressants (aversion, indifférence et propension au risque, effets de cadrages ...), la théorie de l'utilité est inadéquate pour expliquer les comportements réels. L'hypothèse d'information complète n'est pas réalisable. Ce modèle suppose de plus que l'individu est infiniment sensible et préfère toujours "plus" à "moins" (il n'y a pas saturation des besoins).

Les critiques sont donc nombreuses et ont souvent remis en cause cette théorie. Les expériences d'Allais (1953) et de Tversky et Kahneman (1981) montrent en particulier

des préférences non prédites par la théorie. Enfin, Simon (1979) critique principalement ce modèle pour sa non-pertinence cognitive.

De plus, on peut remarquer que si l'on remplace la fonction u par 2 u,les choix du décideur restent inchangés. Ceci suggère que l'on peut se contenter de représenter les préférences du décideur sans les quantifier : c'est la logique de l'utilité ordinale. Celle-ci constitue la conception moderne de la théorie utilitariste du consommateur, qui fait l'hypothèse que les préférences du consommateur correspondent à un préordre complet. Elle semble plus adaptée aux situations concrètes mais rencontre cependant les mêmes difficultés que la théorie cardinale.

4.3.2 Le modèle «Attente-Valeur»

Le modèle «Attente-Valeur» est prédictif et relève d'une logique compensatoire (Fishbein et Ajzen, 1975).

Dans ce modèle, l'intention A_0 de comportement peut s'inférer à partir de l'attitude envers l'objet o ; celle-ci étant obtenue à partir de la somme des b_i a_i, où b_i représente la force de la croyance entre l'attribut i et l'objet o (la probabilité que o possède la caractéristique i), et a_i l'aspect évaluatif de l'attribut i.

D'où l'estimation du comportement à partir des n croyances que l'individu a sur l'objet :

$$A_0 = \sum_{i=1}^{n} b_i \times a_i$$

Equation 1: Le modèle attente-valeur

L'attitude vis-à-vis d'un objet s'explique donc à travers la connaissance des attributs possédés par cet objet et par l'évaluation attachée à chaque attribut. Afin d'obtenir une bonne estimation, un objet doit remplir deux conditions : un bonne performance sur un critère donné et l'attrait de ce critère pour l'individu.

C'est un modèle qui a eu une grande influence en recherche commerciale dans la mesure où il fournit un moyen simple de diagnostiquer les problèmes rencontrés par les produits et les marques. Il souffre cependant d'un certain nombre de limites. En

particulier, il nécessite la connaissance complète des attributs de choix. C'est une information délicate à obtenir. L'individu n'a pas toujours conscience de ses critères de choix ou bien ne souhaite pas les révéler.

Il suppose entre autres, que l'individu valorise toute amélioration sur chaque attribut considéré. Or, dans la réalité et en particulier pour le rapport qualité/prix on sait qu'il n'en est pas ainsi. C'est pour pallier cette difficulté qu'il a été proposé d'incorporer une «position idéale» I_i sur chaque attribut i (à définir par l'individu lui-même). On mesure alors les préférences en termes de déviations par rapport à cet idéal.

$$A_0 = \sum_{i=1}^{n} a_i \times \left| I_i - b_i \right|$$

Equation 2: Le modèle attente-valeur / position idéale

Tous les individus ne situent pas la position idéale au même endroit et, dans le cas d'une application commerciale, il est alors fructueux de réaliser une segmentation sur la base des attentes des clients. Cependant, le modèle du profil idéal suppose que l'individu soit capable de se forger une idée précise de ce qu'il veut. Cette précision ne peut être atteinte que pour des domaines (ou des produits pour le consommateur) qu'il connaît bien ; le modèle offre alors une information très fine des désirs de l'individu et une bonne capacité prédictive.

Les modèles attente-valeur restent cependant insuffisants. Ils ne peuvent, en particulier, pas rendre compte de logiques non compensatoires. En matière de consommation, il existe en effet toujours un attribut pour lequel les individus se sont fixés un seuil à ne pas dépasser, quelle que soit la performance du produit sur les autres attributs. Le prix en est un exemple typique.

4.3.3 Le critère de Laplace

Ce critère est fondé sur la moyenne de toutes les conséquences possibles d'un acte. L'ordre de préférence est alors celui qui est engendré par l'ordre de moyennes.

C'est donc un modèle compensatoire supposant de plus la commensurabilté des attributs.

4.3.4 Le critère de Hurwicz

Il se fonde uniquement, pour chaque action, sur les mesures des deux conséquences extrêmes (celles-ci doivent donc être commensurables). Il utilise un coefficient (compris entre 0 et 1) qui dénote le caractère plus ou moins pessimiste de l'individu pour calculer la moyenne pondérée des conséquences extrêmes (la meilleure conséquence peut alors compenser la plus mauvaise). Le classement des moyennes ordonne ainsi les actions.

4.3.5 La règle de dominance

La règle de dominance (Lee, 1971) dit que, si un objet est mieux évalué, par rapport à un autre objet, sur tous les attributs, alors il est choisi. Elle suppose une échelle ordinale d'attractivité mais pas la commensurabilité des attributs.

C'est une condition très forte mais elle joue un rôle important dans les processus de décision (Montgomery, 1989). Dans des situations extrêmes de choix parmi un ensemble d'actions, il se peut que celles-ci soient toutes incomparables. Afin de pallier à cet inconvénient, l'intégration de seuils de différence sur les valeurs prises par les attributs a été étudiée par (Lapébie, 1995) et par (Barthélemy, Kuntz et Saunier., 1996).

4.3.6 Les règles conjonctive et disjonctive

Ces deux règles sont proches l'une de l'autre (Coombs, 1963, Dawes 1964).

Le modèle conjonctif introduit des seuils sur les attributs afin de représenter un niveau d'exigence minimale. Un objet est sélectionné si les valeurs prises par ses attributs dépassent les valeurs seuils. C'est ainsi une dérivation du principe de satisfaction défini par Simon.

Dans le cas du choix binaire, la règle disjonctive permet de choisir l'objet qui possède au moins un aspect dépassant le seuil fixé pour l'attribut correspondant tandis que le second objet ne possède aucun aspect respectant les seuils respectifs des attributs.

Ces deux règles supposent des échelles ordinales d'attractivité mais pas la commensurabilité des attributs et sont non compensatoires.

4.3.7 Le modèle lexicographique

Ce modèle (Fishburn, 1974) suppose que le décideur hiérarchise les attributs déterminants par ordre d'importance. Les actions sont évaluées par examens successifs des attributs selon l'ordre établi. Si l'une des actions se détache dès le premier attribut alors celle-ci est choisie, sinon les ex-aequo sont évalués selon le second attribut, etc, jusqu'à ce qu'un choix se dégage.

Une variante introduite par Montgomery et Svenson (1976) suppose, pour le cas du choix binaire, qu'il faille une différence d'aspect sur les attributs supérieure à un seuil fixé pour déclencher le choix. C'est le modèle lexicographique à seuil.

Ce modèle suppose des échelles ordinales d'attractivité mais pas la commensurabilité des attributs et est non compensatoire.

4.3.8 L'élimination par aspects

Proposée par Tversky (1972), cette règle combine les règles lexicographique et conjonctive. Chaque attribut est évalué selon l'ordre d'importance sur les attributs. Pour chacun d'entre eux, le décideur élimine les objets ne respectant pas un seuil minimal. C'est ainsi un règle typiquement non compensatoire.

Elle nécessite donc une échelle ordinale d'attractivité mais pas la commensurabilité.

4.3.9 Les critères maximax et maximin

Ces deux critères permettent d'établir un ordre entre les différentes actions possibles. Pour un décideur «optimiste», l'action qui est préférée est celle qui conduit à la conséquence la plus favorable : règle maximax. Pour un décideur «pessimiste», l'acte qui est préféré est celui qui conduit au pire à la conséquence la moins défavorable : c'est la règle maximin. Ces deux règles peuvent s'appliquer notamment lorsque le décideur ne dispose d'aucune information sur les états de la nature (l'ensemble E n'est ni ordonné ni mesurable).

Ces critères de décision ont été améliorés par Savage en 1951, qui proposa le critère du minimax-regret. Ce critère utilise la notion de regret qui est, pour un acte donné et un événement donné, la différence positive entre l'utilité de la conséquence correspondante et l'utilité qu'on aurait obtenue en choisissant l'acte le mieux adapté à

cet événement. Une fois calculés les regrets, on utilise la règle du minimax, en choisissant alors l'acte qui minimise le regret maximum possible.

Ces critères supposent des échelles ordinales d'attractivité et la commensurabilité des attributs et sont non compensatoires.

4.4 Discussion

La connaissance des stratégies utilisées est importante pour expliquer et prédire le comportement du décideur face à une tâche donnée.

Considérons l'exemple suivant :

- les 3 actions possibles sont évaluées selon deux attributs comme suit :

	Action 1	Action 2	Action 3
Attribut 1	5	4	3
Attribut 2	1	4	2

Tableau 2 : Matrice de décision

- pour l'ordre lexicographique l'attribut 1 est plus important que l'attribut 2 ;

- le décideur doit choisir une des trois actions ;

On obtient ainsi, en fonction des stratégies appliquées, les décisions suivantes :

- L'action 1 est choisie selon une logique lexicographique.
- L'action 2 est préférée si le décideur utilise un modèle conjonctif en rejetant toute action ayant une note inférieure à 3.
- Dans le cas d'une règle compensatoire additive avec un poids égal à 3 pour le premier attribut et 2 pour le second, l'action 2 (évaluée à «20 points») est préférée à l'action 1 («17 points») qui est elle même préférée à l'action 3 («13 points»).
- La règle de dominance conduit à un non choix.

- Enfin, il faut remarquer que, dans les faits, il faut souvent un écart minimal de performance pour considérer que deux actions ne sont pas équivalentes sur un attribut. Par exemple si cet écart est de une unité et selon le modèle lexicographique, c'est l'action 2 qui est choisie.

L'exemple précédent montre bien que la décision effectivement prise ne dépend pas uniquement des actions mais de la façon dont le décideur traite l'environnement et les règles qu'il applique. Il est donc important de connaître les stratégies de décisions qu'il utilise.

Des résultats montrent qu'il n'y a pas de modèle plus performant que tous les autres. Lapébie (1995) montre qu'aucune règle ne suffit à expliquer la totalité des choix d'un individu. Chacune d'entre elles est plus ou moins appropriée selon les situations (nombre d'alternatives, commensurabilité des attributs, contexte de la décision ...). Supposer l'utilisation d'une seule stratégie est de toute façon trop réducteur et peut conduire souvent à un «non choix». L'individu doit s'adapter à la diversité des situations qu'il rencontre et, selon les circonstances, utiliser plusieurs règles.

Huber (1983) a ainsi étudié l'enchaînement de cinq règles. Montgomery et Svenson (1976) ont proposé un modèle beaucoup plus complexe mais celui-ci devient infalsifiable dans la mesure où il ne peut être mis en défaut par rapport à un jeu de données.

Enfin, notons que ces règles de décision ne sont pas fixées une fois pour toute. L'individu peut changer rapidement de comportement, en particulier à cause de variations de son environnement. Le temps joue un rôle fondamental dans la modification des attitudes du décideur mais aussi dans la composition de l'ensemble des actions *A*.

Un système d'acquisition automatique en temps réel des stratégies de décision de l'individu est donc d'un intérêt évident. Celui-ci permettra de comprendre les décisions au moment où elles sont prises et, en matière d'offre commerciale, de faire les propositions correspondantes au bon moment. L'une des finalités de l'étude du comportement du consommateur consiste à isoler les caractéristiques des produits qui jouent un rôle clé dans le jugement que porte le consommateur. Un tel système doit permettre en particulier de mettre en évidence les attributs importants, les attributs déterminants et les attributs saillants. Ce système devra, de plus, être capable de modifier ou de créer instantanément l'ensemble *A*. Un seul décret du ministre des finances, par

exemple, peut remettre en cause une grande partie de l’ensemble des produits d’épargne ou de crédits.

L’étude et la mise au point, sous de fortes contraintes dues à une application de type *conseil du consommateur*, d’un tel système sont étudiées dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 - Modèle et algorithmes

Le chapitre précédent a montré l'intérêt, pour comprendre l'individu-consommateur, d'un système d'acquisition des connaissances/stratégies de décision mises en oeuvre par les décideurs. On se situe ainsi dans une problématique générale d'acquisition de connaissances/stratégies de décision fortement contrainte. Après avoir décrit brièvement les techniques classiques d'acquisition de connaissances, on constate que celles-ci sont inadaptées pour résoudre notre problème.

On envisage alors d'utiliser une technique d'acquisition par apprentissage mettant en oeuvre un modèle cognitif du décideur. Celle-ci consiste à calculer des antichaînes dans un ensemble ordonné représentant le monde des objets. Elle exige donc une structure particulière du monde des objets.

Pour notre problème de compréhension des stratégies de décision des individus face à une offre d'épargne, nous disposons d'un monde *O* suffisamment bien structuré pour que cette démarche soit réaliste. L'ensemble *O* est complètement décrit par la combinatoire des attributs décrivant les objets mais tous les objets ne possèdent pas la même pertinence. Toutes les combinaisons d'attributs ne peuvent se présenter avec la même probabilité, certaines d'entre elles s'avérant même complètement irréalistes. Cela fera l'objet d'une discussion sur les espaces de représentation et sur la notion d'attractivité.

Nous avons donc été conduit à mettre au point une méthode originale (du point de vue informatique, au niveau des algorithmes mis en oeuvre et des structures de données) d'acquisition de stratégies expertes. Celle-ci consiste à proposer une série d'objets (constituant l'ensemble d'apprentissage) au décideur. Ce dernier doit alors classer les objets. Afin d'économiser le temps et les ressources cognitives du décideur, nous nous efforçons d'atteindre deux objectifs importants. On cherche à minimiser d'une part la taille de l'ensemble d'apprentissage et d'autre part les temps de calculs entre chaque proposition faite au décideur. La réalisation du premier objectif nécessite que l'ensemble d'apprentissage soit engendré dynamiquement par l'algorithme. On se trouve alors face à un problème d'optimisation combinatoire pour lequel on cherche à minimiser les temps de calcul.

Ce travail a conduit à la réalisation du logiciel APACHE (Acquisition Par Apprentissage de Connaissances Humaines Expertes). Ce dernier est généralisable à tout type d'application respectant les hypothèses du modèle dont nous discuterons.

1 La problématique de l’acquisition des connaissances

1.1 Pourquoi faire de l’extraction d’expertise ?

L’intelligence d’une personne ne se mesure certes pas par ce qu’elle sait, mais par ce qu’elle peut (ou sait) faire de ce savoir, c’est-à-dire par la façon dont elle l’utilise et l’applique. Rendre une machine programmable capable d’exécuter des tâches qui réclament de l’intelligence chez l’être humain suppose que l’on soit en mesure de lui communiquer non seulement un «savoir c’est-à-dire des connaissances» mais surtout un «savoir de manipulation de ces connaissances». Ces deux entités ne sont d’ailleurs pas nécessairement les mêmes que celles manipulées par l’être humain. On peut cependant essayer de les acquérir auprès de l’individu (décideur, expert) puisque celui-ci trouve, dans bien des cas et rapidement, des solutions adaptées aux problèmes qui lui sont posés comme nous l’avons vu brièvement au chapitre précédent (paragraphe 4.1.3).

L’intérêt d’apprendre «la connaissance» des experts est évident pour trois raisons essentielles : le manque de disponibilité des experts, la nécessité d’assurer la cohérence des décisions et la capitalisation des connaissances. Leur statut rend les experts rares, peu disponibles mais leur expertise est précieuse. Les difficultés sont encore plus importantes lorsqu’il s’agit de réunir plusieurs experts (de domaines différents ou pas). Il y a donc un besoin d’acquérir l’expertise afin de la partager et de la conserver en cas de départ des experts mais aussi pour aider les individus dans leurs tâches. La capitalisation des connaissances est devenue un objectif important à atteindre pour de nombreuses organisations. Enfin, même le meilleur expert (au cas ou l’on pourrait mesurer le degré d’expertise) peut être dans un mauvais jour et donc prendre des décisions peu satisfaisantes.

Les systèmes à base de connaissances ont, en particulier, pour objectif de résoudre ces difficultés et de permettre le partage de l’expertise. Dès lors, se pose clairement la problématique de l’acquisition des connaissances.

L’acquisition des connaissances, ou encore des règles de décision, des stratégies expertes, est donc un problème déterminant pour la qualité des systèmes à base de connaissances et des systèmes d’aide à la décision. Il est ainsi l’objet de nombreuses recherches (Boose, 1986 ; Krivine et David, 1991). C’est également l’une des tâches les

plus délicates lors de la conception de ces systèmes. C'est le «goulot d'étranglement» des projets (Cullen et Bryman, 1988) .

1.2 L'acquisition de connaissances

Pour le développement de systèmes à base de connaissances et la réalisation rapide de prototypes, on a souvent eu recours aux interviews des experts, avec pour conséquence immédiate le problème de la «traduction» ou transmission linguistique de l'expertise. Il existe cependant, une grande variété d'alternatives. La connaissance ne se situe pas uniquement dans la «tête» de l'expert. La connaissance est, en particulier dans les entreprises, diffusée au sein de très nombreux rapports et documents de toutes sortes. Ainsi, on peut envisager d'apprendre à partir de textes écrits. Mais là n'est pas notre principal propos. Nous allons considérer essentiellement l'acquisition de connaissances via une interaction avec l'expert.

1.2.1 Acquisition dirigée par l'implémentation et par les modèles

On a développé avec les systèmes de première génération des techniques dirigées par l'implémentation puis des techniques dirigées par les modèles (Krivine et David, 1991). Les unes ont pour effet de conduire l'expert à s'exprimer dans un langage proche de la machine et les autres reposent sur une modélisation du domaine de l'expertise, l'expert devant alors agir en *problem solver.*

Il existe aujourd'hui de très nombreuses primitives d'abstraction et des outils permettant de mettre en oeuvre ce type de méthodologie : KADS (Breuker et Wielinga, 1985), Generic Task (Chandrasekan, 1987), MOLE (Eshelman, 1988) .... Les systèmes experts ayant utilisé ce type d'acquisition ont ainsi un bon pouvoir explicatif du raisonnement utilisé ; la validation et la maintenance du système sont facilitées (David, 1993).

Cependant, les modèles conceptuels ne rendent compte que de la résolution de problème d'un domaine particulier (l'objectif étant de construire un système permettant d'atteindre une solution au problème posé) et pas des raisonnements de l'expert. Or, comme nous l'avons vu, celui-ci utilise des stratégies complexes, sophistiquées et efficaces. Il serait donc dommage de s'en priver. De plus, la verbalisation est toujours très utilisée et l'expertise acquise tend à rester proche de la machine. Ce type d'approche, qui nécessite de plus la présence d'un cogniticien, est donc également inapplicable pour résoudre notre problème.

Pour certains types d'applications où indépendamment de son contenu, le domaine a une forte structuration, on peut avoir recours à des méthodes moins "lourdes", moins sujettes aux ignorances du cogniticien du domaine du décideur expert, à condition de disposer d'un modèle cognitif du décideur. De plus, bien que très utiles, les méthodes fondées essentiellement sur la verbalisation ne peuvent suffire, en particulier lorsque le décideur n'est pas véritablement un décideur-expert mais tout au plus un *sujet-expérimenté*. C'est le cas du consommateur.

On parlera alors d'acquisition des stratégies de décision dirigée par un modèle cognitif (Wang, 1994). C'est l'approche que nous allons développer. On peut s'intéresser à une approche dirigée par un modèle cognitif essentiellement pour deux raisons.

Tout d'abord et, par simple curiosité scientifique, nous sommes guidés par la volonté de tester la pertinence d'une approche cognitive ; ensuite, quelles que soient les performances des systèmes précédents, il existe, comme nous l'avons vu, des situations pour lesquelles ils ne sont guère adaptés. C'est le cas, en particulier lorsque la disponibité des experts est très faible, lorsque l'utilisation de la verbalisation est quasiment impossible et surtout lorsque l'utilisation de méthodes complexes (nécessitant une expertise de ces méthodes) est inconcevable.

Plus précisemment, dans le cas qui nous concerne, l'approche cognitive, de par son caractère interdisciplinaire, est très stimulante et l'utilisation d'un modèle cognitif se prête bien, contrairement aux deux méthodes précédentes, à l'application bancaire, qui sera développée au chapitre 3.

1.2.2 Principales difficultés liées à la verbalisation

Les techniques dirigées par l'implémentation et par les modèles ont beaucoup recours à la verbalisation. L'acquisition est vue ici comme une activité de transcription d'un savoir dans un formalisme de représentation de connaissances.

Outre les difficultés liées en particulier à la disponibilité des intervenants, aux compétences du cogniticien, etc, les biais introduits par la verbalisation de l'expertise sont très nombreux.

Parmi ceux-ci, on peut citer (Gaines, 1988 ; et aussi l'ouvrage collectif Intellectica n^{o} 12 «Expertise et Sciences Cognitives», 1991) :

- L'expertise peut être imprévue : des résultats obtenus peuvent être dépendants de caractéristiques de la situation que l'expert ne contrôle pas.
- L'expertise peut ne pas être accessible à la conscience de l'expert ou bien non «convertible» en langage : il est dans ce cas incapable de la transmettre car il ne peut même pas l'évaluer ou est incapable de l'exprimer en langage naturel.
- L'expertise peut ne pas être compréhensible lorsqu'elle est exprimée en langage naturel : un débutant peut ne rien comprendre au langage dans lequel est exprimée l'expertise.
- L'expertise peut ne pas être applicable même si elle est exprimée en langage naturel : un débutant peut être incapable de convertir la compréhension verbale des «actions» de base de l'expert en une réelle aptitude à réaliser la tâche.
- L'expertise exprimée peut être non pertinente, hors propos : beaucoup de ce qui est appris peut n'être qu'un comportement qui ne contribue pas à la réalisation de la tâche.
- L'expertise exprimée peut être incomplète : il y a (habituellement) des dépendances situationnelles rendant l'expertise explicite (explicitée) inadéquate pour l'accomplissement de la tâche.
- L'expertise exprimée peut être incorrecte : les experts peuvent donner des faits (ou des rapports écrits) qui ne correspondent pas à leur comportement actuel (au moment où ces faits sont rapportés) amenant ainsi un mauvais apprentissage.

Ces problèmes se posent en marketing. Helfer et Kalika (1988) montrent, par exemple, que les répondants confrontés à des questions complexes, portant sur des produits nouveaux, font preuve d'un certain degré d'incohérence. Les raisons de cette incohérence peuvent être similaire en acquisition d'expertise : volonté de masquer la vérité, incapacité à répondre correctement, éléments conjoncturels perturbateurs (fatigue, mauvaise humeur ...), influence des enquêteurs/cogniticiens, etc.

1.2.3 Acquisition dirigée par un modèle cognitif

L'approche cognitive consiste, essentiellement, à élaborer un modèle de l'expert puis, par observation de son comportement, à le valider.

Elle est donc fortement soutenue par les recherches menées en psychologie et particulièrement en psychologie de la décision. La réalisation effective d'un système d'acquisition automatique des stratégies de décision s'appuie, quant à elle, sur des techniques mathématiques et algorithmiques de traitement des données.

Afin d'échapper aux précédentes difficultés, en particulier à celles qui sont liées à la verbalisation, à l'introspection et au "non-contexte", nous souhaitons que l'outil informatique calcule les stratégies du décideur par observation de son comportementent (c'est-à-dire en situation de décision) et en suivant le modèle. Ainsi, sous certaines contraintes que nous examinerons, on évite au mieux les précédents problèmes en développant un système interactif d'acquisition par apprentissage de stratégies expertes (figure 2). Nous aurons toujours recours à une phase de verbalisation, ne serait-ce que, pour modéliser le domaine. Mais lors de la phase d'acquisition, la verbalisation ne sera pas utilisée.

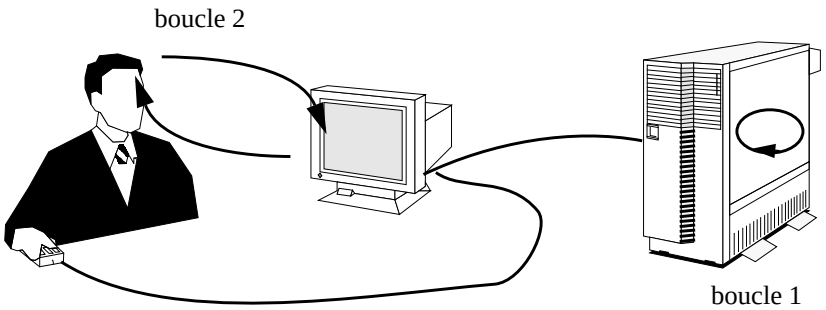


Figure 2. Acquisition interactive par apprentissage

1.2.4 Vers l'acquisition par apprentissage

Nous développons un système d'acquisition qui est piloté par un algorithme d'apprentissage. A chaque étape, la question *i* (comme celle qui pourrait être posée par le cogniticien lors d'une acquisition par interview) est calculée (par l'algorithme

d'apprentissage) en fonction de l'«état courant» de l'acquisition, c'est-à-dire de la liste des *i*-1 précédents couples (question, réponse).

L'acquisition se fait donc grâce à un automate qui détermine son état e_t uniquement en fonction de son état e_{t-1} :

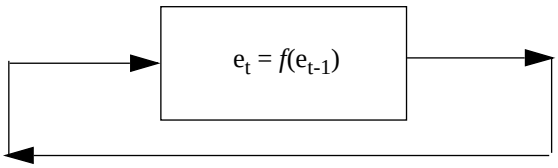


Figure 3. L'algorithme d'apprentissage : un automate

Le passage d'un état à un autre est déterminé de façon à minimiser le nombre de questions posées au décideur. La fonction *f* de la figure 3 consiste donc à optimiser, à chaque étape, un certain critère permettant de faire progresser le mieux possible l'algorithme. Il faut noter que l'aspect interactif est un but lié à une application précise. Le modèle qui sera développé ne suppose en aucun cas cette interaction et, dans ce cas, peut être utilisé dans un mode que l'on qualifie d'apprentissage automatique.

On se fixe ainsi les objectifs suivants :

1. Limiter le temps passé avec le décideur pour l'acquisition :

   Cette technique pouvant être utilisée à l'«insu» du décideur et donc proche de l'apprentissage automatique, nous serons alors moins exigeants sur ce critère.

   Le modèle doit être exploitable sur une machine en un temps raisonnable. Cela nous impose d'être efficace sur deux points : *la minimisation de la taille de l'ensemble d'apprentissage*, c'est-à-dire le nombre de boucles 2 dans la figure 2 (situations "courantes" pour le décideur puisque nous souhaitons garder le "contexte") et *la minimisation des temps de calculs* nécessaire à l'algorithme d'apprentissage, c'est-à-dire celle du nombre de boucles 1 dans la figure 2.
2. «Capter» les règles pendant leur activation, c'est-à-dire sans introspection et dans le "contexte" de décision.
3. Utiliser le moins possible la verbalisation.

   En particulier ne pas y avoir recours pendant la phase d'acquisition.

4. Réaliser des tests avec des individus/décideurs réels pour des problèmes posés aux entreprises.

   Nous souhaitons en particulier que le modèle utilisé possède évidemment un bon pouvoir descriptif mais surtout un excellent pouvoir prédictif.

Les objectifs que nous venons de fixer peuvent sembler très présomptueux. Ils sont nécessairement contraignants. Nous devons accepter de payer le prix d'un tel niveau d'exigence. Aussi, la méthodologie que nous allons développer s'applique dans des cas précis, c'est-à-dire sous certaines hypothèses que nous discuterons en étudiant le modèle.

Dans un premier temps nous devons répondre à la question suivante : «qui fait quoi, sur quoi et comment ?».

Sans développer avec exhaustivité, nous pouvons donner immédiatement quelques réponses.

Nous considérerons, et ce seront là nos hypothèses de travail, que :

1. L'expertise s'exerce sur un monde dont les objets (au sens très large du chapitre 1) sont décrits par plusieurs attributs. On parle de *description objets* $\times$ *attributs*.

   Les domaines de connaissances considérés sont donc clos.
2. Les tâches effectuées par le décideur sont des tâches de jugement ou de choix et plus particulièrement celle de *sélection/rejet*.

   Cependant, le système APACHE ne présente qu'un seul objet à la fois. On passe donc du choix (naturel entre plusieurs objets) à une tâche de jugement.
3. Le décideur possède, pour la tâche concernée, *des stratégies de décision stables* et les décisions se font sur la base des valeurs prises par les objets sur les attributs servant à les décrire.

Ce sont ces stratégies que nous cherchons à apprendre, à l'insu du décideur, afin d'être capable de réaliser l'appariement "objet/résultat de la tâche".

Nous étudions plus en profondeur ces différents éléments à prendre en compte dans la suite de ce chapitre. Les réponses apportées permettront, en même temps, de justifier le choix du modèle utilisé. Nous développerons ensuite la mise au point du système APACHE permettant de respecter les contraintes liées aux objectifs que nous nous sommes fixés.

2 Modèle d’acquisition de stratégies de décision

2.1 Modèle psychologique

Pour notre problème de sélection/rejet, nous utilisons un modèle de processus de décision proposé par Barthélemy et Mullet (1986), à savoir l’*Heuristique de la Base Mobile* (notée dans la suite de ce rapport HBM).

Ce modèle multi-attributs est fondé sur des recherches en psychologie de la décision. Le classement (sélection/rejet, l’affectation à une catégorie ...) d'un objet s’effectue à partir de l’ensemble des valeurs (*aspects*) prises sur chacun des attributs décrivant cet objet.

On peut ainsi chercher à acquérir les stratégies de décision expliquant les choix effectués par le décideur. Cet apprentissage nous fournira deux types d’information :

1. Quelle est la quantité d’information manipulée ?

   Dans notre modèle, cela se traduit par la connaissance du nombre d’attributs traités.
2. Quelle est la qualité de l’information manipulée ?

   C’est-à-dire, quel est niveau d’exigence du décideur sur chacun des attributs traités ?

Ce modèle suppose que, en situation de décision, un décideur fait preuve d’une *rationalité* qui est *limitée* (Simon, 1979) par ses facultés cognitives (capacité de rétention et de calculs de la mémoire à court terme) et par ses aspirations (plaisir, goût du risque ...).

C’est un point de vue bien différent de la rationalité économique ou utilitariste dont nous avons parlé au chapitre 1. Un individu peut optimiser son plaisir de jouer en dehors de toute considération monétaire des issues. Enfin, nous ne faisons pas l’hypothèse que le décideur possède toutes les informations et encore moins qu’il puisse les traiter entièrement.

Selon Montgomery (1983), ces limitations conduisent le décideur à rechercher une *structure de dominance* parmi les aspects, c’est-à-dire à ne considérer pour un objet donné qu’une collection limitée d'aspects. Ce sous-ensemble d’aspects est toutefois suffisamment grand (en taille ou en qualité) pour permettre de prendre une “bonne” décision.

Le choix s'opère alors lorsqu'une structure de dominance permettant d'établir une décision est atteinte. La décision est vue comme un processus de traitement des aspects : les sous-ensembles d'aspects sont passés successivement en revue jusqu'à l'obtention d'une structure de dominance d'où le nom de *base mobile*.

L'HBM suppose l'utilisation de quatre règles élémentaires permettant de décider dans la plupart des cas : règle de dominance, règle lexicographique, et les règles conjonctive et disjonctive.

La règle de dominance est sensée être la règle principale, les autres règles pouvant être vues comme des accélérateurs décisionnels.

Le modèle incorpore trois principes de fonctionnement cognitif de l'expert :

1. *Principe d'économie ou de parcimonie*

   Ce principe précise que l'expert n'utilise simultanément qu'un ensemble limité d'aspects.

   Ceci est dû au fait qu'il est incapable de traiter l'ensemble des données en entier au même instant. Il considère donc des sous-ensembles compatibles avec sa mémoire à court terme et avec ses capacités de calcul (Aschenbrener et Kasubek, 1978 ; Johnson et Payne, 1985) ; les stratégies de décision stockées en mémoire à long terme sont traitées en mémoire à court terme (sans stockage intermédiaire dans la mémoire à long terme).

   La règle lexicographique, qui ordonne les attributs par ordre d'importance, traduit bien ce principe. En effet, elle permet de s'intéresser à un nombre limité d'aspects, en ne considérant que les attributs importants.

2. *Principe de fiabilité ou de justificabilité*

   On dit souvent que ce n'est pas la décision qui est difficile mais ce qui se passe une fois la décision prise et en particulier la nécessité de justifier les choix effectués. Le décideur doit donc utiliser des sous-

ensembles d'aspects suffisamment grands pour que son choix soit justifiable individuellement et/ou socialement (De Hoog et van der Wittenboer, 1986 ; Payne *et al.*, 1988).

Bien que ce principe puisse sembler en contradiction avec le précédent, il ne l'est pas : il permet de préciser que les sous-ensembles d'aspects traités doivent être suffisamment «signifiants» et de qualité (Adelbratt et Montgomery, 1980 ; Ranyard et Crozier, 1983).

La règle conjonctive qui introduit des seuils sur les attributs afin de représenter un niveau d'exigence minimale est quant à elle l'expression privilégiée du principe de fiabilité. Mais, l'utilisation de la règle lexicographique n'est absolument pas incompatible avec ce principe.

3. Principe de décidabilité ou de flexibilité

Le décideur doit parvenir rapidement à une décision dans la plupart des cas, et pour cela, il lui faudra changer de structure de dominance jusqu'à ce qu'un choix soit possible (Huber, 1986 ; Klayman, 1982 ; Montgomery 1983 ; Svenson, 1979). Ce principe réconcilie les deux principes précédents.

S'il ne veut pas mourir de faim comme ll'âne de Buridan, le décideur doit être flexible dans le choix des sous-ensembles d'aspects traités. Il doit donc s'être forgé des stratégies stables lui permettant de décider rapidement.

Etant donné un objet à classer, l'HBM consiste alors en :

1. La recherche d'une structure de dominance.
2. La comparaison de cette structure à un ensemble de valeurs seuils associé.
3. La sélection de l'objet si l'ensemble des seuils est franchi, sinon il faut réitérer le processus à l'étape 1., en recherchant une nouvelle structure de dominance.

Finalement, on s'aperçoit que la décision, via la recherche d'une structure de dominance, peut être représentée par un algorithme très simple, comme cela est montré figure 4.

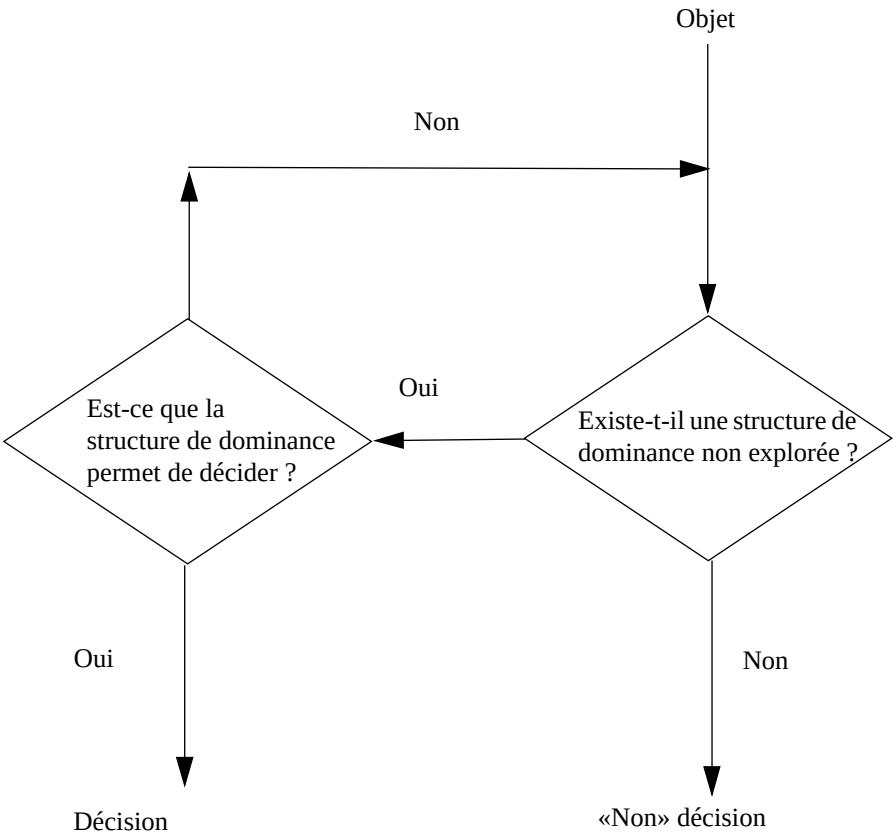


Figure 4. Décision/jugement via la recherche d'une structure de dominance

La comparaison de l'objet sur lequel porte la décision avec une structure de dominance se réalise selon un chemin très analogue : chaque aspect de l'objet est évalué par rapport à la valeur attendue, c'est-à-dire la valeur prise dans la structure de dominance, de l'attribut correspondant. Dans le cas d'une tâche de sélection/rejet, par exemple, le non respect d'une seule valeur attendue sur une structure de dominance particulière, permet de rejeter l'objet considéré. La sélection de ce dernier suppose une évaluation complète d'une structure de dominance permettant de le sélectionner. Cette sélection peut se faire à partir d'une seule structure de dominance. Le rejet d'un objet suppose, quant à lui, que toutes les structures de dominance aient été comparées aux valeurs prises par l'objet. Ainsi, on peut s'attendre à ce que les décisions de rejet d'un objet soient plus longues que celles de sélection.

Les structures de dominances, qui émergent de l'utilisation des quatre règles de décision et des principes cognitifs, s'expriment sous des formes de disjonctions de conjonctions de valeurs prises par les attributs. Disjonctions, car le décideur doit parvenir rapidement à une décision et ainsi fonctionner en terme de "ou" s'il n'a pas tout à fait ce qu'il désire (principe de décidabilité). Conjonctions sur les attributs, car il doit également prendre de "bonnes" décisions (principe de fiabilité). Les règles de décision produites par le modèle HBM peuvent donc être vues comme des règles logiques mises sous forme normale disjonctive.

On peut alors utiliser, afin de faciliter l'interprétation de ces règles, un formalisme polynômial (Barthélemy et Mullet, 1987). Ainsi, pour notre problème de décision, un polynôme *RD* (règles de décision) est une expression formelle de la forme :

$$RD = M_1 + M_2 + ... + M_n \quad \textbf{(1)}$$

où les M_i, sont des monômes de décision et où "+" représente les disjonctions entre monômes.

Les monômes M_i correspondent aux conjonctions sur les aspects permettant d'emporter la décision. Ce sont des expressions formelles de la forme :

$$M_i = X_1^{j_1} X_2^{j_2} \ldots X_p^{j_p} \quad \textbf{(2)}$$

où les X_i sont les attributs servant à décrire les objets et les j_i, les valeurs seuils (niveaux d'exigence du décideur) prises par l'attribut correspondant.

On pourra alors utiliser la mise en facteur commun des monônes "importants". Cette opération permettra en particulier de mettre en évidence les points d'ancrage et d'ajustement.

Soit par exemple, l'ensemble des *voitures* que le décideur doit sélectionner ou rejeter. Chaque voiture est décrite par les quatre attributs à valeurs totalement ordonnées (supposées correspondre aux préférences du décideur) suivants :

- X_1 est le *prix* en francs donné par des intervalles ([85 0001, 95 000], [75 001, 85 000], [65 001, 75 000], [55 001, 65 000], [45 000, 55 000]) ;
- X_2 est le *comportement routier* (moyen, bon, excellent) ;

- X_3 est le *confort et design* (mauvais, moyen, bon, excellent) ;
- X_4 est la *consommation moyenne* en litres (10, 9, 8, 7) ;

La combinatoire des attributs permet de décrire 240 objets.

Une *structure de dominance* est une partie de $\{X_1, X_2, X_3, X_4\}$, par exemple : X_1X_3. Le *critère de sélection* associé à une structure de dominance est la comparaison à un ensemble de valeurs seuils : $X_1 \geq 3$ et $X_3 \geq 2$.

Les stratégies du décideur sont telles qu'une voiture est sélectionnée si :

- son *prix* ne dépasse pas 55 000 francs et son *confort et design* est au moins bon,

ou

- son *comportement routier* est excellent et sa *consommation moyenne* ne dépasse pas 7 litres,

ou

- son *prix* est inférieur à 65 000 francs et son *confort et design* est au moins moyen et sa *consommation moyenne* ne dépasse pas 8 litres.

Cette stratégie de sélection permet de sélectionner 62 voitures parmis l'ensemble des 240 voitures théoriques initiales. La représentation polynômiale de cette stratégie est (en codant un attribut X_i à c valeurs par $\{0, 1, ..., c\text{-}1\}$) :

$$RD = X_1^4 X_3^2 + X_2^2 X_4^3 + X_1^3 X_3^1 X_4^2$$

$$RD = X_1^3 X_3 \times \left(X_1 X_3 + X_4^2 \right) + X_2^2 X_4^3$$

Remarque : dans un monôme, on économise la représentation de la plus mauvaise valeur possible d'un attribut (ce qui dans notre modèle signifie que le décideur accepte, pour le monôme considéré, toutes les valeurs de l'attribut).

2.2 Modélisation

Pour notre problème d'acquisition de règles de décision, nous disposons d'un ensemble fini d'objets $O = \{o_1, ..., o_n\}$ et d'une certaine information relative à ces objets.

Cette information peut être présentée de diverses manières, correspondant à des *espaces de représentation P* différents dans lesquels les objets sont plongés. C'est dans ces espaces que l'algorithme d'apprentissage va "travailler" ; les objets présentés au jugement du décideur sont des éléments (préalablement décodés) de ces espaces de représentation. La liste des objets effectivement présentés constitue l'ensemble d'apprentissage.

2.2.1 Espaces de représentation

Nous considérons le cas où les objets *o* du monde *O* sont décrits par *p* attributs (ou encore variables, descripteurs ....) X_i en nombre fini. Les ensembles *P* peuvent donc être complétement décrits par une combinatoire d'attributs. Mais, comme nous le verrons, tous les éléments ne possèdent par la même pertinence. Certains d'entre-eux sont même complètement irréalistes et les espaces *P* ne sont pas exactement une image du monde «réel». Ils contiennent des éléments qui n'existent pas dans *O*.

La nature des variables peut être multiple : variables binaires (permettant en particulier de dire si un objet possède ou non une certaine propriété), ordinales (liées dans ce cas à des échelles d'attractivité ordinales), nominales et numériques.

Chaque attribut X_i prend ses valeurs dans un domaine V_i. Nous considérons uniquement les cas où les V_i sont discrets et finis, c'est-à-dire que nous ne discuterons pas ici des variables continues.

On peut alors les coder par une liste L_i de $c_i + 1$ entiers où $c_i + 1$ est le nombre d'éléments de V_i. Ce codage pouvant être totalement arbitraire, on peut montrer que l'on peut se ramener à la liste des c_i premiers entiers (0 étant le premier entier considéré) : $L_i = \{0, 1, ..., c_i\}$.

Un objet *o* de *O* possède donc une représentation «naturelle» dans un espace multi-dimensionnel *P* qui est le produit cartésien des L_i. L'objet *o* est entièrement décrit par le p-uplet $(l_1, l_2, ..., l_p)$ où l_i est l'élément de L_i correspondant à la valeur de V_i prise par *o* sur l'attribut X_i.

On obtient ainsi une représentation matricielle des objets. La matrice *M* codant *O* est telle que les lignes correspondent aux objets et les colonnes aux attributs (m_{ij} est la valeur prise par l'objet o_i sur l'attribut X_j). On parle de description objets × attributs. C'est un formalisme de description des connaissances simple et facile à manipuler.

L'exemple de la figure 5 permet d'illustrer les propos précédents. Il montre le plongement du monde des *moyens de transports*, décrit par quatre attributs : (*type de déplacement* (V_1 = {vole, roule, flotte}), *sûreté* (V_2 = {correcte, quasi-totale}), *fait-pour* (V_3 = {petite distance, moyenne distance, grande distance}), *rapidité* (V_4 = {faible, rapide, très rapide})). Ainsi, l'objet *avion* dont les caractéristiques sont *vole*, *quasi-totale*, *grande distance* et *très rapide* est représenté via notre codage par (0, 1, 2, 2).

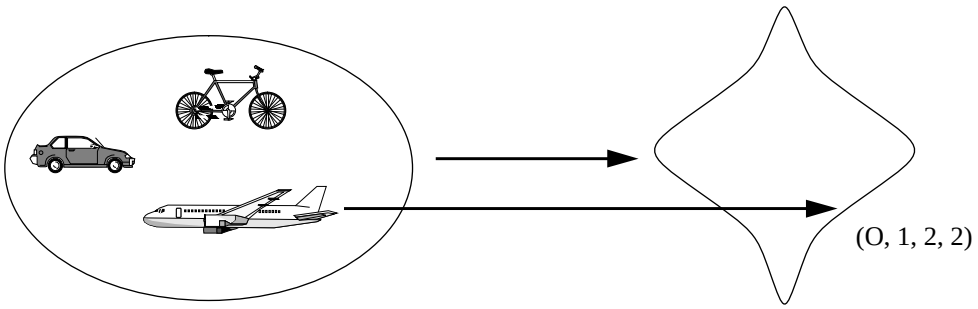


Figure 5. Plongement du monde dans un espace multi-attributs

2.2.2 La structure des attributs

Chaque variable servant à décrire les objets du monde peut induire une échelle d'attractivité ordinale. Deux cas nous intéressent particulièrement dans ce travail : le cas où tous les attributs sont binaires (on parle alors de variables booléennes que l'on traitera en fait comme des attributs ordonnés à deux valeurs) et celui où ils sont tous ordinaux.

Les espaces de représentation associés sont les *produits directs d'ordres totaux*. Dans le cas particulier où chacun de ces ordres possède deux éléments, on parlera de treillis booléens. L'intérêt que nous leur portons est dû aux "bonnes" propriétés que possèdent ces ensembles. Ils permettent d'exploiter aisément la règle de dominance.

Chaque domaine de valeurs V_i de X_i peut alors être codé par un ordre total $(P_i, \leq_i) = (0 \leq 1 \leq ... \leq c_i)$. Les listes L_i précédemment évoquées sont ordonnées.

Les objets de O peuvent ainsi être plongés (représentés) dans le produit direct P des p ordres totaux P_i : $P = P_1 \times P_2 \times ... \times P_p$.

C'est l'espace de représentation sur lequel l'algorithme d'apprentissage va «travailler» et désormais P désignera un produit direct de p ordres totaux.

Les objets de O sont représentés dans P par des p-uplets $(x_1, x_2, ..., x_p)$ où $x_k \in \{0, 1, ..., c_k\}$.

L'ensemble P est partiellement ordonné par l'ordre produit :

$$x, y \in P, x \geq y \text{ ssi } \forall \text{ i} = 1 ... p, x_i \geq_i y_i$$

Les préférences du décideur qui induisent un ordre sur O (sur la base de l'ordre sur les attributs et de la règle de dominance) sont ainsi respectées dans P ; soit x et y deux éléments de P représentant respectivement les objets o et o' : $o \geq_O o' \Rightarrow x \geq_P y$. De même l'ordre sur P induit l'ordre sur O : $x \geq_P y \Rightarrow o \geq_O o'$.

Finalement nous avons l'équivalence : $o \geq_O o'$ ssi $x \geq_P y$. Nous noterons donc indifféremment $\geq_O$ et $\geq_P$ par $\geq$.

2.2.3 L'algorithme d'apprentissage

Afin de minimiser le nombre d'objets proposés au jugement du décideur, notre algorithme d'apprentissage doit posséder de bonnes capacités de généralisation à partir d'un exemple d'objet du monde.

Pour cela nous posons le *principe de monotonie* :

> Pour une tâche de sélection/rejet, lorsqu'un objet est sélectionné (respectivement rejeté) alors tous les objets qui sont meilleurs (respectivement moins bons) sont aussi sélectionnés (respectivement rejetés).

Ainsi à condition de choisir judicieusement l'exemple présenté au décideur, le principe de monotonie nous permet d'être très efficace.

Les conséquences du principe de monotonie et du caractère ordinal des attributs sont immédiates pour l'algorithme d'apprentissage. Ce principe se généralise aisément au cas où il s'agit de classer les objets dans plusieurs catégories linéairement ordonnées.

Sans perte de généralité, nous allons considérer encore une fois le cas particulier d'une tâche de sélection/rejet. Nous noterons C_1 la classe des objets sélectionnés et C_2 la classe des objets rejetés.

Le principe de monotonie se traduit donc, dans *P,* de la façon suivante :

$$\text{si } x \in C_1 \text{ alors } (\forall\, y, y \geq x \Rightarrow y \in C_1)$$
$$\text{si } x \in C_2 \text{ alors } (\forall\, y, y \leq x \Rightarrow y \in C_2)$$

Nous utilisons ≤ et non < afin de rester dans un cadre général. Il faut toutefois remarquer que, dans notre espace de représentation *P,* tous les points sont distincts entre-eux.

Ainsi tout élément de C_2 possède un majorant dans C_1 si C_1 est non vide. Les deux parties C_1 et C_2 ne sont pas quelconques. Elles sont complémentaires et "empilées" : C_1 est une partie finissante et C_2 une partie commençante de *P* (figure 6).

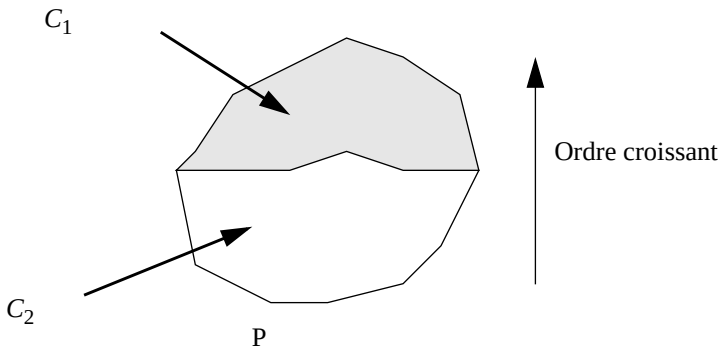


Figure 6. Empilement des deux classes

Le cas où C_1 est vide (aucune stratégie de sélection ne pourra être déduite) correspond tout simplement au cas où aucun objet n'a été sélectionné, c'est-à-dire à un niveau élevé d'exigence de la part du décideur ou encore à une très mauvaise description du monde. A condition d'avoir bien étudié préalablement le problème, ceci ne devrait normalement pas se produire.

La partie C_1 est donc entièrement déterminée par ses éléments minimaux tandis que C_2 l'est par ses maximaux. Les stratégies de sélection du décideur sont donc représentées par l'ensemble des minimaux de C_1. Calculer les stratégies du décideur revient donc à rechercher une antichaîne *A* dans un produit direct d'ordres totaux *P*. Cette antichaîne est constituée des éléments minimaux de C_1 (figure 7). Dans le cas où il y a *c* catégories totalement ordonnées, on peut alors trouver au plus *c* - 1 antichaînes.

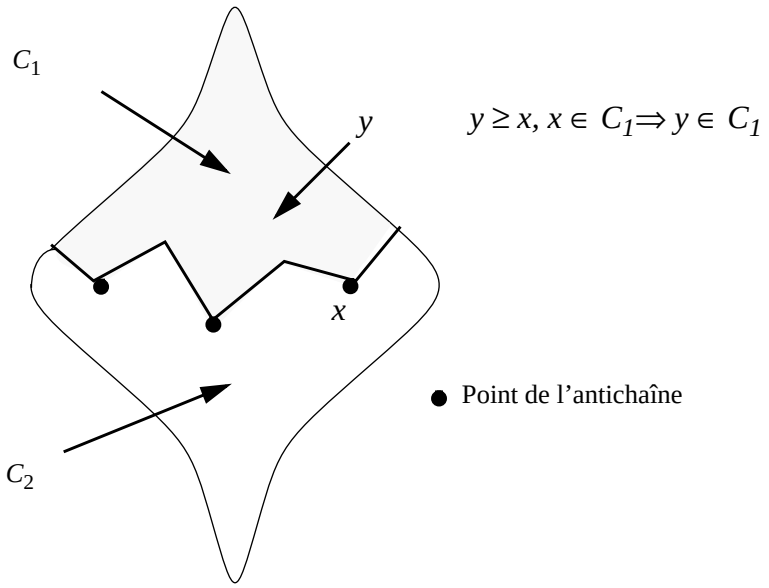


Figure 7. Rechercher une antichaîne dans un ensemble ordonné

Ainsi, quoi qu'il se passe dans la tête du décideur, en utilisant des échelles ordinales et le principe de monotonie, notre problème revient à déterminer une antichaîne *A* dans un produit direct d'ordres totaux. Il s'ensuit que chaque élément de *P* peut être vu comme une règle de décision (on peut associer à chaque élément un monôme formel comme nous l'avons défini page 58). L'antichaîne *A* est consituée de l'ensemble minimal des éléments/règles permettant d'expliquer la totalité des choix effectués.

Le modèle possède ainsi un fort pouvoir explicatif. Les règles obtenues s'écrivent dans le même langage de description des données.

Cependant nous devons faire une remarque : le produit direct d'ordres totaux n'est pas l'espace d'attributs du sujet. C'est un support qui permet de calculer des processus cognitifs mais il n'a pas lui-même de pertinence cognitive pour deux raisons. D'une part la description exhaustive des objets du monde via leur codage dans *P* est incompatible avec le principe de parcimonie et, d'autre part, considérer que chaque point de *P* peut être vu comme une règle est aussi incompatible avec le principe de parcimonie.

Rappelons que, comme l'a observé Montgomery (1989), la règle de dominance peut être inapplicable dans de nombreuses situations. Il se peut que, pour un ensemble d'actions quelconque, celles-ci soient toutes incomparables entre-elles : il est alors impossible d'appliquer une telle règle, sans même considérer les limites cognitives de l'individu.

L'un des intérêts de notre modèle est que nous sommes affranchis de cette difficulté grâce à la structure ordinale des attributs. Les espaces de représentation étant des ensembles partiellement ordonnés, ils contiennent de nombreux sous-ensembles d'actions comparables entre-elles. De plus, la recherche des points comparables à un point quelconque est effectuée par l'algorithme et non par le décideur. Cependant, ceci constitue également une limite à l'application du modèle. Il faut disposer de mondes suffisament bien structurés pour rendre l'approche envisageable.

Enfin, notons que le principe de monotonie rend le modèle HBM falsifiable. Il suffit pour cela de trouver un point rejeté qui est meilleur qu'un point accepté.

Reprenons l'exemple du monde des voitures (page 58). Le produit d'ordres totaux dans lequel est plongé ce mini-monde de voitures est $P = \{0, 1, 2, 3, 4\} \times \{0, 1, 2\} \times \{0, 1, 2, 3\} \times \{0, 1, 2, 3\}$ et contient 240 éléments. Une *antichaîne* de *P* est un ensemble de quadruplets (a_1, a_2, a_3, a_4) où a_1 prend ses valeurs dans {0, 1, 2, 3, 4}, etc. La stratégie de sélection du décideur est représentée, dans *P,* par {(4 0 2 0), (0 2 0 3), (3 0 1 2)}.

2.2.4 Conclusions

Rechercher les règles expliquant la bipartition, dans le cas d'une tâche de sélection/rejet, réalisée par le décideur est donc équivalent à chercher une antichaîne *A* dans un produit direct d'ordres totaux *P.*

Le critère de décision sur une structure de dominance est représenté par le franchissement d'un *ensemble de valeurs seuils* par l'ensemble des aspects retenus. Chaque aspect est alors supérieur à un seuil associé à l'attribut qu'il représente.

Ainsi, nous pouvons utiliser indifféremment «l'élément *x*» ou «l'objet *o*» pour décrire la même entité sachant que *x* représente *o* via notre codage dans *P*. S'il n'est pas nécessaire de le préciser, nous ferons référence à *P*.

On peut, de plus, coder ainsi indifféremment un objet et une règle de décision dans *P* ; les éléments minimaux de C_1 sont les objets seuils expliquant les choix effectués donc les stratégies de choix. Ceci permet une représentation sous forme disjonctive normale des stratégies de décision.

Les hypothèses faites nous permettent d'utiliser une procédure efficace de généralisation. A chaque étape nous pouvons "déduire le classement de tous les objets qui sont comparables à l'objet courant" en fonction du classement effectué par l'expert. Il s'agit donc de choisir judicieusement cet objet afin d'optimiser ce classement tout en minimisant les temps de calculs.

APACHE (Acquisition Par Apprentissage de Connaissances Humaines Expertes) est une implémentation du modèle de l'HBM développée avec le souci de respecter les critères précédents.

Ceci étant, il ne faut pas négliger les difficultés que l'on peut rencontrer pour établir un modèle du monde permettant de considérer nos hypothèses viables (échelles d'attractivité et fonctionnement à seuils du décideur) ainsi que de respecter nos contraintes. Nous détaillerons certaines de ces difficultés après avoir discuté de la recherche d'antichaînes dans un ensemble ordonné et en particulier de la complexité de cette recherche.

3 Recherche d'antichaînes dans un ensemble ordonné

Nous avons montré que notre problème d'acquisition de stratégies de décision consistait à rechercher une antichaîne dans un produit direct d'ordres totaux. Afin de traiter les «monstres cognitifs», c'est-à-dire les éléments de *P* n'ayant aucune existence dans le monde réel, nous devrons considérer le cas plus général des ensembles ordonnés quelconques. Nous verrons au paragraphe 6 que les algorithmes mis au point n'en sont pas affectés.

Nous utiliserons le vocabulaire et les résultats de la théorie des ensembles ordonnés. Certains d'entre-eux sont rapelés, au moment où on les utilise, dans ce chapitre. Ils sont tous décrits en annexe 6, page 186.

3.1 Recherche d'une antichaîne

Encore une fois, nous restreignons nos propos au cas particulier de la sélection/ rejet. On passe aisément au cas de *c* catégories linéairement ordonnées en changeant «l'antichaîne» par «les *c* - 1 antichaînes». Les *c* - 1 antichaînes sont empilées et on retrouve le problème de décodage d'une fonction isotone. Connaître la fonction, c'est connaître les antichaînes.

Les considérations précédentes faites au paragraphe 2.2.3 nous permettent d'envisager un algorithme de recherche de l'antichaîne de type «glouton». Ce type d'algorithme consiste à "manger" les éléments de l'espace d'apprentissage *P* sans jamais remettre en question un choix une fois qu'il est effectué (Sakarovitch, 1984).

Cependant nous autoriserons des "retours" afin de pouvoir tenir compte des éventuelles contradictions du décideur ou encore des déviances du modèle par rapport au comportement de l'individu. Cette possibilité est également requise afin de corriger une erreur de manipulation de l'outil APACHE. Ces retours sont exécutés à la demande expresse de l'opérateur (c'est-à-dire qu'ils ne sont pas décidés par l'algorithme).

Ainsi, à chaque étape du processus d'acquisition, le couple (objet proposé, réponse du décideur) permet d'engendrer une règle et l'algorithme de recherche d'antichaîne (voir l'algorithme 1 page 68) progresse vers la solution.

Un élément de *P* peut, comme nous l'avons vu, représenter un objet et une règle. Nous pouvons donc engendrer une règle de façon triviale en appliquant le principe de monotonie à l'ensemble des éléments non classés et comparables à l'élément-question. Dans le cas d'une extraction interactive, on cherche alors à obtenir toutes les règles en "vidant" le plus rapidement possible cet ensemble (c'est-à-dire en proposant le moins d'objets possible).

Cette recherche se fait par les rapprochements successifs de deux antichaînes A_1 et A_2 ; celle de C_1 et celle de C_2, comme cela est montré figure 8.

A_1 est constituée des éléments minimaux classés dans C_1 tandis que A_2 est constituée des éléments maximaux de C_2. L'algorithme se termine lorsqu'il n'y a plus d'éléments entre elles, c'est-à-dire lorsque A_1 couvre A_2. On obtient en même temps les règles de sélection du sujet permettant d'expliquer la totalité du classement effectué.

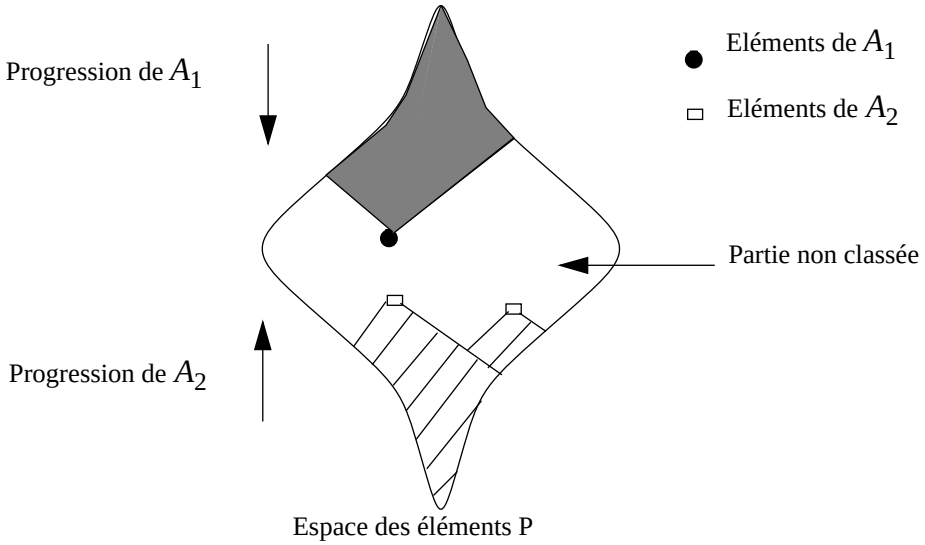


Figure 8. La recherche de l'antichaîne via le rapprochement de deux antichaînes

DEBUT
$P_0 = P$ /* P_i est l'état courant de l'espace d'apprentissage */
i = 0 /* nombre d'objets proposés */
$C_1 = C_2 = \varnothing$ /* au début rien n'est classé */

Tant_que $P_i <> \varnothing$
Début
i = i + 1
Choisir $x_i \in P_{i-1}$
Proposer x_i au décideur
Lire le classement de x_i
Si $x_i \in C_1$ **alors**
$C_1 = C_1 + \{y \in P_{i-1}, y \geq x_i\}$ *et*
$P_i = P_{i-1} - \{y \in P_{i-1}, y \geq x_i\}$
Si $x_i \in C_2$ **alors**
$C_2 = C_2 + \{y \in P_{i-1}, y \leq x_i\}$ *et*
$P_i = P_{i-1} - \{y \in P_{i-1}, y \leq x_i\}$
Fin
Calculer_Minimaux(C_1)
FIN

Algorithme 1 : Recherche de l'antichaîne

On observe aisément le caractère générique de l'algorithme 1. Celui-ci procède par sélection et élimination des éléments de l'ensemble P_i à la suite de la procédure *Choisir*. Ainsi, l'efficacité de l'algorithme dépend de l'efficacité de cette procédure : elle détermine la qualité, en terme de nombre d'objets proposés, des algorithmes issus de l'algorithme 1.

3.2 Comparaison avec d'autres algorithmes d'apprentissage

Calculer une antichaîne, c'est utiliser une technique de discrimination (tout comme le calcul d'un plan séparateur). De nombreux algorithmes d'apprentissage procèdent eux aussi par discrimination. Ils utilisent également des descriptions basées sur la logique des prédicats, les treillis et l'algèbre linéaire (pour plus de détails nous renvoyons, par exemple, à : Bouchon-Meunier, Després et *al*. (1990) qui discutent des aspects de l'interface entre numérique et symbolique ; Mephu Nguifo (1994) pour l'utilisation du treilli de Galois en apprentissage de concept ; et surtout au rapport final d'activité (1993-1994) du projet Inter-PRCs *Méthodes Symbolique-Numérique de Discrimination*). Par ailleurs, la comparaison entre l'apprentissage fondé sur la recherche d'une antichaîne et le calcul d'une généralisation dans l'espace des versions de Mitchell (1982) a été discutée en profondeur par Guillet (1995).

4 Complexité

La mise au point du système APACHE est motivée non seulement par une étude "académique" mais surtout par la volonté de le mettre au service d'applications réelles. Son utilisation dans le domaine bancaire, fortement contrainte, nous impose d'étudier en profondeur la complexité de l'algorithme d'apprentissage mais aussi de mettre au point des algorithmes efficaces.

La complexité des algorithmes est généralement étudiée selon deux dimensions (Lévy, 1994 ; Barthélemy, Cohen et Lobstein, 1992) :

1. Le nombre d'opérations élémentaires *ct* (complexité temporelle).

2. La place mémoire nécessaire *cs* (complexité spatiale).

Pour notre problème d'acquisition, nous cherchons à minimiser le nombre de questions posées aux décideurs et ajoutons une troisième dimension :

3. Le nombre de questions posées à l'expert *cn* ; complexité de l'apprentissage en fonction de la taille du problème (nombre d'éléments *n* de l'ensemble d'apprentissage *P* et surtout nombre d'attributs *p* servant à décrire ces objets).

Nous verrons que nous atteignons très vite les limites que nous nous fixons sur *ct* et *cn*. Ces limites sont telles que, finalement, nous ne pouvons envisager de traiter un grand nombre d'attributs. Ainsi bien que soucieux de la minimiser, la complexité spatiale *cs* ne nous posera pas de problème majeur.

4.1 Complexité maximale théorique cn

A partir d'une instanciation particulière de la procédure *choisir* de l'algorithme 1, il est aisé de calculer une borne maximale théorique de *cn*.

Pour cela, considérons une partition en chaînes du produit direct d'ordres totaux *P*. L'antichaîne A_1 est entièrement déterminée lorsque, sur toutes les chaînes, nous avons calculé les deux éléments *x* et *y* tels que :

x est classé dans C_1, y est dans C_2 et *x* couvre *y* **(3)**

Parmi toutes les partitions en chaînes, il en existe certaines de taille minimale. On applique alors une procédure de recherche dichotomique des éléments de l'antichaîne sur les chaînes d'une telle partition minimale.

Soit α la largeur de *P*, c'est-à-dire le cardinal maximum d'une antichaîne de *P*.

Soit *h* la hauteur de *P*, c'est-à-dire la taille de la plus grande chaîne de *P*.

Théorème de Dilworth : la largeur α de *P* est le nombre minimum de chaînes requises pour partitionner *P*.

La complexité maximale théorique de recherche d'une antichaîne de *P* est donc :

$$cn_max = \alpha \log h. \quad \textbf{(4)}$$

Elle est atteinte lorsque *p* vaut 1.

Un produit de chaînes *P* étant un *ensemble fortement de Sperner*, α est égale au cardinal du plus grand niveau de *P*. Les cardinaux des niveaux n_k de *P* s'obtiennent par l'une ou l'autre des récurrences équivalentes suivantes (Leclerc, 1990) :

$$n_k = \sum_{0 \leq i \leq c} n'_{k-i} \qquad \textbf{(5)}$$

$$n_{k+1} = n_k + n'_{k+1} - n'_{k-c} \qquad \textbf{(6)}$$

Nous donnons dans le tableau ci-dessous des valeurs de cn_max en fonction de la description de *P* ; *n* étant le nombre d'éléments de *P* :

p	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	*n*	*h*	α	cn_max	cn_max / *n*
2	5	5	-	-	-	-	25	9	5	16	0.60
4	4	3	4	5	-	-	180	11	31	107	0.59
4	5	3	4	4	-		240	12	40	144	0.60
5	5	5	5	5	5	-	3125	20	381	1646	0.53
5	6	6	6	6	6	-	7776	25	780	3638	0.47
5	7	7	7	7	7	-	16807	30	1451	7152	0.43
6	9	9	9	9	9	9	531441	48	32661	182410	0.34

Tableau 3 : Complexité théorique de la recherche en fonction de *P*

Les quelques exemples du tableau 3 montrent à quel point *n* et α croîssent avec le nombre d'attributs *p*. Nous devons donc nous intéresser, en particulier à α.

Dans le tableau 3, la valeur exacte, de α est obtenue à partir des récurrences 5 et 6 précédentes. Cependant, pour des grandes valeurs de *p*, on peut utiliser l'approximation

d'Anderson (1987) de α en fonction du nombre d'attributs et du nombre de valeurs prises par chacun des attributs :

$$\alpha \approx \sqrt{\frac{6}{\pi}} \times \frac{\prod_{i=1}^{p} c_i + 1}{\sqrt{\sum_{i=1}^{p} c_i \times (c_i + 2)}} \quad \textbf{(7)}$$

Enfin, notons que dans le cas particiulier des treillis booléens, que l'on note $\{0,1\}^p$, $h = p + 1$ et α vaut exactement :

$$C_p^{p/2} = \frac{p!}{((p/2)!)^2} \quad \textbf{(8)}$$

$$p! \approx p^p e^{-p} \sqrt{2\pi p} \quad \textbf{(9)}$$

Ainsi, pour de grandes valeurs de p, on obtient à l'aide de l'approximation de p !, une borne de la taille du questionnaire pour $\{0,1\}^p$:

$$\text{cn_max} = \sqrt{\frac{2}{\pi p}} 2^p \log(p + 1) \quad \textbf{(10)}$$

4.2 Complexité cn "réelle"

Les calculs théoriques de cn_max apparaissent peu encourageants (tableau 3). Fort heureusement dans la pratique, le nombre de questions (complexité réelle cn) est bien inférieur à la complexité cn_max.

En effet, le calcul 4 précédent considère *P* comme la somme disjointe d'une famille de chaînes de même taille. Dans ce cas précis, $\alpha \log h$ est bien le nombre maximal de questions à poser.

Cependant deux facteurs permettent d'être plus optimiste.

En effet :

- d'une part, la propagation (c'est-à-dire l'élimination de certains éléments) par le principe de monotonie se fait sur l'ensemble *P* tout entier et non chaîne par chaîne ;
- d'autre part, les chaînes permettant de couvrir *P* ne sont pas toutes de taille maximale.

L'exemple suivant (figure 9) illustre ces propos :

Soit $P = P_1 \times P_2$ où $P_1 = \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4 \leq 5\}$ et $P_2 = \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4 \leq 5\}$. On a alors $\alpha = 5$ et $h = 9$ (taille de la plus grande chaîne). Les 4 chaînes suivantes possèdent 7, 5, 3 et 1 éléments.

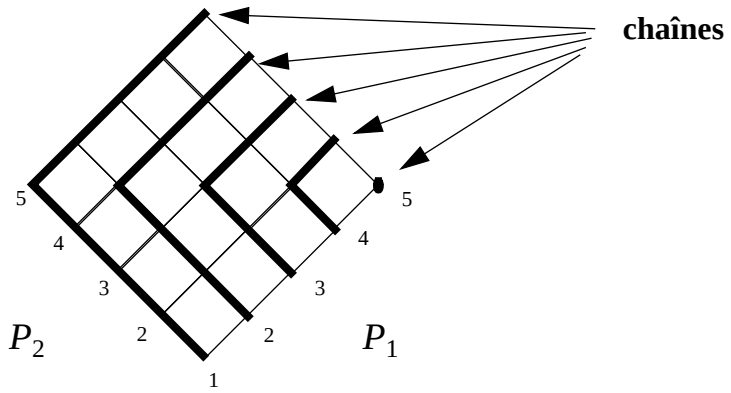


Figure 9. Couverture minimale en chaînes de $P = \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4 \leq 5\} \times \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4 \leq 5\}$

On applique alors une recherche par dichotomie sur la plus grande chaîne. C'est donc l'élément (1,5) qui est proposé. Supposons que celui-ci est rejeté par le décideur. Il reste alors, sur cette chaîne, les éléments (2, 5), (3, 5), (4, 5) et (5, 5). L'élément (3, 5) est alors proposé (notons qu'il est équivalent à (4, 5)) et supposons que celui-ci est également rejeté. Ce rejet permet alors d'éliminer les éléments (2, 5), (2, 4), (2, 3), (2, 2), (2, 1), (3, 5), (3, 4), (3, 3), (3, 2) et (3, 1). Ces points appartiennent aux chaînes de taille 9, 7 et 5.

De même, la recherche des stratégies de l'automobiliste de l'exemple présenté page 58 se fait en 40 questions (16 % des objets) alors que cn_max vaut 143 (60 % des objets).

4.3 Complexité minimale cn théorique

Nous avons déjà noté que le calcul de l'antichaîne se fait par le rapprochement successif de deux antichaînes : A_1 (qui est celle finalement recherchée) et A_2.

Ainsi, en vertu de (3, voir page 70), le plus petit questionnaire permettant de trouver A_1 est constitué de tous les éléments de A_1 et de tous les éléments de A_2. On ne peut en effet faire mieux et cn_min est donnée par :

$$\text{cn_min} = |A_1| + |A_2| \qquad \textbf{(11)}$$

On peut alors s'intéresser au cas le moins favorable, c'est-à-dire maximiser le nombre $|A_1| + |A_2|$. Dans le cas précis d'un produit direct d'ordres totaux il est aisé de connaître les antichaînes A_1 et A_2 réalisant cette maximisation. En effet P étant unimodal, les niveaux de cardinal v sont consécutifs et donc en particulier ceux de cardinal α.

Il s'agit donc de l'antichaîne de taille maximale. Celle-ci est constituée des éléments de rang h / 2 si h est pair et $(h+1)/2$ si h est impair. L'antichaîne de taille α est celle qui se trouve au "milieu" de l'espace P. L'antichaîne A_2 est alors celle se trouvant juste "en-dessous". Elle est composée des éléments de rang $h / 2 + 1$ ou $h / 2$ suivant la parité de h.

Ainsi, quelque soit la parité de h, les nombres $|A_1|$ et $|A_2|$ sont donc approximativement identiques et égaux à α. On en déduit la complexité minimale de recherche de A_1 dans le cas le plus défavorable :

$$\text{cn_min} \approx 2\,\alpha \qquad \textbf{(12)}$$

La complexité de recherche de l'antichaîne peut donc s'exprimer en fonction de la largeur de P (complexités 4 et 12).

Ainsi, que l'on considère cn_max ou bien cn_min, la connaissance de α avant de commencer la phase d'acquisition est donc intéréssante. Celle-ci permet, de plus, de savoir combien de stratégies de décision nous pouvons calculer au maximum avec notre modèle.

La largeur α de *P* croît donc de façon exponentielle avec le nombre d'attributs *p* (tableau 3 et formule 7). L'ajout d'un attribut est très coûteux pour les complexités *cn*, *ct* et *cs* (par ordre d'importance des dégradations) ; c'est ajouter une contrainte de comparabilité pour les éléments de *P*.

On cherchera donc à minimiser α. En particulier, dans le cas où l'espace *P* a subi un pré-traitement consistant à éliminer les éléments irréels on peut être tenté de calculer la dimension de *P*. En effet, la recherche des stratégies du décideur revient toujours à calculer une antichaîne, mais cette recherche doit alors s'effectuer dans un ensemble ordonné quelconque. Nous discuterons de cette possibilité au paragraphe 5.4.

4.4 Choix du point-question

L'algorithme général 1 de recherche de l'antichaîne montre que la complexité *cn* est entièrement déterminée par le choix du point-question x_i proposé au jugement du décideur à chaque étape. C'est à partir de x_i et de la réponse du décideur que nous appliquons le principe de monotonie permettant d'éliminer des points non encore classés de *P*.

Désireux d'optimiser la complexité de l'acquisition *cn*, la complexité temporelle *ct* et la complexité spatiale *cs*, nous pouvons envisager différentes stratégies de recherche de x_i. La minimisation de la complexité spatiale sera discutée au paragraphe 6 de ce chapitre, lorsque nous développerons l'aspect codage informatique de l'espace de représentation *P*.

Cherchons dans un premier temps à minimiser les temps de calculs donc *ct*. Deux stratégies viennent alors immédiatement à l'esprit. La première consiste à prendre les points séquentiellement, comme ils arrivent, la seconde à les tirer de façon aléatoire. L'une et l'autre sont telles que ct est nulle.

Dans le premier cas, on retombe sur un problème d'apprentissage à partir d'une base d'exemples (qui auront été catégorisés par l'expert). Le questionnaire étant ainsi figé, on ne peut le guider et donc garantir la généralisation totale à l'ensemble *P*. Ceci étant, on peut parfois se contenter d'un apprentissage partiel. Remarquons également que ce mode de fonctionnement peut mettre en défaut très rapidement le principe de monotonie. Ceci a tout de même été prévu, dans la conception d'APACHE, pour permettre une acquisition en plusieurs étapes afin d'éviter de réapprendre ce qui a été appris précédemment ou, tout simplement afin d'utiliser une liste d'objets déjà classés.

Cette fonctionnalité peut s'avérer indispensable pour couper des questionnaires trop longs.

Le second cas garantit la convergence totale mais celle-ci peut être très longue à obtenir. Dans le cas d'une tâche de sélection/rejet le principe de parcimonie ne peut pas être violé avec cette stratégie, ce qui n'est pas le cas s'il y a plus de deux catégories.

Enfin, on peut chercher à minimiser la taille du questionnaire, c'est-à-dire *cn*. Il s'agit alors d'optimiser la portée du principe de monotonie. Il faut donc choisir à chaque étape l'élément x_i possédant le plus grand pouvoir de généralisation, c'est-à-dire celui qui va maximiser la taille de l'ensemble des éléments qui vont être classés avec x_i, étant donné que l'on ne connaît pas la réponse du décideur. Nous devons donc envisager le pire des cas et le minimiser. C'est une stratégie de type *maxi_min*.

Dans le cas de la sélection/rejet ceci se traduit par :

$$\max [\min_{x_i \in P_{i-1}} (|\sup(x_i)|, |\inf(x_i)|)] \quad \textbf{(13)}$$

où

- $\sup(x_i)$ est l'ensemble des éléments non classés supérieurs à x_i :
  $\sup(x_i) = (\{y \in P_{i-1}, y \geq x_i\}$
- $\inf(x_i)$ est l'ensemble des éléments non classés inférieurs à x_i :
  $\inf(x_i) = \{y \in P_{i-1}, y \leq x_i\}$

On doit donc calculer, à chaque étape, l'idéal principal et le filtre principal, dans l'ensemble des éléments non classés, de tous les éléments (non classés). Enfin, en cas d'égalité entre plusieurs éléments, on maximise la "meilleure" réponse.

Cette stratégie est illustrée figure 10 sur l'exemple vu précédement.

C'est la stratégie de recherche que nous utiliserons. Elle permet à chaque question de garantir un avancement minimum le plus grand possible. Celle-ci n'est pas optimale dans tous les cas mais elle nous garantit un bon comportement en moyenne.

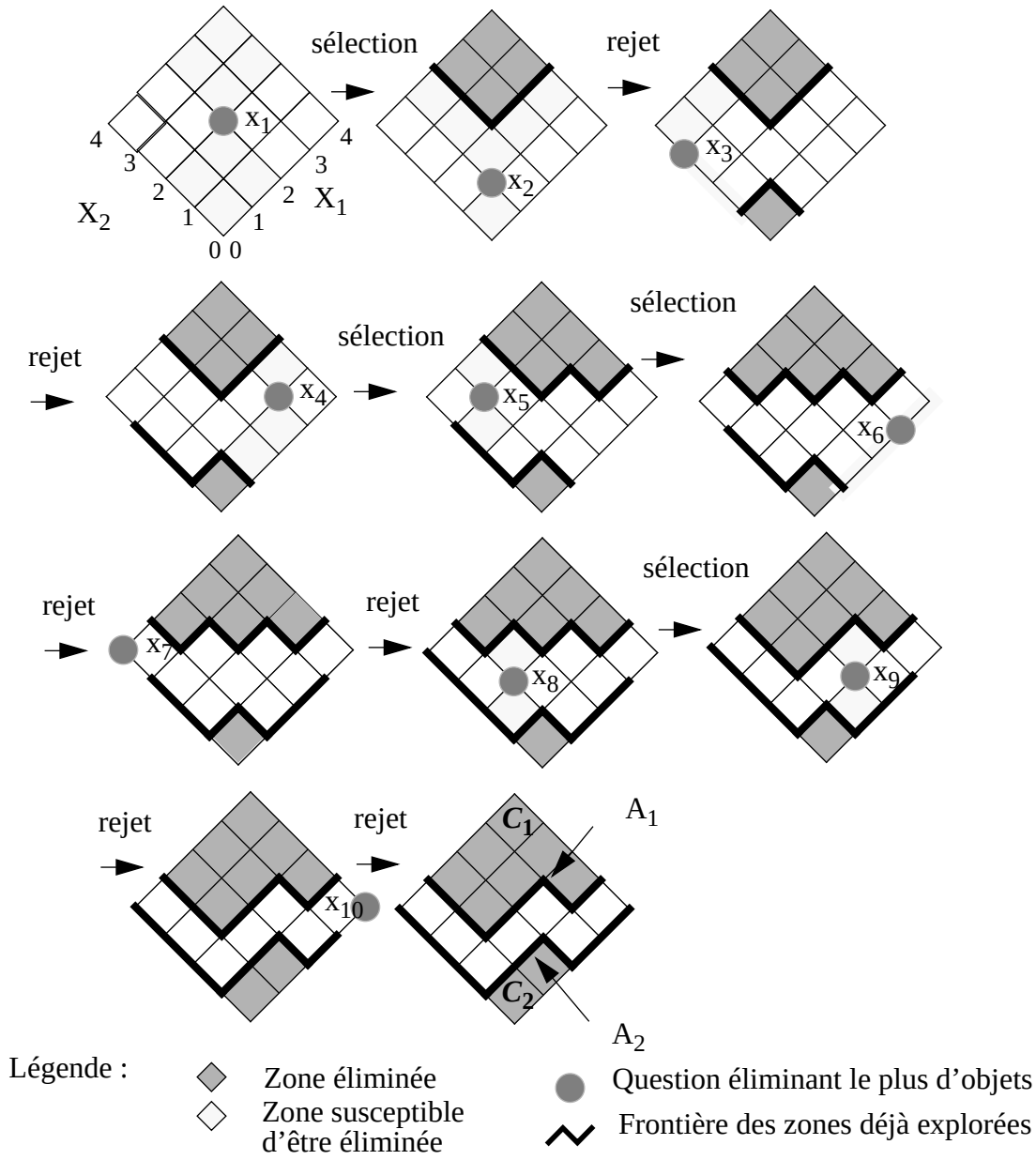


Figure 10. Un exemple d'application de la stratégie (13)

Cette stratégie a pour avantage d'économiser le décideur. Elle permet de minimiser l'effort cognitif a fournir en réduisant le plus possible le nombre d'objets proposés, c'est-

à-dire le nombre de décisions que doit prendre l'individu. Elle permet également de minimiser le temps de l'acquisition.

En contre-partie, elle nécessite de nombreux calculs puisque, à chaque étape et pour chaque point *x* non classé, il faut déterminer les ensembles inf(*x*) et sup(*x*). De plus, décider si y est comparable à *x* peut nécessiter *p* tests (nombre de dimensions de *P*). Ainsi, contrairement au cas extrême (choix des éléments au hasard), elle est coûteuse pour *ct*.

En conséquence, on cherchera à calculer les ensembles inf(x) et sup(x) sans recherche exhaustive et sans faire les *p* tests de comparaison attribut par attribut.

Les simulations effectuées pour rechercher l'antichaîne de taille maximale ont montré que cette stratégie était quasiment optimale (on pose effectivement à peu prêt 2α questions). Cette antichaîne se trouve au milieu de l'espace *P* et nous avons de bonne raison de penser qu'en moyenne les antichaînes représentant les stratégies de décision en seront peu éloignées. Ceci conforte le choix de cette stratégie de sélection de l'élément-question.

Remarquons quand même que si le choix de la stratégie (13) devient problématique pour la complexité *ct*, il existe un moyen très efficace de contourner cette difficulté.

En effet, le comportement de l'algorithme étant entièrement déterminé par la suite (x_i, r_i) où r_i est la réponse fournie par l'expert à la $i^{ème}$ question on peut préparer le questionnaire (x_i). Pour cela, il suffit de développer un arbre (binaire pour la sélection/ rejet) donnant à chaque étape le point x_i en fonction de la réponse r_{i-1}. Cet arbre s'obtient aisément par simulation. S'il n'est pas raisonnable de développer l'arbre en entier, on peut se contenter de quelques niveaux seulement. La complexité *ct* décroît en effet fortement avec le cardinal de P_{i-1}, comme nous allons le voir au paragraphe 4.6.

4.5 Evolution des performances de l'algorithme pour cn

Le choix de la stratégie (13) a une conséquence immédiate sur l'évolution de l'algorithme d'apprentissage.

Au début le principe de monotonie permet de propager le couple (objet/réponse) à un grand nombre d'éléments de *P.* Très vite la structure d'ordre de *P* est "brisée" et les éléments non classés sont tous incomparables entre eux. On distingue ainsi deux phases

comme cela est montré figure 11 : une *phase gloutonne* qui correspond à une décroissance forte de $|P_i|$ et une *phase linéaire* qui correspond à une décroissance faible.

Si le cardinal $|P_i|$ de l'ensemble des éléments non classés est strictement décroissant, il faut remarquer que, lors de la phase gloutonne, il se peut que que le $i^{ème}$ couple (objet/réponse) permette de classer plus d'éléments que le $i\text{-}1^{ème}$ couple. Cela se produit si le décideur n'a pas donné la «meilleure réponse» selon le critère (13).

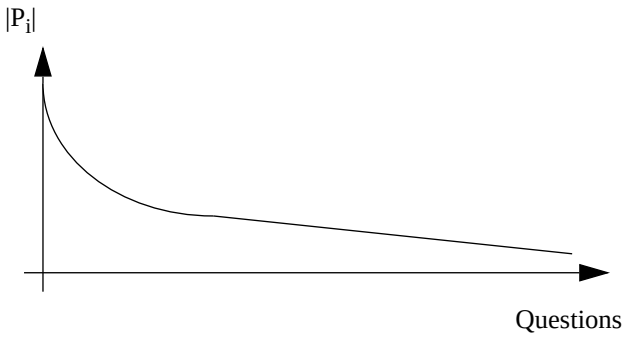


Figure 11. Evolution de l'algorithme d'apprentissage

La phase linéaire est très coûteuse car il faut classer un à un les points restants. Elle indique cependant que nous sommes très proche de l'antichaîne finale. A ce stade, il y a au plus un seul élément entre les éléments des deux antichaînes calculées.

Le tableau 4 contient des résultats exacts obtenus par simulation (on recherche l'antichaîne maximale). Pour des raisons de commodité d'écriture, le produit direct d'ordres totaux $\{1 \leq 2 \leq 3 \ ... \leq c_1\} \times .... \times \{1 \leq 2 \leq c_p\}$ est noté $c_1 \times .... \times c_p$ ou c^p si tous les c_i sont égaux. On observe, en particulier, que la moitié des éléments est très rapidement traitée par l'algorithme.

	n	cn exacte	phase linéaire atteinte à la question	% de l'espace restant à traiter	50 % (approximativement) de l'espace est traité à la question
$5 \times 3 \times 3 \times 4$	180	63	42	11,6	8
3^3	27	13	9	14,8	3
4^4	256	84	58	10,1	8
4^5	1024	310	205	10,2	22
5^4	625	165	114	8,1	11
5^5	3125	746	500	7,9	31

Tableau 4 : Phases gloutonne et linéaire

On peut alors envisager de stopper le processus d'acquisition dès que (ou peu de temps après que) l'on arrive en phase linéaire. Cette phase est atteinte dès que l'élément *x* élu par le critère 13 est tel que *sup*(*x*) et *inf*(*x*) sont égaux et valent 1. On réduit ainsi de façon considérable la taille du questionnaire mais il faut accepter pour résultat une antichaîne qui n'est peut-être pas l'antichaîne réelle. Celle-ci est, au "pire", juste supérieure (elle est couvrante) à l'antichaîne réelle. Dans certaines situations, cela peut profiter au sujet-décideur. C'est le cas de l'application au domaine de l'épargne qui sera traitée au chapitre 3 puisque le décideur-consommateur se verra proposer des produits d'épargne au moins aussi bons que ceux qu'il devrait accepter .

Cependant, ce critère d'arrêt mérite d'être étudié de façon rigoureuse. Soit l'on stoppe l'acquisition dès que l'on atteint la phase linéaire, soit l'on s'accorde encore quelques questions pour affiner les résultats. Dans ce cas, il convient de choisir judicieusement ces questions (Lenca, 1995a).

On peut en particulier, s'intéresser à estimer la probabilité d'avoir calculé la bonne antichaîne alors qu'il reste θ éléments non classés.

Sous l'hypothèse que, pour chacun de ces éléments, le décideur peut répondre «accepté» ou «refusé» de façon équiprobable, il y a alors 2^θ suites de réponses possibles. Chacune de ces suites conduit à 2^θ antichaînes différentes et également équiprobables. La probabilité d'apparition de chaque antichaîne dépend donc uniquement de θ ; $p(\theta) = 1/2^\theta$.

Selon le même principe, on peut dire que nous avons une probabilité de 1/2 d'avoir calculer 50% des éléments de l'antichaîne réelle.

Considérons alors les deux cas extrêmes :

1. on avait exactement la bonne antichaîne
2. on n'avait aucun point de la bonne antichaîne

Ces deux situations correspondent respectivement aux suites de réponses (refusé, ..., refusé) et (accepté, ..., accepté).

On peut calculer le gain sur la longueur du questionnaire, en fonction de la taille maximale d'un questionnaire *t*, que l'on estime inférieure à $2\,\alpha$ (qui dépend de *n* et *p*).

Ainsi, si l'on accepte le pire des cas, on peut se fixer le seuil δ permettant de connaître θ :

$$\theta / 2\,\alpha = \delta \Rightarrow \theta = 2\,\alpha\,\delta = t\,\delta$$

t	δ	θ	$p(\theta)$
25	0,20	5	0,031
35	0,14	5	0,031
40	0,25	10	0,00977

Tableau 5 : Réduction de la taille du questionnaire

La probabilité $p(\theta)$ est certes très faible mais il ne faut pas perdre de vue que :

- d'une part, les éléments de l'antichaîne courante ont nécessairement été proposés au décideur (ils n'ont pas été déduits) et celle-ci est au moins aussi «bonne» que l'antichaîne réelle,
- d'autre part, le gain δ est relativement important et par hypothèse le pire des cas et le meilleur des cas sont équiprobables.

On peut donc raisonnablement envisager de stopper l'acquisition pendant la phase linéaire à condition d'accepter le pire des cas. Il faut malgré tout, s'assurer que la différence d'un niveau sur une échelle ordinale (qui correspond à la perte d'information dans l'espace de représentation au cas où l'on s'arrête dans la phase linéaire) ne se

traduit pas par une différence considérable sur les valeurs réelles prises par l'attribut correspondant.

Le critère d'arrêt précédent peut toutefois être amélioré. On peut envisager d'émettre des hypothèses supplémentaires sur les probabilités d'apparition de chaque réponse en fonction des niveaux d'exigences du décideur sur les attributs. Ceci se réalisera à partir d'une étude de l'antichaîne A_1 courante.

D'autres voies sont envisageables :

- proposer les éléments qui permettraient d'expliquer le plus grand nombre de choix d'objets.
- proposer les éléments se trouvant sur les bords de l'espace et qui génèrent des règles de type lexicographique.

4.6 Complexité maximale ct théorique

Afin de réduire la taille du questionnaire nous avons effectué le choix de la stratégie 13. Celle-ci nous permet de minimiser *cn*, en moyenne. Elle est, cependant, très coûteuse pour la complexité *ct* puisque, à chaque étape et pour tous les éléments x_i non classés, il faut calculer :

- l'ensemble $\sup(x_i) = \{y \in P_{i-1}, y \geq x_i\}$
- l'ensemble $\inf(x_i) = \{y \in P_{i-1}, y \leq x_i\}$

Cherchons une estimation de *ct* dans le pire des cas.

Il y a, au maximum, *n* éléments x_i non classés (cas où aucun élément n'est classé). Chacun de ces éléments possède au plus *n* - 1 éléments comparables (les calculs ne sont pas faits pour l'élément x_i lui-même). La comparaison de deux éléments se fait en *p* tests et est à réaliser deux fois par élément x_i ; une fois pour les supérieurs et une fois pour les inférieurs. D'où la compexité maximale théorique *ct* dans le cas d'une recherche exhaustive dans l'ensemble des éléments non classés P_{i-1} :

$$ct = 2\,p\,n\,(n - 1) \qquad \textbf{(14)}$$

Nous avons négligé ici les 2 *n* tests $y \in P_{i-1}$ ainsi que les 2 *n* tests servant à déterminer l'élément maximisant le critère 13.

Les calculs n'étant faits que pour les éléments non classés, cette complexité maximale théorique est une bonne approximation de la taille des calculs effectivement réalisés pendant la phase gloutonne et elle les maximise ensuite très largement dès que l'on atteint la phase linéaire.

4.7 Complexité cs

Nous avons étudié la possibilité de minimiser l'occupation de la mémoire. Un algorithme très performant pour *cs* est présenté brièvement au paragraphe 6.1.1 et est détaillé dans (Pichon, Lenca *et al*., 1994). Il devient très vite inutilisable, avec le critère 13 permettant d'optimiser *cn*, à cause des temps de calcul.

Cependant, pour notre problème, l'occupation de la place mémoire peut être négligée. En effet, comme nous l'avons vu, d'une part cette méthodologie se trouve vite limitée pour des problèmes de grandes tailles (c'est-à-dire lorsque le nombre d'attributs est élevé) et d'autre part, s'il y a beaucoup d'objets (bien que cela soit moins important que le nombre d'attributs, car c'est le niveau de comparabilité entre les objets qui nous intéresse). Nous atteignons donc les limites de *cn* et *ct* bien avant celle de *cs*.

Nous sommes en effet limités par le nombre d'objets qu'il va falloir proposer mais aussi par les temps de calcul entre chaque objet. Ainsi, les problèmes que nous considérons sont souvent décrits avec un nombre réduit d'attributs (moins de sept, pour rester très large) et, dans ce cas, le problème de place mémoire n'a plus aucune importance.

5 Problèmes liés à la modélisation

L'algorithme, assez simple, de recherche d'une antichaîne dans un ensemble ordonné ne pose pas de problème majeur. Cependant, de nombreuses difficultés apparaissent pour traiter notre problème d'acquisition de règles de décision. Elles sont inhérentes à ce type de modélisation. Celles-ci sont essentiellement dues à la description du monde et à l'aspect interactif de l'acquisition.

5.1 Obtention des attributs pertinents

Les attributs servant à décrire le monde des objets ne sont en effet pas nécessairement donnés *a priori*. Il faut pouvoir caractériser les objets par des attributs signifiants. Le choix des attributs nécessite une certaine expertise du domaine mais aussi

du sujet-décideur. Il faut alors bien souvent recourir à des techniques d'acquisition telles que les entretiens, etc. La connaissance du décideur peut permettre d'écarter des attributs sans importance pour lui. Nous avons vu, à travers l'étude des complexités *cn* et *ct*, que la minimisation du nombre d'attributs doit être un objectif important de la modélisation du domaine. Cela est particulièrement crucial pour l'application au domaine de l'épargne développée au chapitre 3. On peut soit réduire la durée de l'acquisition, soit considérer d'autres attributs.

Un autre problème réside dans la difficulté à caractériser les objets par des attributs non "corrélés". Dans la pratique, on peut être certain qu'ils sont tous plus ou moins "corrélés". Il est alors important de comprendre comment le sujet agrège plusieurs attributs ensemble.

5.2 Structure des attributs et échelles d'attractivité

Il existe des attributs pertinents pour la décision mais non satisfaisants pour le modèle car l'ordre canonique sur les valeurs ne respecte pas l'ordre sur les objets. Par exemple, l'attribut taille d'une personne pris dans l'ordre croissant peut être considéré «mauvais» puis «bon» puis de nouveau «mauvais». Les personnes trop petites ou trop grandes ne peuvent pas faire partie du personnel naviguant d'une compagnie aérienne et sont donc classées «mauvais» candidats et ce quels que soient leurs autres qualités. Ces attributs sont en général formés d'une agrégation d'attributs sous-jacents. Encore une fois, une forte expertise du domaine est nécessaire. Mais on doit surtout s'intéresser aux structures de préférence du décideur, une fois les attributs pertinents connus.

Le principe de monotonie implique pour chaque attribut un fonctionnement à seuils de l'expert et nous devons nous intéresser à la notion d'échelles d'attractivité. De ce fait, on ne se soucie pas du type d'ordre sur chaque dimension, on se contente de manipuler un seuil.

Le monde O étant décrit par p attributs X_i, nous sommes confrontés aux deux possibilités suivantes :

1. Il n'existe pas d'ordre sur les X_i.
2. Il existe un ordre sur les X_i.

Remarquons immédiatement qu'il y a $(c_1 + 1) ! \times (c_2 + 1) ! \times ... \times (c_p + 1) !$ ordres possibles. Parmis ceux-ci, nous devons en choisir un. Ce choix n'est pas donné ! Il ne dépend pas des variables mais de l'individu.

Dans le premier cas, on parlera d'attributs nominaux et, dans le second cas, d'attributs ordinaux. Dans le cas d'attributs "naturellement" nominaux, on essaiera donc de trouver un moyen de se ramener à des attributs ordinaux.

Un exemple typique d'attribut nominal est la *couleur*. On ne peut, *a priori*, dire que la couleur verte est préférable à la couleur rouge, elle-même plus désirable que la couleur noire. De même, afin d'aider un candidat à choisir un travail, on ne peut ordonner les régions de France sans connaître ses préférences. Si l'on connaît effectivement ses préférences, on pourra alors passer du nominal à l'ordinal. Notre candidat, passionné de voile, pourra dire qu'il préfère les régions côtières à l'Ile de France et aux régions montagneuses. On pourra alors ordonner l'attribut *région*.

On peut également être amené à scinder les attributs nominaux en terme de présence/absence ou encore en variables booléennes et alors les ordonner. L'attribut *avantage* des produits d'épargne, par exemple, se prête bien à ce genre de manipulation. Ainsi, désirant le représenter avec les valeurs suivantes : réduction d'impôt, crédit à taux réduit , etc ; on utilisera des variables binaires précisant pour chacun d'entre eux leur présence ou non. On pourra alors dire, objectivement, que la présence d'une réduction d'impôt est préférable à son absence.

L'ordre sur des attributs qui apparaissent naturellement ordonnés par nature n'est pas donné non plus. Celui-ci peut être complètement inversé à cause de la présence d'autres attributs. Considérons un produit d'épargne avec un rendement garanti. Si l'attribut *rendement garanti* pris seul peut être ordonné par l'ordre croissant des taux, il se peut qu'en présence de l'attribut *durée* (du placement), le décideur inverse l'ordre sur les produits s'il anticipe une hausse des taux.

L'hypothèse d'ordre sur les attributs est très forte. Elle restreint les domaines (ou la façon de les décrire) sur lesquels nous allons appliquer cette méthodologie. Elle nécessite que cet ordre soit clairement identifié. On ne peut se contenter d'une approche naïve. Il faut donc fournir un travail important sur la description du monde, mais aussi pour connaître la structure de préférence de l'expert. L'effort fourni est alors récompensé grâce aux capacités de généralisation (via la règle de dominance) qu'entraîne une telle description.

Kant (1996) propose une implémentation connexionniste (réseau Categ_Art) de l'HBM sans faire cette hypothèse d'ordre sur les attributs. Le problème du choix des attributs et des valeurs prises par ces attributs reste posé, mais ne pas avoir à se

préoccuper des échelles d'attractivité est un avantage certain. En contrepartie, Categ_Art nécessite des ensembles d'apprentissage beaucoup plus grands que ceux que nous proposons.

5.3 Combinatoire de *P*

Pour lever l'incompatibilité précédente ou pour affiner les règles obtenues, il se peut que l'on soit obligé d'augmenter le nombre d'attributs ou le nombre de valeurs prises par les attributs. Ceci entraîne une augmentation du cardinal de *P* et donc de la complexité de l'acquisition (voir le paragraphe 4).

L'exemple précédent (à propos de la taille d'une personne) montre qu'une *bonne taille* est considérée "bonne" mais, si l'on veut savoir ce qu'est une bonne taille, il faut discrétiser (avec des valeurs numériques cette fois-ci) suffisamment l'attribut *taille*, sans oublier l'inversion d'ordre par rapport à l'ordre naturel.

5.4 Monstres cognitifs

Le fait de plonger *O* dans *P* induit la création de nouveaux objets décrits dans *P* mais n'appartenant pas à *O*. Ces objets augmentent de plus inutilement la taille de *P.*

Présenter ce type d'objet, que nous appelons *éléments irréels* ou *monstres cognitifs*, au jugement de l'individu risque de pertuber son comportement et donc les résultats de l'acquisition car ils sont sans réalité pour le décideur.

Il peut être cependant intéressant de les garder pour tester le degré d'expertise d'un sujet lorsqu'on le confronte à leur évaluation.

Reprenons l'exemple des moyens de transport de la figure 5. Sans même considérer la sûreté, on sait qu'il n'existe pas de bateau très rapide fait pour les grandes distances, ne serait-ce uniquement à cause de problèmes de ravitaillement en carburant. Ainsi le quatruplet (2, *, 2, 2) (où * est un masque et signifie que l'attribut correspondant peut prendre toutes les valeurs de son domaine), qui existe bien dans *P* ne représente pas d'objet de *O*. Nous devons donc faire preuve de prudence. Ceci est particulièrement vrai pour les produits d'épargne. La proposition d'un produit d'épargne "trop bon pour être vrai" risque d'entraîner une série de refus pour les produits suivants : pourquoi accepter des placements moyens quand on peut avoir le produit idéal !

Remarquons, enfin, que l'attribut *type de déplacement* des objets *moyens de transport* aurait pu être séparé en trois variables binaires : *vole* (oui/non), *roule* (oui/non) et *flotte* (oui/non). On créerait alors dans *P* une multitude d'éléments du type (vole, roule, flotte, *) alors qu'à notre connaissance, seul l'hydravion peut à la fois voler, rouler et flotter. De même les éléments du type (non vole, non roule, non flotte, *) ne représentent aucun moyen de transport.

Ainsi, la description du monde *O* via un espace multi-attributs *P* ne peut se réduire à la conjonction naïve de toutes les valeurs prises par chacun des attributs. Cependant, le monde étant en perpétuelle évolution, il faut garder à l'esprit qu'un élément *x* peut être irréel au temps t et devenir possible au temps t+1 et vice-versa. Encore une fois, le monde de l'épargne en est un bon exemple : les modifications fiscales et les baisses des taux récentes montrent ce changement de situation ; les sicavs monétaires d'il y a quelques années n'ont plus vraiment d'équivalent aujourd'hui.

Le développement d'un outil informatique permettant d'acquérir les stratégies des décideurs via une telle représentation doit permettre de traiter aisément ce type d'éléments. Nous verrons que le codage de l'espace de représentation utilisé permet ce traitement sans modifier la procédure de recherche des stratégies de décision. La difficulté essentielle réside alors dans leur détection qui nécessite une expertise du monde *O*. Pour simplifier, on peut dire qu'il y a trois groupes de monstres cognitifs : les *trop bons*, les *trop mauvais* et les vrais «*parasites*». Ceux-ci se répartissent respectivement dans *P*, en haut (éléments des derniers niveaux), en bas (éléments des premiers niveaux) et un peu partout (figure 12) :

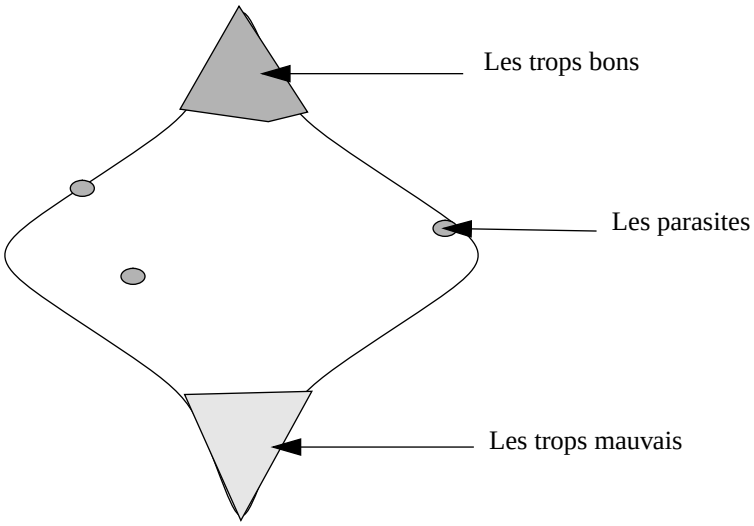


Figure 12. Principales positions des monstres cognitifs

La distinction entre ces différentes positions est importante. En effet, les monstres cognitifs trop bons ou trop mauvais ont très peu de chance d'être présentés au décideur car ils vont être éliminés, dès les premières questions par application du principe de monotonie. Par exemple, en vertu de la stratégie 13, le premier élément proposé se trouvera au milieu de l'espace. Ainsi, soit les trop bons soit les trop mauvais vont être écartés des recherches futures. Ce sont les autres monstres cognitifs qui risquent d'apparaître s'ils ne sont pas éliminés.

Supprimer les monstres cognitifs, c'est faire des "trous" dans le produit direct d'ordres totaux *P.* On se ramène donc à la recherche d'une antichaîne dans un ensemble ordonné quelconque.

On sait (Szpilrajn, 1930) que tout ensemble ordonné peut être plongé dans un produit direct d'ordres totaux. Afin de réduire la complexité du problème, on peut alors être tenté de calculer la dimension de *P*, c'est-à-dire le plus petit nombre d'ordres totaux dans lesquels *P* peut être plongé. Celle-ci peut en effet être fort bien inférieure à *p*.

Cependant, pour des raisons pratiques, on maintient le même nombre de dimemsions *p*.

Tout d'abord, à partir de la dimension 3 la recherche de la dimension d'un ordre partiel est un problème NP-complet (Yannakakis, 1981). Cela imposerait un pré-traitement NP-complet alors même que l'on cherche à obtenir un algorithme efficace ! Ce pré-traitement peut de plus se poser de façon *on-line*. C'est le cas pour un système d'aide au conseil en matière d'épargne. Le conseiller bancaire peut être amené à construire les éléments de *P* juste devant son client.

Ensuite, les descripteurs naturels de départ peuvent être perdus. Ainsi, même si l'on obtient un meilleur espace de représentation, les règles calculées risquent de ne pas être celles manipulées par le sujet et donc de ne pas être interprétables. En effet, les échelles de départ auront été transformées de façon à conserver l'ordre partiel initial.

L'ensemble des objets (ou actions) potentiels sera donc l'espace *P*, amputé ou non des éventuels monstres cognitifs. Nous l'appellerons également *espace des possibles*.

5.5 Discussion

La taille du questionnaire nécessite le choix d'un bon "candidat" à proposer au jugement du décideur. Ce choix, qui ne peut se faire au hasard, implique d'optimiser un certain critère. Cette optimisation est coûteuse en temps de calculs. Nous avons également montré que le nombre d'objets proposés au sujet croît très vite avec le nombre d'attributs. Ainsi, suivant le type d'application souhaitée, il faudra réaliser un certain arbitrage entre le coût de l'acquisition et sa finesse. Nous devons donc distinguer différentes situations pour l'application de l'algorithme d'apprentissage. Celles-ci impliquent différentes contraintes que nous allons détailler.

Ces différentes situations proviennent du fait que :

1. L'apprentissage se fait avec la «coopération volontaire» du décideur.
2. La disponibilité de l'expert peut être très variable.

Nous devons alors considérer les points suivants :

1. L'interfaçage avec le programme d'apprentissage.
2. Les temps de calculs entre chaque étape de l'apprentissage.
3. Le nombre de questions posées à l'expert.

Ainsi, pour une application fortement contrainte, c'est-à-dire avec un décideur très peu disponible, il est souhaitable de pas utiliser plus de quatre attributs à cinq valeurs (voir les simulations du tableau 6 page 106). Dans ces conditions, nous pouvons

répondre, en mettant en oeuvre des algorithmes efficaces, à la fois aux deux exigences principales que nous nous sommes fixées.

Dans des cas où le décideur est beaucoup plus disponible, on peut non seulement envisager d'utiliser plus d'attributs mais aussi d'effectuer l'acquisition en plusieurs étapes. Enfin, on peut également observer le comportement du décideur, complètement à son insu. Dans ce cas, le programme fonctionne en arrière-plan pendant que le décideur effectue sa tâche : les données et les actions sont captées comme elles arrivent. Certaines données peuvent même être générées artificiellement. On dispose ainsi, d'une acquisition en situation, véritablement, réelle.

Dans le cas d'un apprentissage interactif avec le décideur, l'Interface Homme-Système constitue une part importante du projet. Nous avons déjà évoqué quelques problèmes qui peuvent intervenir et nous aurons quelque peu l'occasion d'y revenir.

Nous nous plaçons dans la situation la plus contrainte : l'utilisation d'APACHE pour comprendre les règles de décision des épargnants. Le décideur épargnant et le conseiller sont des intervenants dont le temps est particulièrement limité.

La stratégie de choix du point-question étant déterminée, nous allons présenter les aspects structures de données et algorithmes mis en oeuvre sur ces structures afin de minimiser les temps de calculs mais aussi la place mémoire.

6 Algorithmes

Nous allons désormais discuter du *codage informatique* de l'espace de représentation *P* et des algorithmes que nous pouvons mettre en oeuvre sur les codages proposés. Ces codages de *P*, par des *chaînes*, des *intervalles* et par l'ordre *lexicographique*, sont très différents les uns des autres. Ils diffèrent aussi en terme de performances pour *ct* et *cs*.

Nous rappelons que le principal critère de qualité de nos algorithmes est la minimisation de la durée de l'acquisition, à savoir *cn*. Ceci nous a conduit à choisir la stratégie de recherche 13. Nous cherchons donc à minimiser *ct* et *cs*, une fois cette stratégie choisie.

Pour cela, nous avons réalisé une étude du codage des ensembles ordonnés et tout particulièrement, des produits directs d'ordres totaux (ou produits de chaînes).

Enfin, il faut tenir compte du fait que l'outil APACHE doit être opérationnel sur une machine de type PC-portable.

6.1 Création et codage de l'espace des possibles *P*

6.1.1 Recouvrement par des chaînes

Nous avons, dans un premier temps, privilégié la minimisation de la complexité spatiale *cs*.

Le travail de Leclerc (1990) a inspiré un algorithme récursif construisant une partition minimale en chaînes de *P* (Pichon, Lenca *et al.*, 1994). Les chaînes obtenues sont symétriques (voir l'annexe sur les ensembles ordonnés page 192) et la méthode est du type de celle étudiée par De Bruijn, Tengbergen et *al*. (1951).

Pour chaque chaîne, on ne mémorise que son élément minimum et sa taille. Le codage utilisé permet donc une importante économie de place mémoire. On retrouve tous les éléments de la chaîne par construction.

Par exemple, le produit direct {1, 2, 3, 4, 5}×{1, 2, 3, 4, 5} peut être partionné à l'aide de cinq chaînes (voir figure 9 page 73) et contient 25 éléments. L'algorithme ne crée que cinq couples (point minimum, taille de la chaîne partant de ce point) : (11, 9), (12, 7), (13, 5), (14, 3) et (15, 1).

La recherche de l'antichaîne, en vertu du principe (3) évoqué au paragraphe 4.1, nécessite deux indices supplémentaires par chaîne : un pour le plus petit élément de la chaîne classé dans C_1 et un pour le plus grand élément classé dans C_2. L'élément séparant les deux classes est connu dès que les deux indices sont successifs.

Utiliser ce codage avec une procédure de recherche dichotomique sur les chaînes ne coûte rien en temps de calculs puisqu'il suffit de calculer pour chaque chaîne une différence d'indices. Ceci nous garantit que l'on aura *cn* bien inférieur à *cn_max*, mais ce n'est pas tout à fait satisfaisant car insuffisant.

Cependant, dès que l'on cherche à optimiser la taille du questionnaire et donc à appliquer la stratégie 13, ce codage devient vite inutilisable pour plus de trois attributs. La non mémorisation des éléments de l'espace de recherche implique de les recalculer chaque fois que nécessaire, ce qui est beaucoup trop coûteux en temps de calculs.

Ainsi, bien que possédant quelques vertus récursives et une optimisation «quasi-totale» de *cs*, ce système de codage n'était pas satisfaisant, aussi l'avons nous abandonné.

Il serait pourtant intéressant de conserver le principe de gestion d'indices permettant de déterminer sur chaque chaîne les éléments séparant les deux classes dans une version itérative, mémorisant tous les éléments des chaînes dans des listes par exemple.

6.1.2 Recouvrement total par des intervalles

Guillet (1995) a proposé un recouvrement de l'espace *P* par des intervalles.

Celui-ci consiste à gérer une partition en intervalles des éléments non classés. Un sous-ensemble d´éléments est représenté par un bi-point. Ce codage permet un gain de place mémoire important et offre aussi la possibilité d'effectuer des calculs locaux dans chacun des intervalles. La parallélisation de la stratégie 13 est donc possible. Les algorithmes de gestion des intervalles sont cependant complexes.

6.1.3 Recouvrement total par l'ordre lexicographique

Nous allons présenter un codage permettant, d'une part, d'économiser la place mémoire (tout en mémorisant la totalité des points de *P*) et, d'autre part, d'effectuer rapidement les opérations nécessaires à la recherche de l'antichaîne (tout en respectant le critère optimisant *cn*).

Ce codage permet, en particulier, lorsque l'on cherche à calculer les ensemble *sup* et *inf* pour un élément *x* (stratégie 13 optimisant cn), de ne pas tester tous les éléments mais seulement ceux comparables à *x* et de plus d'éviter d'effectuer les *p* tests sur tous les attributs.

6.1.3.1 Codage de *P*

L'espace de représentation *P* (matrice $n \times p$ d'entiers) est plongé dans un sous-ensemble des entiers naturels IN.

On utilise un seul entier pour coder un objet représenté par *p* attributs. Le gain de place mémoire est évident. On économise p - 1 entiers par objet soit $n \times (p - 1)$ entiers pour le codage de *P.*

Les *n* entiers sont rangés dans l'ordre croissant des entiers naturels dans un tableau à une dimension. Désormais, lorsque nous parlerons de l'espace de représentation *P*, nous ferons en fait référence à ce tableau.

C'est l'une des structures de données les plus simples à utiliser. Les procédures nécessaires à la recherche de l'antichaîne sont facilitées.

Soit *x* l'entier représentant l'objet *o*.

Le i^{ème} chiffre de *x* (lu de droite à gauche) correspond à la valeur prise par *o* sur le i^{ème} attribut :

$$o = (x_1, x_2, ..., x_p) \text{ est codé par } x = x_p x_{p-1} ... x_1$$

Ce codage s'obtient très facilement en utilisant le développement en base 10 des entiers naturels comme cela est montré dans la formule 15.

$$x_p \ldots x_1 = \sum_{i=1}^{p} x_i \times 10^{i-1} \qquad \textbf{(15)}$$

Finalement, du monde réel aux structures de données, en passant par les espaces de représentation, nous avons le schéma suivant :

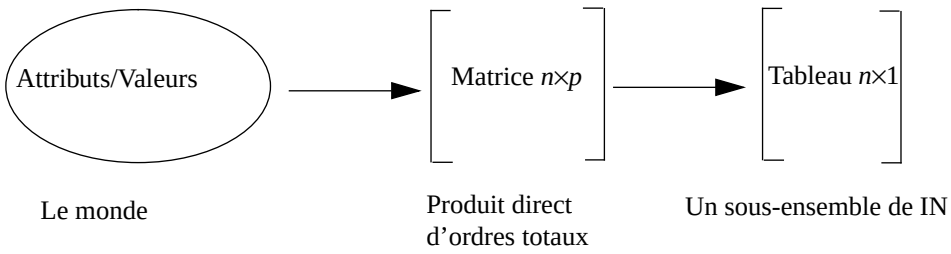


Figure 13. Structure de données codant le monde

Soit, par exemple, les objets décrits par deux attributs X_1 et X_2 pouvant prendre respectivement trois et quatre valeurs (n = 12) :

- Le tableau *P* est [11, 12, 13, 21, 22, 23, 31, 32, 33, 41, 42, 43].
- L'élément 13 représente l'objet de *O* prenant la $3^{ième}$ valeur possible de l'attribut X_1 et la $1^{ière}$ valeur de l'attribut X_2.

L'algorithme 2, écrit en pseudo-pascal, crée le tableau *P* à partir des *p* attributs et des domaines de valeurs V_i.

```
Données : p, c1, c2, ..., cp, n
DEBUT
attribut = 1            /* Compteur des attributs */
nb_cas_possible = 1/* Nombre de fois qu'attribut_traité doit garder la même valeur */
k = 1                   /* Nombre de points */

Tant que k ≤ n /* Initialisation du tableau P avec le premier attribut c1*/
                Pour i = 1, i ≤ c1 , i = i + 1
                    P[k] = i ; k = k + 1

nb_cas_possible = nb_cas_possible × cattribut
attribut = attribut + 1
aspect_traité = 1
k = 1

Tant que attribut ≤ p/* Traitement des attributs 2 à cp */
Début
                Tant que k ≤ n
                Début
                    Pour i = 1, i ≤ nb_cas_possible, i = i + 1
                    Début
                        P[k] = P[k] + 10^(attribut - 1) × aspect_traité
                        k = k + 1
                    Fin
                    si aspect_traité ≥ cattribut alors aspect_traité = 1
                    sinon aspect_traité = aspect_traité + 1
                Fin

                nb_cas_possible = nb_cas_possible × cattribut
                attribut = attribut + 1
                aspect_traité = 1
                k = 1
Fin
FIN
```

Algorithme 2 : Création_de_P

6.1.3.2 Déroulement de l'algorithme : un exemple

Pour des raisons compréhensibles, nous allons tracer les différentes étapes de l'algorithme codant un espace de petite taille : soit $P = P_1 \times P_2$ où $P_1 = \{1 \leq 2 \leq 3\}$ et $P_2 = \{1 \leq 2\}$.

- Initialisation de P avec le premier attribut:

  Première phase ; le premier attribut croît de 1 à c_1 :

  P[1] = 1, P[2] = 2, P[3] = 3.

  Seconde phase ; le premier attribut croît de 1 à c_1 :

  P[4] = 1, P[5] = 2, P[6] = 3.

- Traitement du second attribut :

  Première phase : l'attribut traité est bloqué à 1 pendant trois itérations (valeur de la variable nb_cas_possibles) et on incrémente les éléments de P de 10×1 : P[1] = 11, P[2] = 12, P[3] = 13.

  Seconde phase : l'attribut est bloqué à 2 (sa seconde valeur) pendant trois itérations également et on incrémente les éléments de P de 10×2 :

  P[4] = 21, P[5] = 22, P[6] = 23.

- Tous les attributs ont été traités et l'algorithme se termine.

6.2 Propriétés

Le codage proposé possède quelques vertus. Il permet, entre autre, de mettre au point des algorithmes relativement simples et d'obtenir facilement une partition minimale en chaînes de *P.* Enfin, le calcul de chaque élément question se fait sans recherche exhautive, ce qui constitue un avantage majeur du codage. Cette particularité sera détaillée au paragraphe 6.3.

6.2.1 Recouvrement de *P*

Proposition 1 : *L'algorithme 2 permet de créer tous les éléments de P en $p \times n$ opérations élémentaires. Les éléments ainsi créés sont des entiers et rangés dans l'ordre croissant des entiers naturels. Chaque élément est créé une et une seule fois.*

Cet algorithme fournit immédiatement les niveaux, rangs et donc le nombre minimum de chaînes de P (ce qui ne figure pas dans l'algorithme écrit).

Preuve :

On observe que, par construction, il y a :

- *p* boucles “tant que” (une par attribut), chacune d’entre elles effectuant *n* opérations ; chaque point de *P* est construit en *p*×*n* étapes ;
- chacune de ces opérations consiste à incrémenter l’élément P[k] par la valeur de l’attribut encours (elle même incrémentée jusqu’à sa valeur maximale ou remise à 1) multiplié par la puissance de 10 correspondante (il y a donc un décalage vers la gauche) ;
- on passe alors à l’attribut suivant ;
- les indices étant parcouru dans l’ordre croissant, les éléments de *P* sont rangés dans l’ordre croissant de IN et sont créés une seule fois.

6.2.2 Recherche des éléments de *P*

L’une des principales caractéristiques de ce codage des éléments de *P* est de permettre d’effectuer des recherches non exhaustives dans cet espace. Ainsi si l’on cherche les éléments qui sont supérieurs (respectivement inférieurs) à l’élément *x* on sait qu’il est inutile de chercher vers les éléments de *P* d’indice inférieur (respectivement supérieur) à celui de l’élément *x* ; ils sont nécessairement inférieurs (respectivement supérieurs) ou incomparables à *x*. On cherchera donc vers les éléments d’indice supérieur (respectivement inférieur).

Mieux, on verra qu’il est possible de les localiser directement en généralisant l’algorithme 2 de création de *P* et en exploitant pleinement le rangement des éléments. Cette localisation s’effectue par calculs sans avoir à effectuer les *p* tests de comparaison attribut par attribut pour chaque élément.

C’est une propriété très intéressante pour appliquer la stratégie de recherche 13.

6.2.3 Partition minimale en chaînes de *P*

On peut observer que, par construction, l'algorithme de création de *P* “colle bout à bout” une série de chaînes de même taille.

La taille de ces chaînes est déterminée par le nombre de valeurs que peut prendre le premier attribut. En effet, lors de la phase d'initialisation de *P*, on répète un certain nombre de fois (n/c_1 fois exactement) une même boucle consistant simplement à placer les valeurs prises par X_1 : 1, 2, ..., c_1. On obtient ainsi n/c_1 chaînes de longueur c_1.

Lors du traitement des attributs suivants on applique un procédé identique. On incrémente les attributs suivants de 1 jusqu'à leurs valeurs maximales et on «conserve» les chaînes créées avec l'attribut X_1. Les chaînes ainsi créées sont couvrantes.

En classant les attributs par ordre décroissant du nombre de valeurs prises, on minimise le nombre de chaînes ainsi créées, d'où le nom de recouvrement *lexicographique*.

Cette couverture et une procédure de recherche dichotomique nous garantissent que :
$cn \leq n/c_1 \log c_1$ **(16)**

Soit par exemple, $P = P_1 \times P_2$ où $P_1 = \{1 \leq 2 \leq 3\}$ et $P_2 = \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4\}$. Cet espace contient $n = 12$ éléments et $n/c_1 = 4$.

L'algorithme 2 crée donc 4 chaînes de longueur 3 (figure 14) :

$$P = [\underline{11\ 12\ 13}\ \underline{21\ 22\ 23}\ \underline{31\ 32\ 33}\ \underline{41\ 42\ 43}] \quad \textbf{(17)}$$

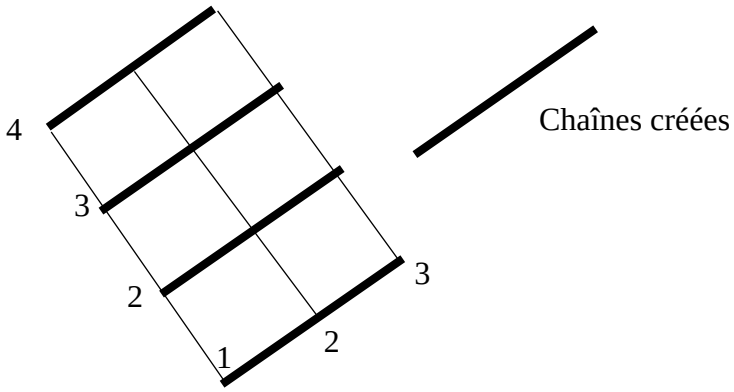


Figure 14. Chaînes créées par l'algorithme 2 pour $P = \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4\} \times \{1 \leq 2 \leq 3\}$

Cependant, cette partition n'est pas minimale. En fait, pour cet espace, trois chaînes suffisent. Une telle partition (qui n'est pas unique) est donnée figure 14.

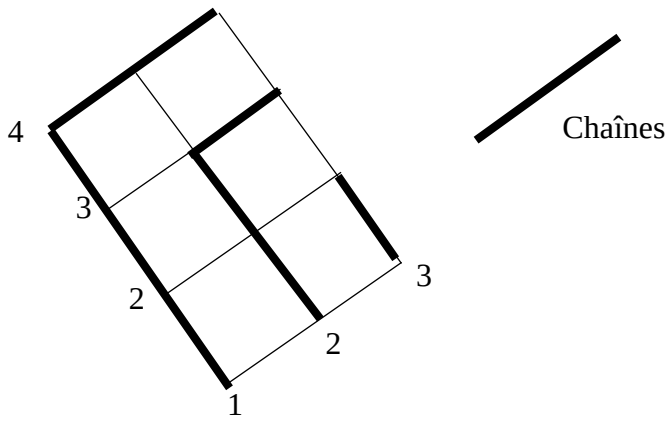


Figure 15. Une partition minimale en chaînes de $P = \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4\} \times \{1 \leq 2 \leq 3\}$

Nous allons voir qu'il est aisé d'obtenir une partition minimale en chaînes de *P* à partir du rangement effectué. Il sera ainsi possible d'utiliser une version itérative, donc efficace, de l'algorithme présenté au paragraphe 6.1.1.

Afin de construire une partition minimale en chaînes de *P*, il suffit d'utiliser uniquement la relation de couverture (*x* est couvert par *y,* si *y* est le plus petit élément supérieur à *x*).

Dans l'algorithme suivant, la fonction *Couvre*(*x*) renvoie le premier élément du tableau R qui couvre *x* et ∅ s'il n'y pas d'élément qui le couvre.

```
Données : P
Sortie : α Chaînes
DEBUT
/* Numéro des chaînes */
i = 1

/* R contient les éléments de P non affectés à une chaîne */
R = P

Tant que R ≠ ∅
Début
/* Les chaînes se construisent à partir du premier élément de R */
                x = R[1]
                i = i + 1
                Chaînes[i] = x

                Tant que x ≠ ∅
                Début
                    x = Couvre (x)
                    Chaînes[i] = Chaînes[i] + x
                Fin

/* Retirer les éléments constituant la chaîne créée de R */
                R = R - Chaînes[i]
Fin
FIN
```

Algorithme 3 : Partition_Minimale_en_Chaînes_de_P

La simplicité de l'algorithme est en grande partie due au rangement des éléments de *P.*

Afin d'en illustrer le fonctionnement, reprenons pour exemple, $P = P_1 \times P_2$ où $P_1 = P_2 = \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4 \leq 5\}$. Nous avons déjà vu que cet espace peut être partitionné à l'aide de 5 chaînes seulement. On peut remarquer que le tableau obtenu, lors de la création de *P,* contient déjà une partition minimale en chaînes de 5 éléments. Cependant, l'algorithme 3 qui, par construction cherche à construire, à chaque étape, des chaînes les plus grandes possibles, nous fournit une autre partition.

Le tableau *P* est [11 12 13 14 15 21 22 23 24 25 31 32 33 34 35 41 42 43 44 45 51 52 53 54 55].

Déroulement de l'algorithme ;

R = P

- Première chaîne construite à partir de R[1] = 11
  Couvre (11) renvoie 12, Couvre (12) renvoie 13, ...
  Chaîne[1] = [11 12 13 14 15 25 35 45 55]
  R = [21 22 23 24 31 32 33 34 41 42 43 44 51 52 53 54]
- Seconde chaîne construite à partir de R[1] = 21
  Chaîne[2] = [21 22 23 24 34 44 54]
  R = [31 32 33 41 42 43 51 52 53]
- Troisième chaîne construite à partir de R[1] = 31
  Chaîne[3] = [31 32 33 43 53]
  R = [41 42 51 52]
- Quatrième chaîne construite à partir de R[1] = 41
  Chaîne[4] = [41 42 52]
  R = [51]
- Cinquième chaîne construite à partir de R[1] = 51
  Couvre (51) renvoie ∅.
  Chaîne[5] = [51]
  R = ∅
  R est vide et l'algorithme se termine.

On peut observer que, à partir de cet algorithme, on est en mesure de donner une partition minimale de n'importe quel produit direct d'ordres totaux (ou presque) mentalement.

Proposition 2 : *L'algorithme 3 fournit une partition minimale en chaînes de P.*

Preuve : on montre que le rangement et le sens de parcours utilisés pour construire les chaînes sont tels que l'on construit des chaînes symétriques. Une partition en chaînes

symétriques est minimale puisque les chaînes symétriques passent toutes par un et seul élément de l'antichaîne de taille maximale.

Soit $(x_1, x_2, ..., x_k)$ la chaîne construite par l'algorithme 3 à une étape quelconque.

On doit vérifier, que :

(i) x_{i+1} couvre x_i pour tout i < k

(ii) $r(x_1) + r(x_k) = r(P)$ où $r(P)$ est le rang maximal dans P c'est-à-dire la hauteur h de P.

Pour toutes les chaînes créées par l'algorithme la condition (i) est vérifiée par construction. En effet, un élément candidat de R n'est ajouté à la fin de la chaîne en cours de construction que s'il couvre le dernier élément de cette chaîne.

Montrons que la condition (ii) est vérifiée, à savoir, $r(x_1) + r(x_k) = r(P)$. Pour cela, on utilise le fait qu'un produit de chaînes est symétrique (Griggs, 1984).

P étant symétrique, les niveaux P_k de cardinaux n_k de P sont tels que,

$$n_0 = n_h \leq n_1 = n_{h-1} \leq ... \leq n_k = n_{h-k} \leq ...$$

On observe ainsi que, pour chaque chaîne construite,

$$\text{si } x_1 \in P_k \text{ alors } x_k \in P_{h-k}$$

$$\text{d'où } r(x_1) + r(x_k) = k + h - k = h = r(P)$$

La somme $r(x_1) + r(x_k)$ reste donc constante et égale à $r(P)$. La condition (ii) est vérifiée pour toutes les chaînes créées.

On peut conclure que la partition de P est constituée de chaînes symétriques et donc qu'elle est de taille minimale.

6.2.4 Traiter les monstres cognitifs

Lorsque nous éliminons certains monstres cognitifs, notre problème revient à chercher une antichaîne dans un ensemble partiellement ordonné P ne possédant pas la structure particulière d'un produit direct d'ordre totaux. Nous rappelons que nous ne cherchons alors pas à calculer la dimension de P.

Le traitement des monstres cognitifs ne pose aucune difficulté. Cela ne change en rien l'algorithme de recherche de l'antichaîne puisque les éléments de P sont traités en

extension. En effet, à chaque étape nous vérifions que les éléments sont non classés. Il suffit donc d'utiliser une catégorie fictive et transparente pour l'utilisateur précisant qu'un élément est un monstre cognitif. Un monstre cognitif ne fait donc l'objet d'aucun traitement algorithmique particulier. Celui-ci sera écarté de toutes les recherches comme s'il avait été affecté à l'une ou l'autre des deux classes par le décideur. On diminue en même temps les temps de calculs mais aussi le nombre d'objets proposés pour un coût nul.

Les monstres cognitifs peuvent être décrits en compréhension et/ou en extension dans le logiciel APACHE.

6.2.5 La modification de l'espace des possibles en cours d'extraction

Les commentaires spontanément émis par les décideurs lors de la phase d'acquisition peuvent révéler des insuffisances dans la description du monde ou encore des perturbations du comportement du décideur dues à la présence de monstres cognitifs. Trois possibilités nous sont offertes pour traiter ce type de problème : on continue malgré tout, on stoppe l'acquisition et on recommence l'ensemble du processus, ou bien on modifie l'ensemble des possibles pendant la phase d'acquisition

La modification de l'ensemble des possibles pendant la phase d'acquisition peut se faire de trois façons. On peut ajouter ou retirer un ou plusieurs attributs, modifier les valeurs prises par les attributs ou encore supprimer de l'ensemble des possibles les monstres cognitifs.

Toutes ces modifications ne posent pas de problème algorithmique. Cependant, il reste à étudier la pertinence des règles courantes connues avant la modification. Dans quelle mesure pouvons-nous les conserver ? La réponse à cette question mériterait donc d'être étudiée pour savoir si l'on doit considérer uniquement des ensembles d'actions stables.

6.3 La procédure de choix de l'élément question

Nous allons maintenant étudier la façon dont l'élément-question x_i est calculé à chaque étape à partir du critère 13.

La procédure mise au point possède deux caractéristiques :

- d'une part, il n'y a pas de recherche exhaustive dans l'ensemble des éléments non classés P_{i-1} ; nous verrons que nous testons uniquement les éléments comparables à x_i.
- d'autre part, elle permet de faire l'économie des *p* tests attribut par attribut pour comparer x_i aux autres éléments.

Nous allons détailler cette procédure pour le calcul de sup(x_i) uniquement. Le cas de inf(x_i) en découle trivialement.

6.3.1 Principes

La procédure *choisir*(*x*) repose sur trois étapes élémentaires :

1. Calcul du nombre maximal *nbsup* d'éléments supérieurs à x_i, c'est-à-dire $|\uparrow x_i,|$,
2. Génération de ces éléments dans un tableau *tab_sup* ;
   tab_sup[x_i] = $\uparrow x_i$,
3. Dénombrement des éléments de *tab_sup* non classés ;
   calcul de $|\{y \in P_i$ et $y \in \uparrow x_i,\}|$.

Le calcul du nombre maximal de points supérieurs à $x_i = (x_{i1}, ..., x_{ip})$ se fait grâce à la formule 18 en *p* opérations élémentaires.

$$nbsup(x_i) = \prod_{k=1}^{p} (c_k + 1) - x_{ik} \qquad \textbf{(18)}$$

La génération des *nbsup* éléments dans *tab_sup* se fait en $p \times nbsup$ opérations en généralisant l'algorithme de création de l'espace *P.* Ce dernier crée en fait les *n* entiers supérieurs à 11 ...1 et inférieurs à $c_p c_{p-1} .... c_1$, c'est-à-dire l'intervalle [11 ...1, $c_p c_{p-1} .... c_1$]. Il est donc aisé de l'instancier pour n'importe quel élément.

Ainsi, seuls les comparables et, dans le cas présent, seuls les éléments supérieurs à x_i seront évalués ; on obtient alors trivialement *sup*(x_i).

Compter les éléments supérieurs à x_i se réalise en *nbsup* tests. Il suffit en effet de vérifier que *tab_sup*[j] est non classé, pour j variant de 1 à *nbsup*.

6.3.2 Complexité

Il n'est pas nécessaire de développer le calcul de la complexité de cette recherche puisque celle-ci se fait de façon identique à celle de la complexité *ct* théorique (formule 14 page 82).

On peut cependant observer les gains obtenus :

- Les éléments supérieurs (ou inférieurs) à l'élément courant (non classé) sont calculés et non recherchés.

  Ainsi, même si le nombre d'opérations à réaliser était identique, il est quand même préférable de réaliser des opérations arithmétiques (calculs) que des tests (recherches). Cela est moins coûteux en temps de calculs.

- Il n'y a pas de recherche exhaustive des candidats ce qui, pour un problème combinatoire, est un avantage certain.

  Nous explorons *nbsup* éléments uniquement (ceux qui ont une chance d'être dans P_{i-1} et supérieurs à x_i) au lieu de *n* (nombre d'éléments de *P*). Dans la plupart des cas, *nbsup* est très largement inférieur à *n*.

  Par exemple, dans le produit direct composé de 5 chaînes à 5 valeurs, l'élément 33333 est dominé par 243 autres éléments seulement. Ce chiffre est à comparer aux 3125 éléments de l'espace correspondant.

- Nous économisons les *p* tests nécessaires à la comparaison de deux éléments.

  En effet le tableau *tab_sup* contient, par construction, uniquement les éléments dominants x_i.

- La localisation d'un élément quelconque de *P* se fait également par calcul direct en *p* opérations élémentaires (sans recherche).

  Il suffit, pour cela, d'appliquer une fonction inverse de la formule 18 codant les éléments dans l'ensemble des entiers naturels. Connaissant un élément *x* de *P*, on obtient alors, par cette fonction, son indice dans le tableau.

  On évalue le gain obtenu en comparant (en étant très optimiste puisque *P* n'est pas totalement ordonné) les *p* opérations effectuées aux *log n* tests nécessaires (en moyenne) pour rechercher un élément quelconque dans un ensemble totalement ordonné de longueur *n*.

  Ainsi, et pour reprendre l'exemple précédent, avec 3125 éléments, le rapport est supérieur à 2.

Le tableau suivant contient des résulats de simulations effectuées sur un Pentium 90. L'antichaîne recherchée est l'antichaîne maximale. Pour des raisons de commodités d'écriture, le produit direct d'ordres totaux $\{1 \leq 2 \leq 3 \ ... \leq c_1\} \times .... \times \{1 \leq 2 \ ... \leq c_p\}$ est noté $c_1 \times .... \times c_p$ ou c^p si tous les c_i sont égaux.

	n	cn exacte	temps (s)	temps moyen par question (s)
4^2	16	7	0	0
5^2	25	10	0	0
3^3	27	13	0	0
4^3	64	24	1	0.04
5^3	125	37	1	0.02
$5 \times 3 \times 3 \times 4$	180	63	2	0.03
$5 \times 3 \times 4 \times 4$	240	77	3	0.04
4^4	256	84	5	0.05
5^4	625	165	33	0.2
4^5	1024	310	147	0.003
5^5	3125	746	2011	2.7
2^5	32	20	0	0
2^6	64	35	0	0
2^7	128	70	3	0.04
2^8	256	126	13	0.10

Tableau 6 : Temps de calcul

Les quelques exemples du tableau 6 nous montrent que les temps de calcul par question sont négligeables et nous rappellent bien que c'est le nombre de questions qui pose un problème (même si dans ces exemples nous nous sommes placés dans le pire des cas).

6.4 Limites de ce codage

Le codage proposé possède comme nous l'avons vu des propriétés intéressantes. En particulier les algorithmes développés sont relativement simples. Cependant, ce codage comporte deux limites. Ces deux limites sont déterminées par l'utilisation des entiers, de la base 10 et par la représentation des nombres en machine.

Ainsi, les limites actuelles sont déterminées par toutes les combinaisons *nombre d'attributs*×*valeurs prises par ces attributs* telles que le codage des objets n'entraîne pas la nécessité d'utiliser un entier supérieur à 2147483647[1].

Remarquons que vouloir dix attributs n'aurait pas de sens car ceux-ci seraient alors soumis aux contraintes suivantes : 2 valeurs au plus pour le dixième attribut, une seule pour le neuvième, ..., sept pour le premier. Le neuvième attribut deviendrait donc inutile : il faut au moins deux valeurs pour lui donner une signification (présence/abscence, 0/1, grand/petit, ...).

Ainsi, bien que cette limitation peut être aisément franchie (en utilisant 0 pour coder la première valeur de chaque attribut ; c'est 1 qui est actuellement utilisé), nous sommes donc amené à considérer les limitations suivantes :

- 8 attributs ;
- 8 valeurs par attributs.

Cependant, nous avons bien montré que ces limites théoriques sont loin d'être atteintes dans la pratique et en particulier pour les problèmes concrets que nous abordons.

6.5 APACHE et l'aide à la décision

Nous restituons ici, les caractéristiques de l'utilisation d'APACHE en aide à la décision multi-attributs (voir le paragraphe sur la décision page 26).

Nous ne nous préocuppons pas des ensembles *E* (états de la nature) et *C* (conséquences) dont les caractéristiques ne nous sont pas accessibles. Les propriétés de l'ensemble *A* des actions possibles que nous construisons méritent, quant à elles, d'être précisées.

1. En prenant 2147483647 pour plus grand entier représentable en machine

L'ensemble *A* :

- est défini à partir d'attributs ordinaux (non nécessairement commensurables) correspondant aux échelles d'attractivités du décideur ;
- possède donc une structure d'ordre partiel ;
- est traité en extension par l'algorithme d'acquisition ; chacun des éléments de *A* étant unique ;
- est présenté aux décideurs en compréhension (nombre d'attributs, libellés des attributs, nombre d'aspects et libellés de chacun des aspects) ;
- peut être cependant traité en compréhension, en particulier en utilisant la programmation logique sous contraintes ;
- est stable dans la mesure où nous n'ajoutons (ni ne retirons) pas de nouveaux attributs en cours d'acquisition ; de même nous ne modifions pas les domaines de valeurs des attributs ;
- les résultats obtenus peuvent contenir de 0 à α éléments de A ; ceux-ci possèdent un fort pouvoir explicatif, les règles produites sont de nature symbolique et sont directement compréhensibles et utilisables par les individus .

L'utilisation d'APACHE suppose de disposer d'un décideur :

- suffisament expérimenté pour la tâche concernée (essentiellement la sélection/rejet) afin de garantir la stabilité des règles apprises (bien que cela puisse survenir, on suppose qu'il n'y a pas de phénomène d'apprentissage de la part du décideur pendant l'acquisition) ;
- tel que sa relation de préférence est transitive, sa relation d'incomparabilité est vide (on force la réponse).

On doit observer que l'on ne se préoccupe pas de l'indifférence entre deux actions (une seule action est présenté à la fois) et que l'on peut aisément traiter les cas où le décideur ne prend pas de décision (relation d'incomparabilité non vide). Les actions jugées incomparables par APACHE sont les éléments d'une antichaîne, donc en particulier ceux de l'antichaîne calculée. On ne cherche pas, du moins directement, à savoir si le décideur possède ou non des préférences entre ces actions.

Enfin et pour reprendre le cadre d'étude proposé par Simon (1997), nous nous préoccupons essentiellement de la phase de *Choix* (phase acquisition des stratégies de

décision au moment où elles sont prises). Les autres phases concernent la conception du monde des possibles *A* et l'évaluation des règles apprises.

6.6 Conclusions

Nous étions confrontés à un problème d'optimisation combinatoire fortement contraint (il n'était pas possible de faire travailler en parallèle plusieurs machines, les intervenants sont peu disponibles ...).

L'étude réalisée a permis de mettre au point des algorithmes efficaces pour les complexités temporelles et spatiales. Ils permettent en particulier d'éviter une recherche exhaustive.

Cette même étude montre aussi que cette approche est limitée par l'utilisation de beaucoup d'attributs. Nous devons cependant remarquer qu'en étude marketing, la multiplication des variables rend les résultats coûteux mais aussi complexes à analyser et à comparer. Les limites du codage proposé (8 attributs) sont donc plus pratiques qu'algorithmiques.

Enfin, signalons l'intérêt d'une étude de notre problème via la programmation logique avec contraintes. On peut en effet aisément observer que la recherche d'une antichaîne dans un ensemble ordonné peut s'exprimer à l'aide de quelques contraintes sur les éléments de l'ensemble. Un autre développement intéressant à réaliser serait la possibilité de traiter les variables continues.

7 Acquisition avec APACHE

APACHE est une implémentation informatique opérationnelle du modèle de l'HBM. Plusieurs versions ont été développées sous différentes plateformes. La plus conviviale a été écrite en C sous OS2 à l'aide du générateur d'interface graphique NSDK. Elle possède ainsi un «look windows».

Il ne s'agit pas ici de donner un guide utilisateur du logiciel, nous allons simplement donner brièvement les principales fonctions réalisées. APACHE possède :

- Un éditeur de description du monde des possibles (nombre d'attributs, nombre de valeurs par attribut, noms des attributs, valeurs des attributs, description des monstres cognitifs, catégories) ;

- Un écran réalisant l'acquisition proprement dite (permet aussi de faire les tests en généralisation) ;
- Un éditeur des règles apprises.

Une séance d'acquisition via le modèle se fait essentiellement à l'aide de trois grandes phases que nous allons détailler ci-dessous.

7.1 Le modèle du monde *O*

Il s'agit dans cette phase de décrire de façon pertinente le monde sur lequel s'exerce l'expertise et la tâche réalisée. Elle nécessite d'une part une bonne connaissance du modèle de l'HBM et d'autre part une expertise du domaine. De la qualité du travail fourni dépendra la qualité des stratégies apprises et le temps nécessaire à les apprendre.

Elle est principalement réalisée de deux façons : par des entretiens avec les experts et/ou par une étude du domaine à partir de documents.

Elle doit permettre de définir :

- Les attributs pertinents, en essayant d'en utiliser le moins possible ; quatre à cinq attributs semble être un bon compromis entre la finesse de description du monde et la taille du questionnaire qui en découlera ;
- Les échelles d'attractivité, c'est-à-dire les valeurs que peut prendre chaque attribut et l'ordre sur ces valeurs ; il faut également tenter d'en utiliser le moins possible pour des raisons de complexité mais aussi parce qu'on est pas certain que le sujet utilise de nombreuses valeurs par attribut ; encore une fois, une bonne fourchette est de trois à cinq valeurs ;
- La tâche : sélection/rejet ou plus de deux classes ;
- Les monstres cognitifs et leur éventuel élimination.

APACHE est alors en mesure de construire l'ensemble des possibles *P* et est prêt pour l'acquisition.

7.2 L'acquisition par apprentissage

Afin d'éviter des erreurs, il est souhaitable de réaliser un essai à blanc pour familiariser l'individu avec l'outil et la tâche qui lui est demandée. Pour cela on peut dérouler deux ou trois questions. Cette étape peut être importante car, s'il se produit des

erreurs, le questionnaire (qui est calculé dynamiquement) en est affecté ainsi que les stratégies apprises.

Ceci étant dit, la stratégie 13 qui détermine les questions est telle que les premiers éléments proposés se trouvent au «centre» de l'ensemble d'apprentissage. Nous avons de bonnes raisons de penser que ceux-ci ne feront pas partie de l'antichaîne représentant les stratégies du décideur. Ainsi, bien que nous ne pouvons pas être affirmatif, les erreurs commises au début du questionnaire peuvent être sans conséquence. Si la réalisation de cet essai à blanc ne pose pas de difficulté (en particulier parce que cela rajoute quelques questions) il vaut mieux la faire quand même. Ce qui n'est pas le cas pour un système d'aide au conseil en matière d'épargne utilisé *on-line* en agence bancaire.

Les objets sont présentés un à un au sujet. C'est la phase d'acquisition proprement dite. Elle se déroule sans verbalisation. Afin de ne pas perturber l'individu, on veillera, en particulier, à ne pas lui demander de se justifier. On laisse le sujet agir à sa guise. Le temps qu'il met à répondre est d'ailleurs mesuré à son insu. Cette information peut être importante par la suite et permettra entre autre de valider le principe de décidabilité du modèle HBM.

Deux problèmes majeurs peuvent alors apparaître :

- Le questionnaire s'avère trop long.

  Si le décideur est disponible, on peut interrompre la phase d'acquisition et la reprendre plus tard. Ce qui n'est pas sans danger, car celui-ci peut alors être dans un état émotionnel différent ou bien avoir modifié ses stratégies.

- Le modèle est violé par les réponses du décideur.

  On pourra alors soit reprendre l'étape de définition du monde, soit forçer le décideur à corriger une des réponses entraînant une contradiction par rapport au modèle. On rappelle que dans le cas de la sélection/rejet et grâce à l'utilisation de la stratégie 13 le modèle ne peut pas être mis en contradiction. Dans le cas de plus de deux classes on peut choisir de ne présenter que les réponses ne mettant pas en défaut le modèle.

7.3 La vérification des stratégies apprises

Il s'agit, dans cette étape, de vérifier la qualité des règles apprises afin de les valider. Cette étape peut ou ne peut pas être réalisée suivant le type de l'application. Elle demande une disponibilité variable de la part du décideur.

Plusieurs démarches sont alors possibles :

- On représente la totalité du questionnaire et on note les éventuelles contradictions ;
- On étudie plus en détail les objets qui ont été difficiles à classer.

  L'opérateur peut repérer ces derniers à partir des commentaires spontanément émis par le décideur, mais aussi à partir des temps de réponse. On considère en effet que plus ceux-ci sont longs plus la décision a été délicate à prendre ;
- On étudie les performances des règles apprises à partir d'un nouveau questionnaire (test en généralisation) ;
- Enfin on évalue les règles en demandant au sujet de les commenter à sa guise. Il peut alors rejeter certaines règles ou en affiner d'autres.

Le chapitre qui suit présente une application d'APACHE dans le domaine bancaire. Il s'agit d'apprendre les règles de décision des individus face à une offre d'épargne.

Chapitre 3 - Application au domaine bancaire

Le système APACHE est générique. Nous pouvons l'utiliser pour des problèmes divers à condition de disposer de domaines suffisamment bien structurés. Dans ce chapitre, nous allons présenter une utilisation dans le domaine bancaire et plus particulièrement dans celui de l'épargne.

Il s'agit de capter les règles de décision des individus face à une offre d'épargne afin de pouvoir offrir des conseils et services très personnalisés.

Les résultats d'expériences menées avec une quinzaine d'épargnants sont présentés et discutés. Aucun critère particulier, sinon leur disponibilité, n'a servi à les choisir. Ils ne sont nullement représentatifs d'une population d'épargnants. Etablir un portrait moyen n'est d'ailleurs pas le but de notre étude. Deux d'entres eux ont accepté d'être «suivis» pendant plusieurs mois. Ce sont les résultats obtenus avec ces deux personnes et avec un conseiller qui seront présentés en détail.

Enfin, on pourra envisager brièvement toutes sortes de développements pour en faire un véritable système interactif d'aide à la décision.

L'utilisation d'APACHE, dans le domaine du crédit et de l'assurance sera également évoquée. Il s'agira d'acquérir l'expertise des conseillers et de mesurer le risque client.

1 Application au domaine de l'épargne

Une application immédiate d'APACHE dans le domaine bancaire est l'acquisition des règles de décision des individus en matière d'épargne[1].

Nous disposons d'objets bien structurés dont les attributs et les valeurs sont assez aisément identifiables. Le comportement des individus en matière d'épargne n'est pas aléatoire et ceux-ci peuvent être considérés comme des *sujets-expérimentés* :

- les individus concernés sont déjà épargnants ou potentiellement intéressés par l'épargne et possèdent donc une «mini-expertise» du domaine ;
- ils comprennent la signification de la plupart des termes servant à décrire les produits d'épargne ;
- ils se sentent fortement impliqués par les décisions prises : c'est leur argent qui est placé ; les décisions ne sont pas prises à la légère et reflètent leur état courant vis à vis de l'épargne.

Nous pouvons donc supposer que les stratégies mises en oeuvre lors du choix des produits d'épargne sont stables. Ainsi, avec la "bonne structure" du monde de l'épargne, on peut envisager que l'utilisation d'APACHE soit pertinente.

De plus, le choix d'un ou de plusieurs placements pose des problèmes décisionnels complexes, tant pour l'épargnant que pour le conseiller de la banque. Afin de pouvoir proposer des produits adaptés à son client, le banquier doit d'abord déterminer avec précision ce que ce dernier veut et a besoin. Le client est, quant à lui, très souvent incapable d'exprimer lui-même ses besoins et aimerait bien concilier des propriétés contradictoires telles la disponibilité de son épargne, une fiscalité avantageuse et un rendement élevé.

L'intérêt d'un tel système est évident pour le banquier. Cela constituera le module de base d'un système interactif d'aide à la décision ou d'aide à la vente mis à la disposition des conseillers du réseau de la banque. Cette utilisation *on-line* en agence avec le client est la plus contrainte. C'est une situation dans laquelle la disponibilité du

1. Nous décrivons en annexe 5, page 170, le monde de l'épargne et sa complexité, les produits, les attributs les caractérisant, les termes, la gestion de patrimoine ...

décideur et des intervenants est quasi-nulle. Les contraintes concernent l'ergonomie du logiciel, les temps de calcul et la taille du questionnaire. Son utilisation en étude marketing, beaucoup moins contrainte, est évidemment envisageable.

Une précision quant à la stabilité des stratégies s'impose. Celles-ci peuvent évidemment varier dans le temps. C'est le cas lorsque la situation des épargnants change. Une fois les modifications intégrées, les épargnants adaptent leurs stratégies afin d'«optimiser» leur épargne. Ces modifications sont variées et nombreuses : évolution de la structure familiale, variation des revenus, baisse ou hausse des taux, nouvelle fiscalité, etc.

Les établissements financiers ont beaucoup travaillé à l'amélioration des techniques de segmentation afin d'offrir des produits et conseils de plus en plus personnalisés. La tâche est difficile et les techniques actuelles restent limitées. Elles sont toujours en «retard» sur la situation exacte du client puisqu'elles reposent sur des longs traitements statistiques qui ne sont exécutés que mensuellement voire trimestriellement. Et, bien que de plus en plus fines, elles classent des millions d'individus en 6 ou 7 groupes au maximum. Il existe d'ailleurs un paradoxe dans cette approche. Alors que tout le monde reconnaît la nécessité de personnaliser l'approche du client individu par individu et donc d'affiner de plus en plus les segmentations réalisées, on se heurte aux propres limites cognitives des conseillers. Ainsi, si l'on peut augmenter le nombre de classes discriminant les clients, les conseillers ne peuvent en utiliser de façon efficace que 6 ou 7. Enfin, elles sont en général d'un faible pouvoir explicatif. Elles offrent cependant l'avantage de permettre une classification automatique hors agence sans prendre de temps au dialogue commercial entre le conseiller et le client. L'approche proposée n'est d'ailleurs pas une concurrente des méthodes dites classiques. Elle peut les enrichir.

L'approche que nous proposons ici permet de traiter les problèmes précédents. Elle est *temps réel* et détermine les stratégies de l'épargnant en tant qu'individu et non par rapport à un profil moyen. En contrepartie, elle nécessite quelques minutes consacrées à la phase d'acquisition des règles de décision. Les expériences menées avec des épargnants dans le cadre de ce travail montrent la pertinence de l'approche. Si cette réussite est une condition nécessaire de succès, elle est loin d'être suffisante. Bien que les expériences menées soient encourageantes, l'approbation des conseillers et des clients n'est pas encore totalement gagnée. On introduit la machine dans le dialogue. On change même certains flux de communication. Habituellement, seul le conseiller se sert de la

machine. Ici, on demande une participation active de la part de l'épargnant à travers les échanges avec le système.

1.1 Le modèle du monde de l'épargne

On souhaitait mener les expériences dans les mêmes conditions qu'une utilisation potentiel d'APACHE en agence bancaire. Ainsi, un important travail sur la modélisation du domaine a été réalisé. Ce travail avait pour objectif principal de minimiser la taille de l'ensemble des possibles. On rappelle que cet ensemble est composé de toutes les combinaisons attributs $\times$ valeurs possibles, moins les combinaisons correspondant aux monstres cognitifs.

1.1.1 Taille maximale du monde des possibles

L'objectif à atteindre était de décrire le monde de l'épargne à partir de quatre attributs seulement, cinq au maximum.

Ainsi si chacun des quatre attributs prend cinq valeurs, nous disposerons d'un espace *P* contenant 625 éléments. La hauteur de *P* étant égale à 16 et sa largeur à 85, *cn_max* vaut 340. La recherche de l'antichaîne maximale par simulation se fait en 165 questions (c'est la borne minimale théorique) en moins de 30 secondes.

Ainsi, si les temps de calculs sont négligeables (non perceptibles par les sujets) le nombre de questions à poser est trop élevée. L'utilisation de quatre attributs à cinq valeurs conduit donc à un espace dont la taille et la structure sont à la limite de ce que nous pouvons tolérer pour cette application très contrainte.

Nous avons donc travaillé à la réduction du nombre de valeurs possibles par attribut. L'utilisation de quatre attribut est un bon compromis entre durée de l'acquisition et qualité de la description du monde de l'épargne.

1.1.2 Le monde des possibles utilisé

De nombreuses consultations de professionnels (responsable marketing, conseillers, responsable de la gestion de patrimoine) complétées par des lectures d'articles spécialisés, de petites expériences menées avec des épargnants (voir l'annexe 2

page 163) et des visites en agence pour assister à des entretiens conseils ont permis finalement de choisir les attributs et valeurs suivants :

- La *Disponibilité* notée D (5 valeurs) :
  sous 8 ans minimum [1],
  sous 5 ans minimum [2],
  sous 2 ans minimum [3],
  sous 3 mois minimum [4],
  immédiate [5].

Ces 5 valeurs correspondent aux grandes échéances des produits d'épargne pour des raisons fiscales (durée contractuelle) ou tout simplement pour obtenir de bonnes performances (on parle alors de durée conseillée ; par rapport au risque ...). L'attribut *disponibilité* est supposé naturellement ordonné dans l'ordre décroissant du temps.

- Le *Taux minimum garanti* noté T (3 valeurs) :
  aucun [1],
  4.5% [2],
  6% [3].

Ces 3 valeurs correspondent également à ce qui était proposé, il y a peu de temps, en matière de taux garantis. Une quatrième valeur (7/8 % environ) aurait pu être utilisée mais celle-ci aurait créé de nombreux *monstres cognitifs* et augmenté considérablement la taille de *P.*

L'ordre sur l'attribut *taux minimum garanti* est supposé être l'ordre croissant des taux. Cependant, pour des raisons techniques, il arrive bien souvent que les produits d'épargne garantissant un taux minimum élevé proposent au final des performances moindres que les produits sans taux garantis (quand tout se passe bien !). Il se peut donc que cet ordre ne corresponde pas à l'échelle d'attractivité d'un véritable expert de l'épargne recherchant de très bonnes performances finales. Ainsi, si ce type de personne accepte le risque, l'ordre sur cet attribut peut être complètement inversé.

Enfin, notons que les valeurs de cet attribut sont très variables. Aujourd'hui, il serait plus judicieux d'utiliser *aucun*, 3.5% et 5%.

- Le *Rendement escompté* noté R (3 valeurs) :
  assez bon [1],
  bon [2],

très bon [3].

L'attribut *rendement escompté* est celui qui laisse le plus de place à la subjectivité. Il est cependant le plus facile à ordonner à condition que les sujets n'infèrent pas trop la notion de risque sous-jacente. Trois valeurs suffisent pour rendre compte de ce qui peut se passer en terme de gain final. L'utilisation de plus de valeurs aurait certainement créé des difficultés de compréhension de la part des sujets. Pourtant, une valeur *aucun* manque. En effet, de nombreux produits proposent un taux garanti et rien de plus. Conjuguée avec un taux garanti nul, elle aurait créé de nombreux produits sans aucune existence réelle. Elle augmenterait de plus la taille de *P.* Il a donc été décidé de ne pas l'utiliser, en faisant l'hypothèse que les sujets seraient suffisamment «souples» pour considérer que la valeur *assez bon* pouvait aussi représenter *aucun rendement escompté.*

- La *Fiscalité* notée F (4 valeurs) :
  prélèvement forfaitaire de 40% [1],
  déclaration des plus values dans les revenus [2],
  prélèvement forfaitaire de 20% [3],
  net d'impôt [4].

Il n'a pas été difficile de choisir les valeurs prises par l'attribut *fiscalité*. Elles correspondent au 4 grands types de prélèvement fiscaux pratiqués sur l'épargne. La *fiscalité* est aisée à ordonner. En effet, il semble que le comportement de l'*homo sapiens* en matière de prélèvements fiscaux est une constante ; moins il paie d'impôt, plus il est heureux. Il faut tout de même remarquer, qu'il existe des épargnants qui, pour des raisons que l'on ne cherchera pas à connaître, préfèrent un prélèvement forfaitaire supérieur à leur taux d'imposition.

Cependant, la fiscalité est un cas particulier. Contrairement aux autres attributs que l'on suppose invariants, en première approximation, pour l'ensemble de nos sujets, la fiscalité nécessite la connaissance du niveau d'imposition sur les revenus de l'épargnant. D'un sujet à l'autre, l'ordre sur cet attribut peut changer.

Les attributs retenus sont généralement toujours «présents» dans la description de la plupart des produits d'épargne. Ils constituent un sous-groupe important d'attributs qu'il faut considérer et intéressent donc la majorité des épargnants.

L'espace des possibles *P* ainsi constitué est formé par 180 produits. Il permet de couvrir la plupart des produits d'épargne de «base». Il contient évidemment quelques

monstres cognitifs. Ceux-ci n'ont pas été systématiquement éliminés afin de voir s'ils allaient être reconnus.

Le nombre maximal théorique de questions *cn_max* est 93 ($h = 11$ et $\alpha = 31$) et la recherche de l'antichaîne de taille maximale se fait en 63 questions. Cela correspond respectivement à 51 % et 35 % de l'espace *P*.

La tâche est la *sélection/rejet*. La réponse est forcée et en cas d'hésitation le sujet doit trancher.

1.2 Protocole expérimental

1.2.1 Présentation de l'expérience

Les produits d'épargne étaient présentés au sujet en compréhension. Le sujet face à l'écran de l'ordinateur pouvait lire le nom et les valeurs de chacun des attributs et on lui présentait l'expérience de la façon suivante :

> «Nous allons vous présenter une série de produits d'épargne décrits par les attributs et valeurs suivants *: Disponibilité* (sous 8 ans minimum, sous 5 ans minimum, sous 2 ans minimum, sous 3 mois minimum, immédiate), *Taux minimum garanti* (aucun, 4.5%, 6%), *Rendement escompté* (assez bon, bon, très bon) et *Fiscalité* (prélèvement forfaitaire de 40%, déclaration des plus values dans les revenus, prélèvement forfaitaire de 20%, net d'impôt). Il vous est demandé de dire si vous acceptez ou refusez le produit proposé.»

On lui demande alors s'il désire des précisions.

1.2.2 Instructions données

Des précisions supplémentaires données aux sujets au début de l'expérience permettent de rendre réels les produits les plus mauvais mais aussi quelques produits trop bons. Ces consignes permettent d'une part de se rapprocher de la réalité du monde de l'épargne et d'autre part d'éviter des problèmes de compréhension. Ces précisions concernent les attributs et leurs valeurs.

- *Fiscalité*

Le sens de l'attribut fiscalité ne pose pas de problème. C'est son application qui nécessite deux précisions.

Pour les produits du type :

Disponibilité = ***[1]
Taux minimum garanti = ***
Rendement escompté = ***
Fiscalité = net d'impôt

La fiscalité est nulle quoi qu'il arrive. C'est-à-dire que l'on peut rompre le contrat dans le cas où l'attribut *disponibilité* représente une durée contractuelle et aussi que l'on exclut la notion de seuil de cession qui concerne les produits financiers.

Les produits ayant ce type de profil peuvent s'avérer être des *monstres cognitifs* car trop bons.

Pour les produits du type :

Disponibilité = ***
Taux minimum garanti = ***
Rendement escompté = ***
Fiscalité = prélèvement forfaitaire de 40%
ou déclaration des plus values dans les revenus
ou prélèvement forfaitaire de 20%

La fiscalité, non nulle cette fois ci, ne s'applique que dans deux cas précis : soit si on ne respecte pas la durée du contrat (attribut *disponibilité*) soit si on dépasse un certain seuil de cession en vigueur.

Cette consigne permet de rendre réels beaucoup de produits qui autrement n'auraient pas beaucoup d'intérêt. Elle rend également compte de la réalité avec le système de *carotte fiscale*, qui veut que l'épargne longue soit fiscalement avantagée.

- *Rendement escompté*

On précise que par r*endement escompté* il faut comprendre «la performance que l'on peut obtenir, en fonction de l'avis d'experts, des performances passées et de la situation actuelle du marché».

1. *** est un filtre et indique que toutes les valeurs de l'attribut correspondant peuvent être prises.

- *Taux minimum garanti*

On indique aux sujets que si ce taux n'est pas nul alors il est strictement garanti par l'organisme auquel on confie son épargne quelles que soient les performances futures.

- *Disponibilité*

La *disponibilité* peut représenter deux durées. C'est la durée normale du contrat dans le cas d'un produit contractuel ou la durée conseillée sinon (sans plus de précision).

1.2.3 Déroulement de l'expérience

Après présentation des attributs et de leurs valeurs ainsi que des consignes précédentes, la phase d'acquisition peut commencer.

Les expériences ont été généralement réalisées en 3 ou 4 phases ;

- Phase 1 : acquisition des règles avec APACHE ;
- Phase 2 : vérifications et saisie des commentaires des individus ;
- Phase 3 : test en généralisation ;
- Phase 4 : vérifications des règles calculées.

Les phases 1 et 2 étaient séparées par une période de repos de 15 minutes environ.

La phase 1 peut être précédée d'une période de familiarisation du sujet avec l'outil informatique et avec la tâche qui lui est demandé.

Deux versions du logiciel APACHE ont servi pour la phase 1.

Une première version, en mode texte, pour laquelle les réponses étaient saisies au clavier par l'opérateur. On mesure les temps de réponses à l'insu des sujets. Il était donc important d'éviter que les sujets, non habitués à manipuler un ordinateur, commettent des erreurs de frappe ou alors cherchent les touches.

L'autre version, beaucoup plus conviviale, au «look windows» (figure 16) était manipulée directement par les sujets. Ils donnaient alors leurs réponses, en cliquant sur le bouton réponse correspondant, à l'aide de la souris.

Les sujets étaient libre de poser les questions qu'ils voulaient en cas de difficulté mais aussi d'émettre des commentaires. Dans la mesure du possible, ces derniers étaient notés par l'opérateur. Il n'y a pas eu d'enregistrement.

La phase 2 consiste à reposer le questionnaire issu de la première étape. On note ainsi les éventuelles réponses différentes entre les deux phases ; ce qu'on appellera «fautes». On demande alors au sujet s'il désire commenter ses réponses et de les justifier. Il reste libre de le faire.

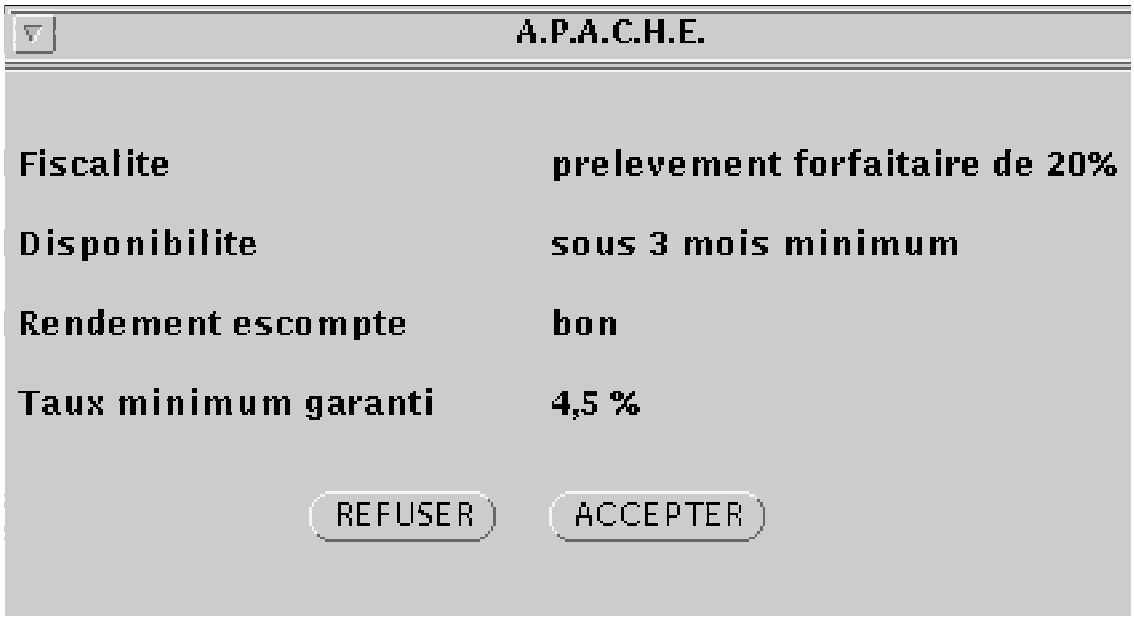


Figure 16. Ecran manipulé par les sujets

Lors de la phase 3, on présente un autre questionnaire (46 points étaient tirés au hasard soit 25 % de l'espace *P*) une fois les stratégies apprises. Le programme cherche donc à deviner les réponses. Les tests en généralisation ont été menés avec trois sujets seulement. La phase d'acquisition et la phase de généralisation peuvent constituer un questionnaire très long. On risque d'entraîner une certaine fatigue et lassitude de la part des sujets. Ainsi, on réalisait soit la phase 2 soit la phase 3.

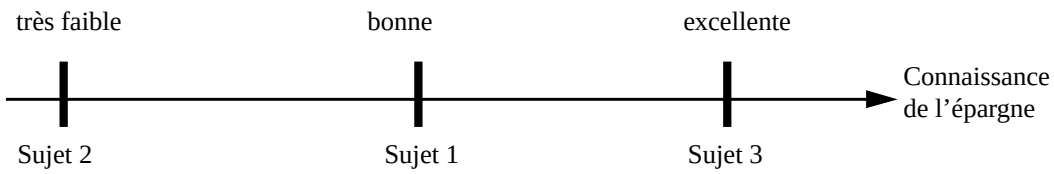
La phase 4 consiste à vérifier les règles apprises. Pour cela nous avons utilisé deux approches :

- l'une *directe*, en présentant les règles aux individus placés face à l'écran de l'ordinateur. Ils devaient alors dire s'ils étaient d'accord ou pas avec les règles et donner, s'ils le souhaitaient, leurs commentaires ;
- l'autre, plus *sournoise*, en leur proposant trois types de produits correspondant à :
  - des éléments de l'antichaîne,
  - des éléments couvrant ceux de l'antichaîne,
  - des éléments couverts par ceux de l'antichaîne.

  Les réponses attendues sont respectivement «accepté», «accepté» et «refusé».

1.2.4 Choix des sujets

Nous avons fait attention à disposer de trois types de personnes, au moins, en fonction de leur connaissance du monde de l'épargne. Les résultats qui seront détaillés dans ce chapitre correspondent à ces trois personnes. Si nous utilisons un gradient d'expertise du monde de l'épargne ceux-ci se répartissent comme suit :



1.2.5 Résumé des différences entre expériences

La façon dont les expériences ont été menées peut être résumée ainsi :

- Degré d'expertise des sujets :

  «sujet expérimenté» (client) *vs.* expert de l'épargne (conseiller) ;
- Interface du logiciel APACHE :

  version texte *vs*.version «windows» ;

- Définition de l'espace des possibles :

  conservation *vs.* élimination des *monstres cognitifs* ;

- Préparation des sujets :

  familiarisation *vs.* non familiarisation des sujets avec l'outil ;

- Enchaînement des différentes phases :

  phases 1, 2 et 4 *vs.*phases 1, 3 et 4, etc.

1.3 Résultats quantitatifs

La plupart des expériences ont été menées sur un PC 486 à 33 Mhz pour la version texte et sur une machine plus puissante pour la version au «look windows». Cette remarque ne vaut que pour les temps de calculs.

Les principaux résultats quantitatifs (tous sujets confondus) sont résumés dans le tableau 7.

	Minimum	Maximum
Temps de calcul entre chaque question	«nul»	1 s
Durée de l'acquisition Phase 1	1 mn	9 mn
Temps de réponse pour une question	instantané	65 s
Temps moyen de réponse	1 s	14 s
Nombre de questions	25	39
Nombre de règles	1	12

Tableau 7 : Résultats quantitatifs

On peut faire les observations suivantes :

- Les temps de calculs sont entièrement satisfaisants.

On rappelle que les simulations réalisées avant ces expériences nous avaient rassuré sur ce point. Cependant, on est même tenté de dire qu'ils sont trop satisfaisants ! Ils ont posé quelques problèmes par rapport à l'interface utilisateur.

Une fois la réponse *t* donnée, la question *t*+1 apparaissait immédiatement à l'écran et certains individus ne se rendaient pas compte que c'était à eux de répondre. Pour faire face à ce problème, puisque nous mesurons les temps de réponse, le pointeur de souris (pour version la "windows") est transformé en «horloge» entre deux propositions. Ceci permet de séparer «visuellement» les deux phases correspondant aux boucles 1 (la machine travaille) et 2 (l'individu travaille) de la figure 2 page 51.

- La durée réelle de l'acquisition est aussi satisfaisante.

Pour un nombre de questions fixé, la durée totale de la phase 1 dépend uniquement du temps mis par les sujets pour répondre. Aucune consigne n'est donnée et ils disposent de tout le temps désiré.

Ainsi en envisageant un questionnaire de 40 propositions et un temps moyen de réponse égal au temps maximal constaté (15 secondes environ) on obtient une durée totale de 10 minutes. Ceci est tout à fait tolérable. C'est la taille du questionnaire qui ne l'est pas.

- Le nombre de questions effectivement posées est peut-être encore un peu trop important. De 25 à 30 questions semble être un maximum tolérable.

Certains sujets ont même avoué avoir été tentés de répondre rapidement vers la fin pour terminer. Cependant, on doit noter que ceux-ci s'étaient juste prêtés à l'expérience pour rendre service à l'analyste. Ils ne se sentaient peut-être pas totalement impliqués par un éventuel placement à faire.

Les sujets les plus motivés, dont nous présentons les résultats en détail, n'ont pas été tenté de répondre rapidement alors qu'ils ont subi les questionnaires les plus longs. Leur implication dans la tâche et l'importance des décisions prises, bien que cela ne les engageait à rien, les ont rendus beaucoup plus attentifs et volontaires.

Les questionnaires les plus longs (environ 40 questions) se sont faits à partir des 180 produits sans élimination des *monstres cognitifs*. Le questionnaire le plus court (25 questions) a été réalisé à partir de 168 produits.

En général et pour les 180 éléments, on observe que la phase linéaire est atteinte vers la 30^{ième} question. Il reste alors moins de 10 éléments à classer. Ainsi, en éliminant les *monstres cognitifs* et en étudiant de façon précise les conditions d'arrêts en phase linéaire, poser moins de 30 questions est un objectif réalisable.

- Le nombre de règles.

On sait qu'on peut trouver au plus 31 règles ; c'est la taille de l'antichaîne maximale de *P*.

Le nombre de règles effectivement calculées dépend uniquement des sujets et de la façon dont ils arbitrent les valeurs sur les différents attributs. Chacun des épargnants arbitrant selon ses "envies", nous ne pouvons ici discuter de nombre optimal !

Cependant, on peut penser que plus le nombre de règles est faible, plus la personne concernée sait ce qu'elle veut.

1.4 Résultats qualitatifs

Le tableau 8 est un résumé des principaux résultats qualitatifs.

	Minimum	Moyenne	Maximum
Nombre de «fautes» entre phase 1 & 2	0	non significatif	4
Confirmation des règles	100 %		
Généralisation	75 %	non significatif	100 %
Taille des règles	1 attribut	2 attributs	4 attributs (exceptionnel)
Reconnaissance des monstres cognitifs	Dans tous les cas		

Tableau 8 : Résultats qualitatifs

	Minimum	Moyenne	Maximum
Acceptation de l'approche	«perplexe» mais convaincu	excellente	«totale»

Tableau 8 : Résultats qualitatifs

- Compréhension de la tâche.

Malgré l'utilisation de peu d'attributs, il n'y a pas eu de problème de compréhension ou très peu. En cas de difficultés les sujets demandaient des précisions. Celles-ci concernaient, d'une part, les règles d'application de la fiscalité et, d'autre part, la valeur maximale que pouvait prendre un attribut.

Dans le premier cas, le produit proposé était jugé globalement *bon* mais les sujets hésitaient à cause d'une *disponibilité* trop longue ou bien d'une *fiscalité* trop importante. Ce sont les consignes données sur la *fiscalité* (voir paragraphe 1.2.2) qui permettaient finalement de décider.

Dans le second cas, les sujets espéraient un peu mieux sur un attribut et demandaient, en cas d'oubli, si celui-ci pouvait être meilleur.

De même, nous n'avons pas constaté de différence entre les sujets familiarisés avec l'outil et ceux qui ne l'étaient pas. La tâche est simple et la prise en main de la version windows d'APACHE ne pose aucun problème. APACHE est un outil facile à utiliser, ce qui, dans un perspective d'utilisation intense par de nombreuses personnes, représente un avantage. Par exemple, la formation du personnel peut être minime.

- Nombre de «fautes» entre les phases 1 et 2.

Le nombre maximum de réponses différentes entre les deux premières phases est de 4, ce qui est peu. Ceci s'est produit sur un questionnaire assez long (38 questions) et avec la personne qui prend le plus de temps en moyenne pour répondre.

Les sujets qui répondent plus rapidement commettent en général moins de «fautes».

Ce faible taux d'incohérence général et la rapidité des réponses semblent confirmer la pertinence du principe de décidabilité : les règles sont stables et les décisions rapides.

- Confirmation des règles.

Dans le cas de l'approche directe (en présentant les règles aux individus placés face à l'écran de l'ordinateur), toutes les règles ont été confirmées par les sujets.

En utilisant l'approche consistant à proposer des points proches de l'antichaîne, quelques «erreurs» se produisent. Celles-ci se produisent essentiellement sur les points de l'antichaîne (c'est, selon notre modèle, la frontière entre les éléments «acceptés» et les éléments «refusés» ; c'est donc très certainement la zone la plus sensible) et très rarement sur les deux autres antichaînes.

Outre la réduction de la taille du questionnaire, ceci est une bonne raison de stopper la phase d'acquisition dès que la phase linéaire de l'apprentissage est atteinte : on diminue alors d'environ 30 % le questionnaire et on est certain de faire au moins aussi bien que ce que le sujet désire.

- Tests en généralisation

Les tests en généralisation ont été menés avec trois sujets seulement. Nous en avons expliqué les raisons précédemment.

Nous obtenons de 75% à 100% de réussite. Obtenus pour un faible coup (l'ensemble d'apprentissage est composé de moins de 40 objets) ces taux sont excellents. En décidant d'arrêter la phase d'apprentissage pendant la phase linéaire (donc en diminuant la taille de l'ensemble d'apprentissage), on devrait, de façon paradoxale, augmenter ce taux.

On a remarqué que, plus les règles étaient «simples» et en faible nombre, plus le taux de généralisation était bon. Ce résultat n'est pas contre-intuitif.

En effet, on peut admettre que moins le sujet possède de règles et plus celles-ci sont «simples», plus il sait exactement ce qu'il veut. Inversement, dans le cas d'un fort arbitrage entre les attributs (donnant donc de nombreuses règles), on peut supposer que l'on est en présence d'une personne ne sachant pas bien ce qu'elle veut. Il se peut alors qu'il y ait quelques variations de comportement entre les phases 1 et 3.

Si l'on compare les résultats obtenus en généralisation aux nombres de fautes commises entre les phases 1 et 2, un taux d'erreur de 25% peut sembler important (cela correspond à 11 «erreurs» sur 46 propositions).

Une partie de ces erreurs peut cependant être imputée aux conditions de l'expérience. En effet, lors du premier contrôle de la phase 2, on demande aux sujets d'émettre des commentaires sur leur décision. Ceci a peut-être pour effet de les impliquer plus. Pendant la phase de généralisation, le questionnaire se déroule automatiquement et de la même façon que pour la phase 1. On peut supposer, que certaines réponses sont alors données à la légère.

Il existe certainement une autre raison majeure. Le modèle impose que les ordres sur les attributs correspondent aux échelles d'attractivité des sujets. On admet que cette condition peut être assez aisément remplie. Cependant le passage aux objets, c'est-à-dire à un panier d'attributs, peut inverser certaines préférences. En effet, les attributs sont plus ou moins «corrélés» et le sujet peut alors inférer d'autres aspects non présentés (voir par exemple notre discussion sur l'ordre de l'attribut *taux garanti* page 117).

- Taille des règles.

Les règles sont en moyenne de taille 2, souvent de taille 1. Elles sont exceptionnellement de taille 3 et 4.

Les règles de taille 1 (de taille 2) correspondent à une (deux) très bonne(s) valeur(s) sur un (deux) attribut(s). Cette bonne performance permet d'emporter la décision quels que soient les autres aspects. Leur connaissance est donc fondamentale pour une approche commerciale efficace.

Les règles de grande taille sont en général composées d'aspects moyens. La taille de ces règles se comprend donc aisément.

- Reconnaissance des monstres cognitifs.

Nous rappelons que les *monstres cognitifs* n'ont pas été systématiquement éliminés afin de mesurer le degré d'expertise des sujets.

Les éléments dont la structure correspondait à un produit qui ne pouvait vraiment pas avoir d'existence réelle ont toujours été reconnus, en particulier par les sujets possédant une bonne connaissance des produits d'épargne (voir par exemple, les commentaires du sujet 1 sur le produit 33 dans le tableau 9). Les personnes possédant une connaissance moins importante de l'épargne se posaient plutôt des questions quant à l'existence d'un tel produit : «ca existe ?», «c'est quoi ce produit ?» ...

- Acceptation de l'approche

On peut dire que globalement l'approche est bien acceptée par l'ensemble des sujets. La principale remarque négative est la taille du questionnaire qui est jugée trop importante.

1.5 Expériences menées avec le sujet 1

Nous relatons ici la première expérience effectuée avec une personne qui sera appelée «sujet 1». C'est une personne qui connaît relativement bien les produits d'épargne. Elle a cherché systématiquement à les reconnaître. Les commentaires obtenus lors de la phase 2 le montre bien (contrairement à d'autres personnes justifiant leurs décisions sur la base des aspects).

Les commentaires spontanément émis ont été notés dans la mesure du possible (il n'y avait pas d'enregistrement). Il est important de noter que cette expérience s'est déroulée en juin 1993. Les commentaires et les valeurs prises par les attributs n'ont de valeur que par rapport à cette période.

Un résumé des phases 1 et 2 est donné dans le tableau 9 ; on y trouve successivement le numéro de la question, le produit d'épargne proposé via son codage, la réponse fournie et enfin les commentaires faits lors de la phase 2. Les zones grisées correspondent à des réponses différentes entre les deux premières phases.

1.5.1 Questionnaire

Le questionnaire s'est déroulé à partir de 38 questions, soit 21 % de l'espace initial (180 produits). En moyenne, le sujet met 14 secondes pour évaluer un produit et donner sa réponse. La phase d'acquisition a donc duré 9 minutes environ.

Dès la première proposition le sujet a demandé :

- «on met de l'argent et on n'est pas obligé d'en ajouter tous les mois ?»,
- «pas d'ouverture ?»,
- «il faudrait voir les seuils».

Il s'est ainsi interrogé successivement sur les notions de *virement permanent*, de *seuil d'accès* et de *seuil de cession*.

Le sujet a fixé de lui même les seuils de cession à 100.000/200.000 francs (ce qui à l'époque constituait une moyenne des deux seuils de cession utilisés pour les placements mobiliers). De plus, il considérait qu'il gérait uniquement des petits portefeuilles (c'est-à-dire des petits revenus : entre 7000 et 15.000 francs par mois) et il ne s'est donc pas senti concerné par les seuils de cession en «vigueur».

Il faut remarquer, qu'une évaluation a été beaucoup plus longue que les autres (65 secondes). Le produit proposé correspondait à un profil de produit moyen, c'est-à-dire pas franchement mauvais ni franchement bon. Il a donc nécessité une analyse plus fine (en particulier des calculs de rendement net).

L'attribut *rendement escompté* a été interprété par le sujet de la façon suivante :

- Dans le cas où il n'y avait pas de *taux minimum garanti* :
  Assez bon : 4.5 % / 5 %,
  Bon : 5.5 % / 6.5 %,
  Très bon : 8 % / 9 %.
- Dans le cas où il y avait un *taux minimum garanti* :
  Assez bon : *taux minimum garanti* + 1.5% soit entre 6% et 7.5%,
  Bon : *taux minimum garanti* + 2 / 2.5% soit entre 6.5 / 7% et 8 / 8.5%,
  Très bon : *taux minimum garanti* + 3 / 4% soit entre 7.5 / 8.5% et 9 / 10%.

Remarque : *Prévi-Retraite* est un produit d'assurance-vie.

n	P	S	T	Commentaires du sujet
1	2223	A	24	Oui, sûr de faire 4.5 voire plus; bon pour une somme à placer
2	3122	R	15	Non
3	2214	A	10	Oui, c'est une **sicav court terme**, risque limité
4	2133	A	6	Oui, 6% bon, mieux qu'un **livret**
5	1232	A	8	Oui, plus intéressant que **Prévi-retraite** qui lui est plus long
6	2312	R	10	Non, trop long et pas de minimum garanti, si 4.5% serait plus intéressant que le précédent

Tableau 9 : Détails d'une expérience menée avec le sujet 1

n	P	S	T	Commentaires du sujet
7	2124	A	7	Oui, **petite sicav tranquille**, rien à perdre sur 3 mois, mieux qu'un **livret**
8	3321	A	8	Oui, même si on casse contrat (par rapport au fisc) car très bonne performance
9	1223	R	29	Non, prélèvement trop fort
10	4113	R	8	Non, si quelques idées sur les performances passées peut-être oui. Non sinon et si c'est un produit qui vient de sortir Non
11	2231	A	7	Oui, plus intéressant que **Prévi-retraite**
12	4212	R	13	Non, trop long sans minimum garanti
13	1125	A	7	Oui, on ne prend que 40% si on dépasse le seuil car disponibilité immédiate, bien pour un petit portefeuille
14	1314	A	9	Oui, **bonne sicav**
15	2115	A	11	Oui, à condition de connaître les performances passées
16	2132	A	19	Oui,
17	2313	R	7	Non, pas de minimum garanti, on ne gagne rien si on casse le contrat
18	2222	R	10	Non, euh...non vaut mieux mettre ça sur un **livret**
19	3312	R	6	Non, il faut suivre les performances, c'est délicat
20	1124	A	8	Oui, pour court terme peut être mieux qu'un **livret**. Bon pour un mataf qui part trois mois en mer, bien pour ceux qui se déplacent : minimum garanti et on peut faire plus
21	1322	A	15	Oui, plus court que le **Prévi** donc plus intéressant
22	2114	A	12	Oui, **petite sicav**, petit placement (petite somme), suivre les performances
23	2131	A	15	Oui, minimum garanti intéressant
24	4122	A	8	Oui, c'est net d'impôt quoi qu'il arrive
25	1115	A	11	Oui, à condition d'avoir vu les performances passées, fiscalité imposante mais cela est bien quand même il suffit de ne pas dépasser le seuil

Tableau 9 : Détails d'une expérience menée avec le sujet 1

n	P	S	T	Commentaires du sujet
26	1132	R	13	Oui, un bon minimum garanti pour un contrat à moyen terme, c'est intéressant
27	3313	R	12	Oui, on fera toujours des bénéfices si on suit bien évolution du produit. Délicat il faut suivre. Mais j'avais du dire Non
28	4312	A	28	Oui, intéressant comme le précédent car net d'impôt, Oui/Non. Demande d'y réfléchir beaucoup, étudier le contrat, supports...
29	1321	A	13	Oui
30	3221	R	10	Non, assez bonne performance : pas assez
31	1114	A	15	Oui
32	2123	A	15	Non
33	4121	A	7	Oui, on peut espérer faire plus de 4.5 sans qu'on nous prenne de pognon. Contrat un peu bête car long terme et le banquier n'y gagne rien si le type se casse
34	1133	R	26	Oui, court terme, 6% de garanti, à voir de plus prêt, très bien si on ne le casse pas
35	1231	A	17	Oui, c'est un peu le **Prévi** avec un meilleur taux garanti donc hyper bon
36	3222	A	65	Oui, intéressant même si on casse le contrat on y gagne (*le sujet a fait les calculs en net*)
37	4213	R	12	Non, toujours le même problème à condition de connaître le passé et suivre, sinon trop long, je ne veux pas suivre les cours tous les jours
38	4311	A	9	Non, mais valable pour les mêmes raisons que précédemment mais ne le suivrait pas

Tableau 9 : Détails d'une expérience menée avec le sujet 1

1.5.2 Les stratégies calculées

Ce questionnaire a permis de déterminer 8 règles. Celles-ci sont présentées en annexe 2 page 166. Le polynôme *A* qui représente les règles est :

$A = D^4 + R^2T^3 + R^3T^2 + F^2T^2D^3 + F^2T^3 + F^3R^2T^2D^2 + F^4T^2 + F^4R^3$

A peut être écrit de la façon suivante :

$A = T^2R^2\,(T + R + D^2F^3) + F^2T^2\,(T + D^3) + D^4 + F^4R^3$

On peut immédiatement constater que cette personne ne veut pas prendre de risque avec son épargne et s'intéresse beaucoup au rendement net final : T^2 est ainsi un point d'ancrage.

Même au sein du monôme D^4, T^2 est présent. Le sujet a justifié sa réponse de la façon suivante : «si un produit d'épargne est fait pour trois mois, il ne peut pas être risqué parce qu'on ne peut pas considérer un produit risqué sur une courte période». Il considère donc qu'il existe pour ce type de produit une certaine garantie.

Le sujet accepte des produits sur le long terme à condition d'avoir un bon rendement final. Pour cela il faut considérer les attributs *T, R* et *F* (la fiscalité sera nulle si la durée *D* est respectée) qui permettent d'évaluer le rendement net final. On constate dans *A* qu'une perte d'un niveau sur *T* ou *R* doit être compensé par deux ou trois niveaux sur *D*. On observe la même compensation avec l'attribut *F* (monômes F^4T^2 et F^2T^3).

Enfin, l'apparition du monôme F^4R^3 résulte de l'existence de certains monstres cognitifs qui ont peu de raisons d'effrayer l'épargnant averti qu'est le sujet 1.

1.5.3 Commentaires sur les contradictions

Il y a eu 4 contradictions entre les phases 1 et 2. Ce qui est peu.

1. Question 26 : (produit refusé puis accepté)

   Produit «prélèvement forfaitaire de 40%, assez bon, 6%, sous 5 ans minimum».

Sa justification est économiquement pertinente dans le contexte actuel. Il y aurait certainement peu d'établissements financiers garantissant 6% sur 5 ans en juin 1993.

2. Question 32 : (produit accepté puis refusé)

   Produit «déclaration des plus values dans les revenus, assez bon, 4.5%, sous 2 ans minimum».

Il n'a pas fait de commentaire. Il semble cependant qu'il a comparé ce produit à un livret (dont les caractéristiques sont : net d'impôt, aucun rendement à espérer, 4.5%, disponibilité totale) bien connu du sujet et l'espoir d'un *rendement assez bon* n'a pas suffit à compenser du *net d'impôt* et une *disponibilité totale*.

Un produit «proche» (qu'il compare au livret) l'a également fait hésiter (question 18: «déclaration des plus values dans les revenus, bon, 4.5%, sous 5 ans minimum»).

3. Question 34 : (produit refusé puis accepté)

Produit «prélèvement forfaitaire de 40%, assez bon, 6%, sous 2 ans minimum».

Les commentaires du sujet sont riches d'enseignement : il insiste sur le *taux minimum garant*i (attribut très important pour lui) mais aussi sur le fait qu'il faudrait regarder le produit de plus prêt (ce qui montre que ce produit lui pose problème ; d'où sa contradiction ?). Enfin la *fiscalité* imposante lui fait dire que ce produit est bien si on respecte le contrat (par rapport aux 2 ans) : ce qui est très juste, il était difficile voire impossible de trouver des produits du type (***, ***, 6%, sous 2 ans minimum) sur le marché à l'époque de l'expérience.

Cette fois-ci le 6% garanti a fait la différence par rapport au produit précédent (produit 32) qui était fiscalement meilleur. Remarquons qu'en net (si jamais la *fiscalité* est appliquée en cas de retrait) cela donne 3.6% dans le cas où le *rendement escompté* est nul et 4.5% dans le cas où le *rendement* est assez bon (cf. les valeurs que le sujet a attribuées au *rendement escompté*). C'est-à-dire que l'on peut alors comparer le produit à un livret.

4. Question 38 : (produit accepté puis refusé)

Produit «net d'impôt, très bon, aucun, sous 8 ans minimum».

Le sujet déclare que c'est un produit valable (accepté dans un premier temps) mais que celui-ci nécessite de suivre les cours (il l'a assimilé à un produit de type sicav à risque et il faut donc être prêt à garder ce type de support longtemps). C'est ce qu'il ne veut pas faire et l'a finalement refusé. Les commentaires sont à rapprocher de ceux faits pour les questions 10, 19, 27, 28 et 37. Il semble même que cette contradiction soit due à la nécessité de se justifier (voir les commentaires donnés juste avant à la question 37).

Remarquons que bien que la combinaison «*net d'impôt/sous 8 ans minimum*» est étrange, le sujet n'a pas déclaré que ce produit était irréalisable comme le produit 33. Cependant il semble qu'il ait considéré que «*sous 8 ans minimum*» était la durée conseillée (il n'y a pas de *minimum garanti* : cf. la distinction avec le produit 33). Dans ce cas et puisqu'il considère qu'il gère des petits portefeuilles, il ne s'est pas senti concerné par la fiscalité. Ainsi, le fait que le produit soit *net d'impôt* quoiqu'il arrive ne l'intéresse pas (commentaires 37 et 38).

1.5.4 La reconnaissance des monstres cognitifs

Le produit 33 («net d'impôt, assez bon, 4.5%, sous 8 ans minimum») est un bon exemple de produit irréel pour la plupart des épargnants. Il a immédiatement été reconnu et accepté. C'est un bon monstre du point de vue client.

Cette fois-ci la durée a été considérée comme contractuelle à cause du taux minimum garanti. La fiscalité intervient donc en cas de rupture du contrat. Celle-ci étant nulle, le produit devient alors une sorte de produit idéal et est accepté immédiatement (7 secondes, c'est la deuxième réponse en terme de rapidité). Il offre au moins les caractéristiques du livret A.

Remarque : ce produit est un monstre pour ce sujet qui paye des impôts. Il peut devenir une réalité pour des sujets non imposables. Il se peut en effet, que malgré le non respect de la durée du contrat et l'intégration des plus values dans les revenus, ces personnes restent non imposables.

1.5.5 Les temps de réponses

Le temps moyen de réponse pour l'expérience relatée est de 14 secondes par produit. Il n'y a pas de différence, en moyenne, significative entre les produits acceptés (14,16 secondes) et les produits refusés (13,15 secondes). Cependant, si l'on retire la question 36 qui à elle seule a nécessité 65 secondes de réflexion, induites par le fait que le sujet a effectué mentalement des calculs de taux net, le temps moyen de réponse des produits acceptés est de 12 secondes.

Les produits ayant nécessité une «longue» réflexion (supérieure à 19 secondes) de la part du sujet possèdent au moins 3 attributs sur 4 non «minimaux», sauf le produit 34. Deux d'entre-eux seulement possèdent 2 aspects maximaux. Ils correspondent donc globalement à des produits "moyens", ce qui, avec les calculs mentaux, peut expliquer les temps de réponse :

Question 1 : produit codé = 2223 (24 s, accepté).

Question 9 : produit codé = 1223 (29 s, refusé).

Question 16 : produit codé = 2132 (19 s, accepté).

Question 28 : produit codé = 4312 (28 s, accepté).

Question 34 : produit codé = 1133 (26 s, refusé puis accepté).

Question 36 : produit codé = 3222 (65 s, accepté).

Ils sont majoritairement acceptés alors que l'on s'attendait plutôt à ce qu'ils soient rejetés. Cependant, il se peut que dans le doute, le sujet ait finalement choisi de les retenir. Il se préservait ainsi de regretter un choix car il reste libre de les refuser par la suite.

Le sujet 1 est la personne qui met en général, le plus de temps à répondre. Ce n'est pas étonnant car c'est aussi la seule qui a systématiquement cherché à se justifier et à reconnaître les produits. Elle a même effectué mentalement, dès que nécessaire, des calculs de taux nets.

1.5.6 Les échelles d'attractivités

Les commentaires (voir en particulier les questions 4, 11, 20, 21 et 35) du sujet nous permettent de vérifier la validité des ordres utilisés sur les attributs et sont, à ce titre, très intéressants.

A la question 21, par exemple, on note bien l'attractivité croissante du produit en fonction de la décroissance de la durée. La question 35 relève l'attractivité croissante pour les taux garantis dans l'ordre numérique naturel. On rappelle que pour des sujets très expérimentés, cet ordre peut être complètement inversé.

1.5.7 Problème

Les produits du type «***, ***, *aucun*, *immédiate* ou *sous 3 mois minimum*» ont tous été assimilés par le sujet à des *sicav court terme* de type monétaire, c'est-à-dire sans risque. Ceci est logique (bien que l'attribut *taux minimum* a la valeur *aucun*) puisqu'on ne conseille pas un produit risqué pour une période aussi courte. Ce sujet, considère que la notion de *risque* ne peut être traitée sans le facteur *temps* (surtout lorsqu'en plus il n'y a pas de *taux minimum garanti*).

Mais cela pose un problème pour interpréter la règle 1. On doit tenir compte de la remarque précédente. Il ne faut pas la comprendre «Tout ce qui est court terme est accepté (même un produit très risqué)» mais plutôt «Tout ce qui est sans risque et court terme est accepté».

1.6 Expériences menées avec le Sujet 2

Le sujet 2 est une personne qui ne connaît pas les produits d'épargne. Elle arrive cependant en phase d'épargne intensive et y réfléchit beaucoup.

Nous ne présenterons pas en détail les expériences menées avec cette personne. On relève uniquement les faits les plus marquants.

Les commentaires et justifications obtenus lors de la phase 2 se font uniquement sur la base des aspects. On peut donc supposer qu'il n'y a pas eu d'inférences sur des attributs non présentés.

Cette personne sait très bien ce qu'elle veut. Il existe un seul point d'ancrage (le taux minimum garanti) ; les règles sont donc peu nombreuses (4 règles). Les décisions sont extrêmement rapides (environ 5 secondes en moyenne). Il n'est ainsi pas étonnant, qu'avec cette personne on obtienne des taux proches de 100 % en généralisation et aucune contradiction entre les phases 1 et 2.

Le sujet 2 a été très intéressé par le fait de participer activement à la définition de son profil d'épargnant et a montré une acceptation totale de l'approche ("c'est génial, ca devrait se passer comme ça en agence ; on voit bien que le programme cerne mon profil" argumentant de plus "qu'après tout c'est notre argent qu'on place").

Cette personne a même déclaré que le système lui a permis d'exhiber ses règles («avant, j'aurais été incapable de le dire mais maintenant je sais ce que je veux»).

Cette remarque est intéressante pour deux raisons :

- d'une part, l'utilisation d'APACHE suppose qu'il n'y a pas de phénomène d'apprentissage de la part du sujet en phase d'extraction ; ici on est certain que le sujet a stabilisé ses stratégies lors de la première expérience.
- d'autre part, ce n'est pas très surprenant puisque cette personne ne connaissait pas l'épargne ; elle ne s'était en particulier jamais posé comme exercice, l'évaluation d'une quarantaine de produits d'épargne ! Elle a donc été confrontée à des problèmes nouveaux.

Aussi, nous devons rapporter les différences entre la première expérience et les expériences suivantes dont les principaux résultats ont été donnés ci-dessus.

La première expérience a produit les résultats (qui n'était pas mauvais) suivants :

- 80 % en généralisation ;
- 2 contradictions entre les phases 1 et 2 ;
- des temps de réponse légèrement plus élevés ;
- plus de règles (7 règles) car plus d'arbitrage entre les attributs.

1.7 Expériences menées avec le Sujet 3

Le sujet 3 est un véritable expert en matière d'épargne. C'est un conseiller de la banque et il sait exactement ce qu'il veut pour lui-même en tant qu'épargnant.

Initialement perplexe, il a souhaité de lui-même tester les performances d'APACHE. Il a donc pris soin de préciser à l'opérateur "sa" règle de sélection des produits d'épargne. C'est l'unique personne qui a été capable de verbaliser ses stratégies.

Cette unique règle, et seulement celle-ci, a été apprise par APACHE. Ainsi et c'est important pour l'acceptation d'un tel outil, cette personne est passée du stade "perplexe" à celui de "convaincu".

L'unique règle étant de type lexicographique, nous ne sommes pas surpris d'obtenir 100 % en généralisation et des temps de réponse inférieurs à la seconde (un seul attribut était évalué).

1.8 Discussion

1.8.1 Retour sur le modèle

Le modèle HBM et l'heuristique de l'ancrage et d'ajustement ont montré leur pertinence dans cette application. La phase d'acquisition met en évidence des ancres dans les stratégies apprises Nous revenons en particulier sur les trois principes cognitifs (parcimonie, fiabilité et décidabilité) de fonctionnement du décideur.

- Le principe de parcimonie

C'est certainement le principe le plus difficile à évaluer étant donné que nous avons utilisé peu d'attributs. Le domaine d'application ne nous laissait guère la possibilité d'en utiliser plus. Les règles utilisées sont généralement composées de 2 attributs seulement. Cependant, bien que l'on suppose que l'ensemble tout entier, ou presque, des

descripteurs était étudié, les commentaires et les attitudes des sujets montrent qu'ils se fixent essentiellement sur un ou deux attributs.

Aussi pour confirmer avec plus de certitude ce principe, il faudrait mener des expériences avec un plus grand nombre d'attributs.

- Le principe de fiabilité

Pour l'application concernée, discuter de ce principe est délicat. Chaque individu a ses propres motivations personnelles, qu'il ne souhaite d'ailleurs pas justifier à son banquier. On peut difficilement parler de stratégies "optimales". Ainsi, même si des stratégies peuvent paraître "absurdes", celles-ci sont peut-être la face cachée d'un comportement dont les origines sont difficiles d'accès au banquier. Par exemple, certaines règles qui ne correspondent à aucune des attitudes connues peuvent révéler des comportements adoptés chez des concurrents.

Ceci étant dit, et sur la base des expériences menées, on peut affirmer que les règles utilisées et les justifications fournies sont généralement très pertinentes.

- Le principe de décidabilité

Des trois principes, le principe de décidabilité est le plus aisé à vérifier : les stratégies utilisées sont stables et les décisions rapides.

1.8.2 Retour sur l'application

Les résultats obtenus dans le domaine de l'épargne sont satisfaisants. Une approche cognitive soutenue par une algorithmique performante arrive à résoudre un problème important et difficile posé au monde bancaire.

APACHE aide le banquier dans le sens où il calcule, de façon efficace, les stratégies de décision au moment où elles sont prises. En matière d'approche commerciale, il est important de connaître les facteurs déterminants à un instant le plus proche possible de celui de l'acte d'achat. Les résultats sont de plus exprimés en langage naturel. La plupart des systèmes actuels ne proposent qu'un indice sur une échelle numérique ordonnée exprimant la sensibilité de l'individu à un facteur particulier. Ils sont de ce fait d'un faible pouvoir explicatif. Enfin, contrairement aux approches classiques, le système APACHE ne nécessite aucune connaissance particulière de l'individu (âge, classe sociale ...).

APACHE aide l'épargnant car il calcule son profil personnel en tant qu'individu et non par rapport à un profil moyen. Si le monde des possibles est correctement défini, APACHE peut déterminer les besoins du consommateur (voir page 21).

Le logiciel est d'une grande simplicité à manipuler, tant pour le conseiller que pour l'épargnant. Un travail intéressant à mener serait de coupler APACHE avec un système d'aide à la sélection de produits financiers en manipulant cette fois des données dont APACHE se passe (composition du foyer fiscal, projet immobilier ...). Nous disposerions alors d'un véritable système d'aide au conseil en matière d'épargne. Ce système devra être constitué de plusieurs systèmes correspondant à des domaines de compétences divers tels la fiscalité, gestion de l'existant, module de simulations, interrogation d'une base de données produits d'épargne (permettant en autre de fournir un argumentaire de vente personnalisé) ... Il constituera un atout important dans la mesure où les avantages compétitifs de chaque établissement bancaire se situe moins sur les produits que sur l'adéquation entre l'offre et les besoins de la clientèle.

Malgré tout, deux difficultés majeures peuvent freiner l'utilisation d'une telle approche pour une application aussi contrainte : la durée de l'acquisition et l'acceptation par les intervenants.

Le système APACHE étant entièrement générique, nous proposons deux autres voies d'exploration pour le domaine bancaire. La première s'intéresse aux règles de décision des experts de la banque, en matière d'octroi de crédit. La disponibilité des intervenants est donc beaucoup plus importante que dans l'application au domaine de l'épargne. La seconde, qui est au moins aussi contrainte que cette dernière, se propose d'aider le banquier-assureur, à mesurer le risque porté par un individu.

2 Prospective vers d'autres utilisations d'APACHE

2.1 Application au crédit avec les conseillers

Il s'agit ici d'extraire les stratégies de décision des conseillers de la banque en matière d'octroi de crédit. Ce domaine a été largement exploré par les approches classiques et de nombreux systèmes experts sont opérationnels dans la plupart des établissements.

Nous proposons seulement d'apprendre les stratégies des conseillers selon une méthode originale. Les règles apprises pourront servir à construire un système d'aide à la décision en matière de crédit.

Les bénéfices d'un tel système sont essentiellement de trois types :

- des décisions plus rapides ;
- des décisions plus cohérentes ;
- une aide importante pour les conseillers débutants.

L'espace des possibles est composé des emprunteurs potentiels. Ceux-ci sont clairement identifiables par des attributs que l'on peut ordonner :

- revenus du foyer ;
- niveau d'endettement ;
- fidélité à sa banque ;
- ...

Ce type d'utilisation est beaucoup moins contraint que l'application précédente. Il existe en effet deux différences majeures :

- La disponibilité des décideurs est beaucoup plus importante

  On peut donc envisager d'utiliser plus d'attributs et plus de valeurs. Les acquisitions seront donc plus fines et pourront se faire en plusieurs étapes.

- On dispose de plusieurs experts

  Les experts doivent résoudre le même problème. Ainsi, la confrontation des différentes stratégies peut permettre de corriger certaines erreurs et de normaliser les décisions prises. Un retour vers les décideurs est en effet possible et on peut réaliser un travail de justification des décisions.

2.2 Application à la mesure du risque client

Une autre application du système APACHE concerne la mesure du risque client en matière d'assurance classique (automobile ...) mais aussi le risque de défaillance des emprunteurs. La détermination et la minimisation du "portefeuille risque" d'un *banqueassureur* est capitale pour sa solidité financière. Elle est classiquement

déterminée par rapport à un comportement moyen calculé sur la base d'historiques et à partir de descripteurs comme l'âge, la catégorie socio-professionnelle ...

C'est bien un domaine où il est inutile de demander à l'individu si celui-ci a un comportement risqué. L'intérêt de l'approche, est de déterminer ce risque à l'insu du décideur.

La mesure de la qualité d'un client en termes de risque est typiquement une situation où les décisions du banquier sont prises à partir d'informations incomplètes. Pire même, c'est le client qui en possède le plus. Il peut ainsi omettre, manipuler ou falsifier certaines informations le concernant.

En faisant l'hypothèse que les décisions prises reflètent quelque part le risque que l'individu représente, on cherche à déterminer quels types de contrats le client accepte. On sait par exemple que des taux d'intérêts élevés sont plus facilement acceptés par les emprunteurs les plus risqués. Les attributs qui nous intéressent ici sont essentiellement la prime du contrat, le montant de la franchise et le taux de couverture pour la mesure du risque client et les taux d'intérêts pour le crédit.

Cependant, si cette approche paraît prometteuse pour déterminer le niveau de risque du client, il se peut qu'elle ne soit pas suffisante. Il faut, par exemple, connaître l'attitude du décideur face au risque. En effet, un client exigeant une franchise nulle n'est pas forcément risqué mais présente, peut-être, une aversion au risque. C'est une application qui reste, malgré tout, très intéressante à explorer.

2.3 Deux utilisations actuelles

Nous signalons deux applications (ou utilisation) du système APACHE sans en présenter les résulats car ceux-ci ne nous sont connus pour le moment :

- M. Etienne Mullet, à l'Ecole Pratiques des Hautes Etudes de Paris, utilise APACHE dans le cadre d'une étude de l'influence du vieillissement sur les stratégies de décision mises en œuvre par les individus et aussi pour étudier le jugement de reconnaissance de visage (projet intéressant la police et la justice pour la fiabilité des témoignages). La présentation des objets, pour

la première application, a subie une modification. Ceux-ci sont proposés sous forme graphique et non en langage naturel. Un cube plein sert à représenter un niveau pris par un attribut.

- Enfin à l'Université de Liège, M. Marc Roubens et Melle Sophie Hubert (Hubert, 1996), ont utilisé APACHE pour connaître les règles de classification de vaches (en mauvaises et bonnes laitières) d'experts agricoles (fermiers, vétérinaires). Ce travail a été effectué en collaboration avec la Faculté de Médecine Vétérinaire l'Université de Liège.

Annexes

Annexe 1 - A propos des sciences et techniques cognitives, de l'aide à la décision pour la banque et la finance.

Après avoir présenté quelques objectifs des banques pour les prochaines années, nous allons tenter de montrer en quoi et comment les sciences et techniques cognitives (STC) peuvent aider à les atteindre.

On peut se demander de façon légitime ce que les STC viennent faire dans le domaine économique et dans la gestion de la vie de l'entreprise. La vie économique est le fait et le résultat du comportement des individus qui composent la société. L'émergence du niveau collectif provient du niveau individuel à travers de nombreuses interactions et des connaissances partagées. Ainsi, comme le souligne Bourgine *et al.* (1990), l'économie qui s'intéresse aux processus mentaux des décideurs constitue une partie des sciences cognitives ; de même les STC, confrontées aux contraintes du traitement de l'information sont une partie de l'économie.

On constate que là où certaines approches purement informatiques construisent des systèmes fragiles, l'Homme confronté, aux mêmes problèmes, les résout de manière fiable et stable. Ainsi, le développement d'outils visant à réintroduire la dimension cognitive de l'humain dans ses activités professionnelles est devenu un élément de compétitivité déterminant. Les établissements financiers ne doivent pas prendre de retard. Les applications à base d'Intelligence Artificielle (IA ; qui sera pour nous l'instanciation informatique des STC, à savoir l'utilisation de l'ordinateur comme moyen de simulation des processus naturels ou comme support de capacités ordinairement attribuées à l'intelligence humaine) tirent leur performance, leur flexibilité et leur convivialité de leur aptitude à simuler les processus mentaux. Elles attachent de plus en plus d'importance à ces processus individuels et collectifs. Elles deviennent des auxiliaires amplificateurs (aux niveaux quantitatifs et qualitatifs) de l'activité humaine.

Les métiers et domaines traités par les organismes bancaires sont très nombreux et on se limitera volontairement à quelques-uns d'entre eux. Pour chacun, on précisera quelques outils qui peuvent être utiles pour résoudre les problèmes rencontrés. La technologie permettra de faire la différence entre les banques dans un marché où les produits sont de plus en plus banalisés. Une différenciation de l'offre commerciale produit un avantage concurrentiel certain, mais de courte durée car facilement imitable. L'avance technologique est, elle, beaucoup plus difficile à copier.

Quelques objectifs des banques à moyen terme

Sans être exhaustifs, nous allons présenter ci-dessous quelques objectifs prioritaires pour les établissements bancaires dans les prochaines années. Dans un environnement concurrentiel très dur, les banques qui sauront réaliser certains d'entre eux prendront un net avantage. Parmi les objectifs qui font l'unanimité quant à leur réalisation, on peut citer :

- l'amélioration de la relation banque-client ;
- la maîtrise de la gestion du risque ;
- la gestion de grands systèmes d'information ;
- la réduction des coûts ;
- le gain de productivité.

L'amélioration de la relation banque/client

Il semble assez clairement établi que l'objectif principal à atteindre pour les banques dans les prochaines années est l'amélioration de la relation banque/client. Cela se traduit par le fait que les banques préfèrent aujourd'hui fidéliser (dans un contexte de multibancarisation extrême) les clients existants (très volatiles) plutôt que de conquérir de nouvelles parts de marché (bien que ceci reste un combat permanent). On parle d'ailleurs aujourd'hui plus souvent de marketing de fidélisation que de marketing de conquête. De plus, il est plus coûteux de conquérir une clientèle que de garder celle existante.

C'est le marché qui fait la banque et non le contraire. Il est donc nécessaire de bien comprendre ce marché. Les banques doivent se donner les moyens de mieux connaître les besoins de leurs clients afin d'adapter l'offre à la demande, l'idéal étant de la personnaliser de plus en plus -le client étant toujours plus exigeant et infidèle-. Remarquons que cela permet également d'attirer de nouveaux clients : de nombreux sondages montrent que les clients satisfaits de leur banque la conseillent très volontiers à leurs connaissances.

Pour cela, il faut pouvoir créer ou proposer à temps les produits et services qui intéressent les individus tout en respectant les contraintes financières de l'entreprise. Le «juste à temps» (c'est-à-dire avant la concurrence et dès que le client est «réceptif») est un facteur primordial de réussite. Il devient incontournable pour tous les produits réglementés dont la détention doit être unique (par individu ou par foyer fiscal) favorisant ainsi, avec un conseil de qualité, la monobancarisation. Le conseil de qualité passe nécessairement par une adéquation entre les solutions proposées et les besoins et profils de la clientèle. Pour cela, il faut s'attacher au développement d'outils d'aide à la décision ou au conseil permettant, d'une part d'assister le

conseiller et le client dans le choix des solutions et d'autre part, de fournir un argumentaire de vente personnalisé.

Il existe aussi une volonté importante de couvrir tous les canaux de distribution possibles et, ce afin de permettre au client de choisir lui même le canal par lequel il veut prendre contact avec sa banque.

La maîtrise de la gestion des risques

Longtemps sous-estimée la gestion des risques est devenue une priorité dans tous les établissements bancaires. Le risque est en effet omniprésent dans les différentes activités bancaires : le risque client, le risque de taux, le risque lié aux marchés financiers ...

Deux aspects du risque client sont importants à considérer dans le domaine du crédit. Il s'agit du risque de défaillance d'un emprunteur potentiel et du risque de remboursement anticipé.

Dans le premier cas, il s'agit de mesurer le risque client afin de décider ou non de l'octroi d'un crédit. La tendance actuelle est d'accroître le pouvoir de décision donné aux agences (c'est-à-dire augmenter les limites d'autorisation des conseillers tout en mesurant le risque encouru) et en même temps de renforcer (ou créer) les départements gestion du risque au niveau central. Ceux-ci doivent permettre de maîtriser la gestion du risque et surtout de faire en sorte que cette expertise (problèmes d'acquisition et de transfert d'expertise) puisse descendre vers les agences. Cette maîtrise doit se traduire par une amélioration des capacités d'analyse des agences, par un enrichissement de l'information nécessaire pour évaluer un emprunteur potentiel et donc par l'amélioration du service (la réponse est plus rapide, l'emprunteur conserve une relation personnalisée avec son conseiller et n'est plus un dossier qui est transmis au siège de la société) ...

Dans le second cas, il s'agit de savoir pourquoi, comment et quand un emprunteur va renégocier son prêt. Ce problème est plus délicat à traiter. Certaines de ses origines, comme la vente du bien acquis, échappent en effet complètement aux prêteurs.

La gestion de portefeuilles est l'une des grandes activités des établissements financiers. C'est aussi l'une des plus rentable. Il s'agit essentiellement de faire les bons investissements au bon moment tout en mesurant le risque encouru. La complexité même du marché et la diversité des informations rendent difficiles les choix. Les gestionnaires agissent dans un certain contexte dont on ne peut ignorer les influences sur les décisions prises : motivation, statut du gestionnaire et nécessité de se justifier... D'autres faits propres à l'individu sont à considérer : état de stress, fatigue, goût du risque... Il est ainsi difficile de parler de gestion «optimale» d'un portefeuille. L'un des gros enjeux dans ce domaine est le développement d'outils permettant de mesurer le risque de chaque investissement possible afin d'aider les gestionnaires à prendre leur décision en

fonction des objectifs de gestion (offensive, modérée, prudente) choisis. Les gestionnaires spéculant sur les marchés continus doivent très souvent prendre des décisions très rapidement alors que, d'une part, ils ne possèdent pas toujours l'information nécessaire et que, d'autre part, même s'ils y ont accès, ils sont incapables de la traiter globalement et rapidement. Le développement de systèmes permettant de sélectionner et de synthétiser l'information pertinente doit permettre de rationaliser (au sens où tous les paramètres déterminants sont pris en compte) et d'accélérer la prise de décision.

La gestion de l'information

Pour diverses raisons, les banques (comme toute grande organisation) ont besoin de gérer de grandes quantités d'informations très diverses. Il existe un besoin pour une informatique de gestion ou, plus précisément, un besoin pour des informations de support aux réflexions et décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles (Dufloux et Court, 1992). Les dirigeants, les décideurs ont toujours eu besoin et auront toujours besoin d'informations internes (celles de l'entreprise) et externes (celles du marché) pour prendre les «bonnes» décisions. Ce besoin se fait de plus en plus sentir pour deux raisons essentielles : la concurrence, encore et toujours, de plus en plus forte et le caractère toujours incertain du monde. La gestion de l'information est une composante essentielle de l'activité bancaire. Celle-ci conduit à gérer plusieurs millions de comptes et plusieurs centaines de produits. Les données existent. Le but est d'en extraire de l'information utile dans un but explicatif ou décisionnel.

Il se pose alors les problèmes de sa collecte, de sa découverte ou de son apprentissage, de son traitement, de son actualisation ... L'enjeu est d'une importance capitale pour le marketing direct (bases de données clients) puisqu'il s'agit souvent d'envoyer une proposition directement au consommateur sans intermédiaire. Il faut donc pouvoir réaliser des propositions très ciblées aux consommateurs. L'information de plus en plus complexe et multiforme est devenue objet d'études.

L'apprentissage symbolique et numérique permet, à partir de données volumineuses ou non structurées (pour l'individu) la découverte d'informations utiles. La gestion de ces banques de données importantes pose de nombreux problèmes. Il est en particulier inutile de les constituer si on ne peut ensuite y accéder de façon efficace. Pour améliorer (c'est-à-dire pour augmenter la pertinence et la qualité de l'information traitée) l'interrogation de ces banques de données (suivi des événements qui interviennent sur la relation bancaire, recherche d'informations à partir de leur contenu sémantique ...), il faut disposer d'un mode accès et d'une gestion intelligente. Cela passe bien évidemment par la résolution des problèmes de stockage et de représentation des informations mais aussi par des considérations plus proches des individus - en tant que sujets cognitifs- utilisant ces bases. L'opérateur humain, en interaction avec une système artificiel, devient lui aussi sujet d'étude. Il faut pouvoir lui donner une assistance

personnelle, tenant compte de ses attentes, de son niveau de compétence ... Que sait-il, que veut-il, comment communiquer avec lui ? Il est ainsi nécessaire de disposer de moyens de communication de plus en plus performants, permettant de réduire la distance entre le Système et l'Homme. Si le moyen d'expression le plus adéquat semble bien être la langue naturelle il n'en est pas moins l'un des plus difficile à mettre en oeuvre sur une machine artificielle.

Le développement de la télématique et des automates

Enfin, on peut citer le développement des services minitel/téléphone et des automates. Ceux-ci ont déjà plus de dix ans d'existence en France. A l'origine souvent considérés comme centres de coût (à cause des développements informatiques et en télécommunication importants), ils sont devenus générateurs de profits non négligeables pour les banques et de satisfaction pour les usagers. Ce sont des outils indispensables pour les banques régionales. La télématique a permis une importante réduction des coûts en externalisant de nombreuses opérations courantes. En allégeant les tâches répétitives, la télématique permet d'améliorer le conseil et la prise d'initiatives au niveau des réseaux. Certaines banques ont même utilisé le visiophone pour mettre en contact un client, se trouvant en agence et posant un problème pointu, avec un spécialiste du siège. Remarquons, que les systèmes d'aide à la décision doivent aider à transférer cette expertise vers les agences et donc permettre d'éviter le plus possible ce genre de métodes de communication.

Ces nouvelles techniques de communication doivent répondre aux attentes des clients, notamment pour ce qui est des bornes interactives. Elles ne doivent pas rester au simple stade d'outil marketing. Les travaux à mener se situent pour beaucoup dans le domaine de la reconnaissance de la parole (interrogation de compte par téléphone ; il existe beaucoup plus de téléphones que de minitels, et, où qu'on soit, on arrive toujours à trouver un téléphone), dans la compréhension de la langue naturelle et de l'ergonomie (sous contrainte du matériel utilisé). Le développement de services d'assistance est également important car les usagers en difficulté renoncent à utiliser ces services. L'adaptation au comportement de l'utilisateur permet à la fois de répondre rapidement à ses besoins les plus courants , et donc d'augmenter le taux d'utilisation, et de fournir des renseignements non négligeables pour le marketing. Enfin, n'oublions pas la sécurisation des opérations (notamment pour développer le télépaiement). Si toutes ces conditions sont réunies, il est incontestable que ces services ont un bel avenir. On peut aller jusqu'à la confirmation écrite des opérations effectuées grâce au fax. En contrepartie, les clients attendent des agences bancaires un service de grande qualité, en termes d'accueil et de conseil.

Il faut s'attacher également au développement de systèmes automatiques de compréhension et de déduction du comportement des individus, afin de suivre les évolutions de la clientèle et de pouvoir proposer ce dont elle a envie (les usagers du minitel/téléphone se

rendent de moins en moins en agence et rencontrent donc peu leur conseiller mais ne sont pas forcément les clients les moins importants).

La réduction des coûts

Comme dans toute entreprise, la réduction des coûts de fonctionnement est un but recherché en permanence. Le paragraphe précédent a montré que la télématique en était un vecteur important, tout en améliorant la qualité de service. Ce n'est heureusement pas le seul.

Dans tous les domaines qui nécessitent la saisie de grands volumes de documents (services de documentation, juridiques...), la reconnaissance automatique de caractères permet d'importants gains de productivité en évitant la saisie manuelle des documents. Le traitement automatique des chèques est une voie explorée par les banques tant le gain espéré est important.

L'automatisation du traitement, c'est-à-dire l'interprétation et le routage des messages SWIFT[1], qui pose des problèmes d'acquisition de savoir-faire des opérateurs et de traitement de la langue naturelle, fait également l'objet de nombreuses études (thèse de Sylvie Larvor au LIASC).

Les domaines et services concernés

Nous allons maintenant présenter quelques services et domaines d'étude des banques concernés par l'application des sciences et techniques cognitives et de l'aide à la décision. Ceux-ci sont évidemment liés aux objectifs présentés auparavant. Nous verrons quels sont les outils des sciences et techniques cognitives pouvant les aider dans leurs tâches.

L'étude des besoins et comportements intéresse directement le service marketing afin de mieux connaître le «fond de commerce» de la banque. Une fois les besoins détectés, il devient possible de réaliser les produits ou services permettant de les satisfaire avec l'aide des services compétents (service épargne, crédits...). Le marketing a depuis longtemps utilisé les outils classiques (statistiques, segmentation, systèmes experts ...) afin de comprendre les attitudes des individus consommateurs. Cependant, ces derniers ne tiennent en général absolument pas compte de l'individu. La compréhension du traitement de l'information par l'individu peut permettre d'accroître de façon considérable l'efficacité de ces outils.

Le service communication doit trouver les moyens de mener des actions commerciales efficaces. Un client entrant dans une agence s'y rend pour faire des opérations ou pour obtenir des conseils. Dans le premier cas, il quitte souvent l'agence sans savoir ce qui s'y «fait». Il faut

1. Society for Worlwide Interbank Financial Telecommunication (Société pour le télécommunication fiancière mondiale)

pouvoir l'accrocher précisément et rapidement afin qu'il sorte en ayant (plus ou moins à son insu) mémorisé instantanément les messages que l'action commerciale veut faire passer. L'information reçue doit être concise, efficace et pertinente. Il faut pour cela éveiller son attention et susciter sa participation. On doit passer d'une information intrusive, que le consommateur n'a pas demandée, à une information invitative dont il est demandeur. Il aura alors une attitude plus réceptive et participative.

Le métier de conseil en gestion de patrimoine est un point clé dans la qualité de la relation banque/client. Or, le conseiller se trouve souvent face à un individu qui s'exprime peu ou mal. Afin de le satisfaire, il faut donner le bon conseil en tenant compte à la fois des envies du client, de sa situation fiscale et professionnelle, des produits déjà détenus... L'étude des processus de jugement et de décision du client peut s'avérer ici très utile. On peut dès lors s'intéresser aux systèmes d'extraction et d'analyse de processus cognitifs (pour traiter les «envies» du client) et aux systèmes cognitifs d'aide à la décision (qui intègreront l'ensemble de la situation pour aider le conseiller). C'est l'objet du travail présenté dans ce mémoire.

L'intérêt pour les salles de marchés de disposer d'outils d'aide à la décision, d'aide à la prévision de taux est évident. De très nombreux travaux y sont consacrés depuis de nombreux années. Très normatifs, avec une utilisation intense de modèles mathématiques, ces recherches connaissent certains succès mais aussi des échecs. Les techniques neuronales et génétiques y ont trouvé une place de choix. On peut également se demander comment les agents économiques font leurs choix, quelle est la sensibilité des agents aux effets de mode (Orléan, 1993) ? Cela permettra de mieux comprendre certains phénomènes collectifs de peur et de vente massive.

Les grandes entreprises sont des exemples typiques de systèmes multi-agents où la connaissance est répartie dans l'ensemble du personnel et où personne ne peut prétendre tout connaître. Il est souvent nécessaire de confronter plusieurs expertises de domaines divers pour résoudre un problème particulier. La résolution d'un problème complexe fait intervenir de nombreux agents (Drogoul, 1993). Elle passe alors nécessairement par une phase de communication : choix des bons interlocuteurs, choix de l'information à donner (concise et nécessaire) afin de mener à bien un projet ... Le langage doit être vu comme un acte de communication mais aussi comme un acte de décision. La création d'un produit d'épargne ou de crédit mais aussi l'analyse de la situation financière d'une entreprise sont des exemples de problèmes où l'expertise est très répartie. Un tel projet fait intervenir de nombreux spécialistes de domaines très divers (actuaires, juristes, commerciaux...) qui doivent communiquer et collaborer afin de le mener à bien. La résolution de ce type de problème est l'un des objets de l'intelligence artificielle distribuée.

Ainsi, de nombreux services peuvent améliorer leur efficacité, grâce à une utilisation adéquate de technologies nouvelles. La maîtrise de ces technologies véhicule de plus une bonne image : les clients ont une meilleure opinion des banques innovantes.

STC et Aide à la Décision dans le domaine bancaire

Les sciences cognitives

Andler (1989) décrit l'objectif des sciences cognitives de la façon suivante : «Elles ont pour objet de décrire, d'expliquer et, le cas échéant, de simuler les principales dispositions et capacités de l'esprit humain - langage, raisonnement, perception, coordination motrice, planification ...». L'auteur précise que c'est une définition prudente et selon lui «tout est dit, en un sens ; en un autre, tout reste à dire». Selon des auteurs tels que Vignaux (1992) cette approche présente un double inconvénient : celui, d'abord, d'inciter au caractère «totalisant» des sciences dites cognitives - «une nouvelle science de l'esprit ?» -, celui, ensuite, d'incliner à croire qu'il n'y aurait là que du «scientifique», voire du descriptif, et non du «philosophique». Les lecteurs intéressés par ce débat pourront consulter les références précédentes. Nous suivrons ici la définition d'Andler.

Le cognitivisme se caractérise par une focalisation sur l'intérieur du système cognitif, sa structure et son fonctionnement. Le postulat majeur d'une telle approche est que, si l'on connaît le système, on pourra dire ce qu'il peut faire et pourquoi il le fait. Du même coup, on pourra expliquer les dysfonctionnements du système (Weil-Barais, 1994).

Selon Varela (1989), le programme cognitiviste peut être résumé par les réponses aux questions suivantes :

- Question 1 : Qu'est ce que la cognition ?

  Réponse : Le traitement de l'information : la manipulation de symboles à partir de règles.

- Question 2 : Comment cela fonctionne-t-il ?

  Réponse : Par n'importe quel dispositif pouvant représenter et manipuler des éléments physiques discontinus : des symboles. Le système n'interagit qu'avec la forme des symboles (leurs attributs physiques), et non avec leur sens.

- Question 3 : Comment savoir qu'un système cognitif fonctionne de manière appropriée ?

  Réponse : Quand les symboles représentent de manière adéquate quelque aspect du monde réel, et que le traitement de l'information aboutit à une solution efficace du problème soumis au système.

Il va de soit que cela relève nécessairement d'une approche pluridisciplinaire mettant en oeuvre la biologie, l'intelligence artificielle, la philosophie, la linguistique mais aussi les mathématiques, la psychologie, etc.

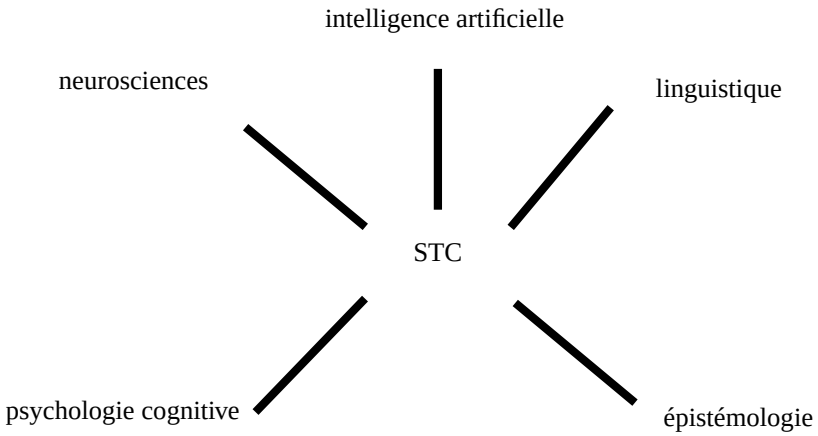


Figure 17. Principales disciplines contribuant aux STC (Valera, 1989)

Un des premiers objectifs des sciences cognitives est de contribuer à la formulation de concepts nouveaux, de type transversal, qui, selon (Andler, 1989), ne seront qu'une étape vers une future «science de la cognition». La «face visible» des progrès en la matière est la réalisation d'outils dits ou relevant de l'intelligence artificielle, dont les progrès sont incontestablement dus aux progrès de l'informatique, de la psychologie, des mathématiques et des sciences du vivant.

Faire une analyse complète des apports des sciences et techniques cognitives aux métiers de la banque est un travail certainement très difficile et long. Ce n'est pas le but visé ici. Aussi, on présentera seulement quelques domaines d'activités et de recherches intenses (l'aide à la décision, l'acquisition des connaissances et l'expertise, la communication Homme-Système, les systèmes distribués et la psychologie) qui montreront, on l'espère, l'intérêt que peuvent tirer les établissements bancaires à se joindre au mouvement. Bien que présentés séparément, ces domaines sont étroitement liés.

L'aide à la décision

Le métier de banquier se pose souvent en termes de prise de décision. Il faut décider d'effectuer tel ou tel placement, décider de l'octroi ou non d'un crédit ... La problématique de l'aide à la décision dans le domaine bancaire a donc une existence légitime.

- Pourquoi faire de l’aide à la décision ?

Les décisions sont le fait d’individus et nous allons voir rapidement quelles en sont les conséquences.

Le décideur rencontre très souvent des situations qu’il ne peut appréhender totalement à cause de leur complexité. Il se trouve noyé par la quantité d’informations à traiter alors qu’il est limité par ses capacités cognitives. Ces limites sont essentiellement dues aux capacités restreintes de sa mémoire (mémoire de travail) et de ses pouvoirs de calculs. Ainsi, pour analyser un ensemble d’alternatives (objets, décisions ...), le décideur ne peut retenir qu’un petit nombre d’aspects les décrivant. Il les juge, à tort ou à raison, pertinents et va fonder son jugement sur la base des valeurs prises par ces aspects. Il est couramment admis que ceux-ci sont au nombre de 4 ou 5 au maximum. Cela entraîne que de nombreux aspects du problème peuvent être tout simplement ignorés par le décideur. La complexité même de certains problèmes coupe court à la notion de «décideur unique idéal». Ce dernier devrait en effet posséder les connaissances et les moyens nécessaires à la résolution de ces problèmes. L’aide à la décision doit donc aussi s’intéresser aux systèmes où la présence d’agents multiples est requise.

Le décideur est perturbé par les incertitudes portant sur l’état futur du monde, troublé par ses propres préférences, souvent incertaines ; il peut avoir une mauvaise représentation du problème. Plusieurs points de vue, souvent contradictoires, devant être pris en compte, la décision ne peut que résulter d’un compromis. Le décideur se trouve écartelé entre plusieurs critères à respecter, tels le coût et la qualité. L’expérience nous prouve, en particulier pour ces deux exemples, que l’on ne peut les maximiser en même temps. Enfin, de nombreux autres paramètres tels la fatigue et la motivation peuvent influencer les comportements du décideur. Concernant la fatigue, il est important de remarquer que les horaires de travail ne sont pas toujours adaptés aux prises de décisions tardives.

Il en résulte que, bien souvent, la décision n’est pas optimale (au sens où elle n’est pas objective).

Tversky et Kahneman (1981) ont étudié les problèmes les plus fréquents. Parmi ceux-ci, on peut citer : la tendance à surestimer (respectivement à sous-estimer) la fréquence des événements à faible probabilité (respectivement à forte probabilité), l’«erreur du parieur» qui pense qu’un événement a d’autant plus de chance de se produire dans l’avenir immédiat qu’il ne s’est pas produit depuis un certain temps et, enfin la surestimation (respectivement la sous-estimation) de la probabilité des événements jugés favorables (respectivement des événements jugés défavorables).

Il est donc nécessaire d’aider le décideur à «rationaliser» ses choix, de lui permettre de les justifier, de progresser dans la résolution d’un problème, de lui fournir toute l’information utile et

l'aider pour tous les aspects qui ne relèvent pas de son domaine d'expertise ... C'est l'objectif des systèmes interactifs d'aide à la décision. Ils doivent d'une part faciliter l'exploitation des données et des modèles de manière à résoudre des problèmes complexes, peu structurés et d'autre part assister le décideur dans les choix qui ne dépendent pas de son domaine de compétence.

On distingue alors deux approches essentielles. La théorie normative, qui s'intéresse à la façon dont les décisions *doivent être* prises, est proche de la recherche opérationnelle et des techniques d'optimisation ... La théorie descriptive, qui étudie la façon dont les décisions *sont* prises, constitu une branche de la psychologie ... Dans le domaine économique, l'étude du comportement des agents tient une place très importante. On s'intéresse beaucoup à l'aspect descriptif de la prise de décision. Cependant, ces deux approches sont étroitement liées et leur collaboration peut être très fructueuse. Par exemple, pour un problème d'investissement, les agents d'agissent le mieux possible en essayant de maximiser une «fonction» représentant leurs objectifs.

- Les systèmes interactifs d'aide à la décision

Les systèmes interactifs d'aide à la décision (SIAD) visent à assister les individus dans leur décision.

Les SIAD, les systèmes d'aide à la vente et les systèmes experts ont d'ores et déjà trouvé de multiples applications dans des domaines très divers. En matière de gestion du personnel se pose le problème complexe de la gestion optimale des compétences et connaissances des individus sous de nombreuses contraintes, qu'elles soient financières, de mobilité ou bien de volonté. Ces systèmes permettent ici d'améliorer le recrutement, de définir les postes et de gérer les mutations. En gestion financière, ils autorisent une meilleur gestion tout en respectant des contraintes préalablement fixées comme le niveau de risque d'un investissement. Cela a été l'un des domaines de prédilection de ces systèmes. Le marketing et la prospective économique (l'étude des besoins, des modèles de prévision de la consommation et la mise au point de nouveaux produits) ont également recours à ce genre d'aide. La prise en compte du profil client sous tous ses aspects (fiscal, situation familiale, préférences, produits détenus ...) pose des problèmes décisionnels complexes pour le banquier et la pertinence de l'utilisation de systèmes d'aide au conseil et à la vente n'est pas à démontrer. Ces derniers doivent en particulier tenir compte de l'aspect interactif important de leur domaine d'application.

La capacité qu'ont ces systèmes à rendre compte de leurs choix permet à l'utilisateur de les comprendre et de les admettre facilement ou bien de les remettre en cause mais en sachant pourquoi. Parallèlement, ils peuvent être des outils puissants pour aider et former les experts-novices dans leurs tâches. Ces systèmes permettent en effet de mettre en valeur et de partager une compétence parfois rare : l'expertise.

Ces systèmes déchargent le décideur de tâches répétitives, lui fournissent une «mémoire de travail» dans la mesure où la machine n'oublie pas les aspects importants à traiter. La réalisation de tels systèmes est donc un enjeu considérable, mais leur mise au point ne se révèle pas triviale. Nous avons déjà évoqué les aspects normatifs et descriptifs de la théorie de la décision. L'expérience de tels systèmes a en particulier montré que, dans beaucoup de situations, l'homme était, malgré ses limites, souvent plus performant que la machine dans la mesure où il offre notamment des solutions stables et fiables. Il sait de plus s'adapter aux situations nouvelles alors qu'un outil purement informatique ne peut le faire. Ainsi une voie à explorer est la coopération Homme/Système afin de profiter des avantages offerts par chacun.

Il faut donc s'intéresser à l'expérience, à l'expertise et au savoir-faire de l'individu mais aussi au problème de la répartition des compétences entre l'homme et la machine en fonction des différentes tâches à accomplir.

Décideur/expert humain et expertise

Il ne s'agit pas ici de développer la problématique de l'expertise. Il faudrait s'attacher à la définir, ce qui peut être est en soit un travail important. De même discuter de toutes les méthodes mises en oeuvre pour accéder à l'expertise humaine sortirait du cadre de cette présentation qui se veut succincte (voir le chapitre 2).

- L'extraction d'expertise

Le problème d'acquisition de règles de décision (ou de stratégies expertes) est déterminant pour la qualité des systèmes experts. Ce problème est, et de façon unanime, reconnu comme l'une des grandes limitations dans la construction des systèmes à base de connaissances.

C'est aussi un moyen d'améliorer les compétences de l'expert. Par rétro-action avec l'expert, il est possible d'exhiber des solutions intéressantes qu'il n'envisageait pas lui-même. La conservation et la transmission du savoir, des connaissances est un problème qui préoccupe de plus en plus les entreprises. Le besoin d'une «capitalisation» du savoir se fait sentir de plus en plus pressant pour de nombreuses raisons. Les experts d'un domaine sont bien souvent (et peut-être par définition) rares. Leur départ de l'entreprise pose le problème de la perte de certaines compétences. Leur rareté et leur indisponibilité nécessite le partage de leur l'expertise ...

Les techniques et outils mis en œuvre pour apprendre les connaissances et le savoir faire des experts sont nombreux : analyse de documents écrits, analyse du discours de l'expert, analyse de son comportement en situation d'expertise, reconstruction personnelle[1] ...

- Applications des systèmes experts et systèmes d'aide à la décision

Pour simplifier, on dira qu'un système expert est un programme informatique capable de «reproduire» des raisonnements d'experts dans un domaine précis. L'architecture des systèmes experts et leur mode de fonctionnement sont désormais bien connus (voir par exemple, Pomerol, 1990), . En matière d'application, les systèmes experts touchent tous les domaines d'activité des banques et des assureurs : gestion du personnel (mutations, recrutements...), réalisation de diagnostic social (protection, motivation, fidélisation et information des salariés), gestion financière (choix de placements...), marketing, conseil (vente de produits, crédits...), gestion de l'appareil de production (détection de panne des automates...).

Une application évidente est le conseil en gestion de patrimoine. En effet, de part la diversité des orientations possibles et la complexité des données à traiter, personne n'est en mesure d'intégrer la globalité de la situation et d'en déduire une solution «optimale» (si celle-ci existe !). Ce type d'application doit aider les conseillers auprès de la clientèle en matière de placements. Disposer d'un système traitant à la fois les caractéristiques des marchés (financier, immobilier, matières premières...), les contraintes financières de l'établissement, le statut financier du client (ses avoirs, sa situation fiscale...) et ses objectifs personnels (goût du risque...) est un réel avantage sur la concurrence. Un tel système permet en effet de satisfaire à la fois le client (conseil personnalisé et juste) et l'établissement financier (respect des contraintes) et d'obtenir un gain de productivité non négligeable. Remarquons qu'en fait, il peut être constitué de plusieurs modules experts (pour l'analyse financière, pour traiter les «envies» du client : l'extraction et l'analyse de processus cognitifs...). Pour l'analyse fiscale, on sent bien la nécessité d'une aide ; l'expert existe, c'est la documentation fournie par l'administration fiscale. Qui connaît l'intégralité de ce «best seller» et sait optimiser son utilisation ?

Pour les mêmes raisons, le diagnostic d'entreprise est un problème délicat et complexe. Or, cette analyse doit être de qualité afin de décider de l'octroi ou non d'un crédit. Un système expert réalisant le diagnostic financier d'une entreprise et une analyse du risque peut aider la banque à prendre sa décision. Ce type d'application est également intéressant pour les crédits à la consommation : cela simplifie les démarches (pour le conseiller et le client) et accélère les procédures (en déchargeant le conseiller de certaines tâches).

Nous parlons de système d'aide à la décision et non de système de décision parce que l'utilisateur garde toute sa place et est fortement impliqué dans le processus de décision. C'est une collaboration active entre l'Homme et la machine qui doit permettre de prendre les décisions

1. Technique d'entretien conçue dans les années cinquante en psychothérapie clinique pour aider les patients à prendre conscience de la façon dont ils structurent leur monde. Appliquée au transfert d'expertise elle doit faire prendre conscience à l'expert des concepts qu'il emploie pour structurer sa connaissance (Boose, 1986).

«optimales». Les problèmes de communication (qui est loin d'être naturelle) entre l'Homme et le Système sont donc des points essentiels à traiter pour l'efficacité de tels systèmes mais aussi pour toutes les applications informatiques faisant intervenir de façon importante l'Homme.

Enfin, il convient de signaler l'importance des conséquences du développement des systèmes experts sur les organisations. Les systèmes intelligents deviennent une composante importante de la stratégie des entreprises. En tant que nouveaux outils, ils peuvent susciter résistance ou au contraire appropriation de la part des individus mais aussi une remise en question de l'organisation. Ainsi, selon Pomerol (1990), certaines d'entre elles, profitent de l'émergence des systèmes experts pour impulser un processus de changement centré sur les connaissances. Il s'agit, par exemple, de mener toute une réflexion sur la gestion des savoirs et des savoir-faire, d'effectuer des choix entre informations utiles et inutiles.

La communication Homme-Système

La pénétration de l'informatique dans tous les domaines d'activité a apporté des machines sur tous les bureaux ou presque. La complexité croissante des logiciels et les exigences grandissantes des utilisateurs ont conduit à se poser le problème de la communication et des interactions entre l'homme et la machine. Les richesses fonctionnelles de ces outils ne doivent pas s'exercer au détriment de la simplicité d'emploi.

Les développements consacrés aux interfaces Homme-Système ont été longtemps négligés et souvent considérés et traités à la fin des projets. Il est désormais acquis que la conception des interfaces doit être une partie importante des logiciels. L'interface est la couche de communication entre l'utilisateur et le système. Elle doit donc être traitée comme une composante essentielle de tout système faisant coopérer l'Homme et un système artificiel. La qualité de l'interfaçage a des conséquences non négligeables sur la bonne utilisation des outils et la rapidité d'apprentissage de l'opérateur mais aussi sur sa satisfaction à les utiliser. Elle conditionne également la qualité de fonctionnement du système dans son entier. Il existe de plus un risque pour les personnes ayant des difficultés à s'adapter à cette nouvelle technologie. C'est à la machine de s'adapter à l'homme et non le contraire.

Plusieurs aspects de la communication Homme-Système doivent et peuvent être pris en compte. Les interfaces graphiques sont essentielles pour les logiciels interactifs. La compréhension du langage naturel et donc des idées véhiculées par le langage permet d'envisager une amélioration importante pour l'interrogation de bases de données.

- L'interface Homme-Machine

C'est l'étude des phénomènes cognitifs, des matériels et des logiciels mis en jeu dans l'accomplissement de tâches avec un système informatique. C'est un domaine pluridisciplinaire

(ergonomie, psychologie, informatique, biologie...), innovant et nécessitant souvent le recours à l'expérimentation. On peut distinguer deux approches essentielles : la première produit des modèles pour prédire et expliquer le comportement des sujets, la seconde s'appuie sur des observations expérimentales. Ces études sont motivées par le fait qu'il faille réaliser un lien entre les variables psychologiques du monde de l'utilisateur et les variables physiques du monde réel. Les modèles doivent, entre autres, réduire les distances entre l'exécution et l'interprétation, permettre de personnaliser les interfaces, etc.

L'intérêt est essentiel pour tous les systèmes d'aide à la décision puisque ceux-ci sont par nature interactifs. La fréquentation et la bonne utilisation des outils disponibles dans les agences libre service ou des outils télématiques dépend fortement des modes de communication entre les usagers et les machines.

- Le traitement des langues naturelles

Comment ne pas imaginer un mode de communication avec la machine plus simple et en même temps plus riche que notre mode naturel d'expression ? Cette communication serait certainement plus efficace mais surtout plus «humaine». L'utilisation des langues permet en effet de transmettre bien plus que ce qu'on dit : elle permet aussi d'exprimer ce qu'on imagine que l'interlocuteur va inférer de ce qu'on dit. Ce type de compréhension implique la manipulation de nombreuses représentations supposées en relation avec nos représentations mentales. La compréhension des langues naturelles est également à la base de toute volonté de réalisation de traducteurs automatiques, de générateurs de texte ... C'est aussi, d'après Georges Vignaux (1992), l'un des domaines essentiels dans les études sur la cognition : si l'on reprend la définition de la cognition comme l'étude classique des fonctionnements de l'intelligence humaine à partir de leurs manifestations observables et interprétables , on voit qu'il s'agit en grande partie d'analyser et de modéliser des activités et processus de perception, de mémorisation ou des phénomènes et procédures d'apprentissage, lesquels dépendent du langage en tant que système support et surtout régulateur de nos expressions symboliques «supérieures» et socialisées.

Le traitement des langues naturelles par la machine nécessite au moins trois disciplines : la linguistique (étude de la langue), la psychologie (étude des mécanismes de compréhension chez l'homme) et l'intelligence artificielle (simulation des processus intelligents). Les difficultés sont nombreuses. Comprendre le langage est une activité non évidente, et on sait les difficultés qu'à la psycholinguistique à expliquer ne serait-ce que comment et par quel mystère les enfants apprennent si vite et si spontanément leur langue maternelle (Vignaux, 1992). Il faut s'intéresser au lexique (sens des mots et information sur les mots) et à la grammaire (structure des phrases). Comprendre un texte suppose souvent d'avoir des connaissances générales sur le monde ou des connaissances précises dues au contexte (par exemple la signification de la phrase «Mettons les

voiles» ne sera pas la même suivant que l'on se trouve sur un voilier ou dans une banque cambriolée) mais aussi des connaissances sur la langue (c'est-à-dire comment cela est dit).

L'intérêt du traitement des langues naturelles peut également résider dans le traitement automatique des textes et la gestion des systèmes d'information. Disposer d'un système permettrait de retrouver (ou créer) des documents à partir de leur contenu sémantique. Les services juridiques et documentations sont par exemple directement concernés. Ils doivent maîtriser de grandes quantité d'information (textes des lois, documentations diverses ...) et pouvoir en tirer parti le mieux possible. La nécessité d'élaborer et d'utiliser des thésaurus rend les professionnels de l'information très sensibles à tous types d'outils linguistiques (Blanquet, 1994).

Les systèmes distribués

- L'intelligence artificielle distribuée

L'intelligence artificielle distribuée cherche à construire des systèmes informatiques où les connaissances, les traitements et les autorités sont répartis entre plusieurs agents. Elle s'interroge sur la formation d'une dynamique collective d'un groupe d'agents dans la résolution de problèmes alors qu'aucun agent n'est capable de la penser. L'agent est alors considéré comme une entité autonome, capable de représenter ses propres connaissances, de prendre des décisions et d'interagir avec son environnement. L'interaction est une problématique essentielle dans les univers multi-agents. Elle se traduit par la communication d'informations. L'acte de communication des agents est déterminé par les connaissances (environnementales, sociales ...) et les buts. Ceux-ci doivent permettent de choisir l'instant de la communication, le contenu et les bons interlocuteurs.

- La vie artificielle

Ici l'accent est mis sur la capacité des sujets à maintenir leur viabilité et leur autonomie dans des environnements variés et changeants. C'est un domaine pluridisciplinaire (sciences biologiques, sciences cognitives, mathématiques, physique, etc) dont l'une des ambitions est d'étudier les systèmes vivants afin de créer des systèmes artificiels ayant des propriétés comparables (mais aussi de se servir de simulations pour comprendre les phénomènes vivants).

Comment des agents économiques, avec leur rationalité limitée, parviennent-ils à faire émerger les structures complexes des économies modernes ? Comment des neurones (très limités, à la dynamique locale) peuvent-ils fournir des réponses adaptées à des environnements complexes lorsqu'ils sont reliés en très grand nombre au sein d'un réseau ? Comprendre ces phénomènes d'intelligence collective peut être d'un grand apport pour insérer plus d'autonomie dans les systèmes d'information et de décision.

Ainsi, à partir d'hypothèses de comportement des agents et de simulations, on peut étudier la dynamique des marchés financiers, l'auto-organisation, la formation des prix, la relation banque/client (Lefebure *et al.*, 1994) ...

- Les réseaux connexionnistes

C'est en 1943 qu'est né le neurone formel de Mc Culloch et Pitts (modélisation du neurone naturel à l'aide d'un automate à seuil à plusieurs entrées). Le neurone formel constitue l'unité de base des systèmes connexionnistes et, en 1957, Rosenblatt propose un prototype de machine adaptative capable d'apprentissage. Cependant, en 1968, Minsky et Papert démontrent que le perceptron ne peut résoudre que des problèmes «simples». Il faudra attendre le début des années 80 pour voir surgir des réseaux et des méthodes d'apprentissage efficaces (réseau de Hopfield pour l'étude des systèmes désordonnés ; Le Cun pour l'algorithme de rétropropagation du gradient). Les recherches sont depuis nombreuses et variées. Elles portent tant sur les algorithmes d'apprentissage, sur l'architecture des réseaux que sur les modèles mathématiques (Bourret *et al.*, 1991) . C'est donc un domaine récent qui reste très prometteur notamment avec l'arrivée de machines dédiées à ce genre d'applications.

Les applications sont très nombreuses. Lorsque l'on veut faire de la classification et que les différentes classes sont bien connues, on utilise facilement l'apprentissage supervisé (on présente une série d'exemples avec les bonnes réponses). Le réseau doit reconnaître des formes inconnues. L'apprentissage non supervisé est couramment utilisé dans les cas où on ne connaît pas les classes, soit par manque d'information, soit parce que le volume d'information est trop important pour être étiqueté à la main ... Signalons, enfin, l'apprentissage de séquences temporelles où le réseau doit reconnaître ou reproduire des séquences, ou encore faire des associations temporelles.

Pour mesurer le risque couru et pour décider de l'octroi ou non d'un prêt, il peut être utile pour l'organisme prêteur d'avoir un système de classification (par exemple en deux classes : les «bons payeurs» et les «mauvais payeurs») des candidats emprunteurs. C'est une application typique des réseaux de neurones car on peut disposer de nombreux exemples pour l'apprentissage (supervisé). De même, on peut s'intéresser à la détection et à la prévention de défaillance d'un emprunteur afin d'intervenir avant qu'il ne soit trop tard.

La reconnaissance de la parole (pour l'interrogation de comptes par téléphone et les problèmes d'indentification vocale) et des chiffres manuscrits (pour une meilleure gestion de la filière chèque) sont deux types de problèmes auxquels les connexionnistes s'attaquent vigoureusement et obtiennent de bons résultats, particulièrement pour la reconnaissance de la parole (Bottou, 1991). Le taux d'équipement en téléphone des ménages étant très important, l'intérêt de développer les systèmes d'interrogation de comptes par téléphone est évident. La reconnaissance de l'écriture manuscrite reste encore un problème difficile à résoudre. Les

chèques ne peuvent donc pas être l'objet de traitements entièrement automatiques. Cependant, les progrès réalisés autorisent les premiers automates avec lecture des chèques. Ils sont actuellement testés par différentes banques.

Enfin, dans le domaine de la prévision de séries chronologiques à caractère économique, on peut signaler les travaux menés en «prévision de taux». Le réseau doit prévoir la fin d'une séquence (de taux) dont il ne voit qu'une partie (les taux connus). Mais les résultats ne sont pas encore excellents. Les réseaux prévoient assez bien (prévision supérieure à 85 %) les taux uniquement dans des périodes faiblement perturbées.

La psychologie

La psychologie s'est intéressée essentiellement aux aspects individuels et sociaux de la prise de décision et plus généralement au comportement des individus face à différentes situations : la façon dont les individus forment leurs représentations, la rationalité de leurs choix, l'étude des processus de jugement, des phénomènes d'influence dans la formation du jugement personnel, les effets du stress, les études sur la mémoire, pour ne citer qu'eux, sont autant de domaines traités par la psychologie cognitive. Chacun d'entre-eux trouve des applications dans l'étude des marchés, dans les techniques de communication par exemple.

Parmi les aspects sociaux, on peut s'intéresser aux conséquences de la nécessité de justification sur le choix d'une stratégie de décision, à la notion de groupe, aux rôles sociaux des agents et à leurs influences mutuelles (via le langage, leurs connaissances, ce qu'ils anticipent des autres agents ...) ... Un effet immédiat de la nécessité de se justifier est que le décideur choisit de préférence une règle de décision «simple» car facile à justifier. Pour Tversky (1972), c'est la règle de l'élimination par aspects qui est préférée, pour Adelbratt et Montgomery (1980), c'est la règle conjonctive.

L'étude du comportement des individus au sein d'un groupe, où l'identité d'appartenance à ce groupe tient une grande place dans leur façon d'agir, est très intéressant pour les établissements à caractère mutualiste et pour la compréhension des phénomènes sociaux et coopératifs (Arrow, 1974 ; Dawes *et al.* 1988). L'étude des interactions entre les décisions individuelles et de leurs effets sur les résultats collectifs est une tâche importante de l'économie(on peut alors s'intéresser à la psychologie de l'individu mais aussi aux systèmes auto-organisateurs). Quels que soit les attitudes individuelles, les actions des agents se réalisent au sein d'une société. L'ignorer, c'est se priver de la compréhension de nombreux phénomènes. L'intégrer complètement aux modèles de comportement reste très difficile étant donnée la montée en complexité lorsque l'on passe de l'individu à une société !

Les marchés financiers où chacun spécule sur les croyances des autres et où chaque agent est sensible aux effets de mode (Orléan, 1993), constituent un bon exemple de l'application de la psychologie cognitive à l'économie ; comment les agents économiques prennent-ils leurs décisions, comment les informations locales sont-elles agrégées au niveau global du marché dans une dynamique collective ? Les effets de panique collective influent énormément sur le marché : c'est le cas lorsque des mauvaises nouvelles sur quelques titres entraînent des ventes massives, accélérant ainsi le processus de chute des cours.

Etudier la façon dont les individus se déplacent (physiquement ainsi que du regard) dans les agences bancaires, dont ils traitent l'information, peut permettre de mener les actions commerciales de façon efficace. C'est se donner la possibilité de faire le lien entre l'aménagement des agences et la communication : choix des emplacements, tailles, contenu des panneaux publicitaires.

De même, savoir pourquoi et quand un emprunteur va renégocier son prêt (c'est-à-dire bien souvent son taux en cas de baisse des taux mais aussi parce que le bien acquis est vendu ...) est nécessaire pour les établissements de crédit afin de bien mesurer le risque de remboursement anticipé (Franchot et Gourieroux, 1992). Il est intéressant de voir que deux emprunteurs dont les prêts sont presque les mêmes ne renégocient pas leur taux au même moment. Il faut en effet tenir compte de divers paramètres (qui sont appréciés de façon individuelle) : la connaissance du monde que possède l'agent économique (il ne connaît pas toujours les taux disponibles), sa volonté de se désengager (les pénalités sont parfois dissuasives), ses croyances (il peut espérer une baisse des taux supplémentaire). Il faut donc disposer de modèles intégrant ces éléments afin d'en déduire son comportement.

Appropriation de ces techniques par les banques et conclusion

L'IA naquit officiellement en 1956 lors de la conférence de Darmouth. L'objectif de cette nouvelle science était sans ambiguïté de rendre les machines plus «intelligentes» et de leur donner la possibilité de réaliser des activités jusque là exercées exclusivement par des êtres humains. Elle est restée, jusque dans les années 70, un programme de recherche. Peu à peu, après quelques succès et quelques échecs, les STC et l'IA se sont diffusés dans les grandes entreprises françaises dans le milieu des années 80. Cette diffusion ne s'est pas faite de façon homogène et il existe aujourd'hui des entreprises possédant une nette avance voire une «culture STC». L'intérêt est donc récent mais les résultats encourageants laissent présager un investissement futur important (en hommes et en moyens financiers).

Les établissements financiers se sont essentiellement intéressés aux systèmes experts, du moins pour ce qui concerne leurs premières approches des STC. Peu à peu, les techniques neuronales et les algorithmes génétiques ont fait leur apparition. De nombreuses applications

sont déjà opérationnelles avec les systèmes experts (analyse de risque, conseil ...) et les réseaux de neurones (reconnaissance de chiffres et aide à la décision). Les applications qui motivent le plus les banques sont principalement les systèmes d'aide à la décision et les systèmes à base de connaissance, les outils de compréhension du comportement des individus, les interfaces Homme/Système et la reconnaissance des formes.

Parmi les établissements français faisant preuve d'une intense activité, citons sans prétendre à l'exhaustivité, la Banque de France (Centre d'Intelligence Artificielle), les Caisses d'Epargne de Flandre (Lefebure, Santerre et *al.* 1994 ; Lefebure et Le Bret, 1995), la Compagnie Bancaire. D'autres font appel à des sociétés en partie spécialisées dans l'ingénierie des problèmes financiers. Par exemple le système BEST (aide à la décision en matière de crédit) de la société PrologIA est utilisé par de nombreuses banques.

On peut alors observer l'importance de la connaissance des opérateurs humains qui réalisent ces tâches habituellement. La mise au point des outils qui sont aujourd'hui opérationnels a très souvent nécessité de passer par une ou des phases d'acquisition d'expertise ou d'apprentissage (Lenca, 1996 ; van der Spek, 1995).

Le travail qui est présenté dans ce document se situe au carrefour de l'acquisition et de l'apprentissage. On en montrera, en particulier, l'intérêt pour l'amélioration de la relation banque/client au travers d'un système d'aide au conseil en matière d'épargne.

Annexe 2 - Règles du sujet 1 - expérience 1

Règle 1

Si
Disponibilité ≥ sous 3 mois minimum
Alors le produit est accepté

Règle 2

Si
Rendement escompté ≥ bon
Taux minimum garanti ≥ 6%
Alors le produit est accepté

Règle 3

Si
Rendement escompté ≥ très bon
Taux minimum garanti ≥ 4.5%
Alors le produit est accepté

Règle 4

Si
Fiscalité ≥ déclaration des plus values dans les revenus
Taux minimum garanti ≥ 4.5%
Disponibilité ≥ sous 2 ans minimum
Alors le produit est accepté

Règle 5

Si
Fiscalité ≥ déclaration des plus values dans les revenus
Taux minimum garanti ≥ 6%
Alors le produit est accepté

Règle 6

Si

Fiscalité ≥ prélèvement forfaitaire de 20%
Rendement escompté ≥ bon
Taux minimum garanti ≥ 4.5%
Disponibilité ≥ sous 5 ans minimum

Alors le produit est accepté

Règle 7

Si

Fiscalité ≥ net d'impôt
Taux minimum garanti ≥ 4.5%

Alors le produit est accepté

Règle 8

Si

Fiscalité ≥ net d'impôt
Rendement escompté ≥ très bon

Alors le produit est accepté

Annexe 3 - Expériences menées pour la construction de l'espace des possibles

La construction de l'espace des possibles pour des situations réelles nécessite une expertise du domaine traité.

Pour le monde de l'épargne, nous avons donc effectué de nombreuses consultations de professionnels (responsable marketing, conseillers, responsable de la gestion de patrimoine) complétées par des lectures d'articles spécialisés, des visites en agence pour assister à des entretiens conseils. Nous avons également réalisé deux *mini-expériences* avec des épargnants. Elles nous ont permis de choisir les attributs et valeurs utilisés pour les expériences présentées au chapitre 3.

La première expérience consistait à :

- proposer des profils (réels et fictifs) de produits d'épargne en ne présentant qu'un attribut, puis un second, etc.

  Les individus devaientt à chaque étape donner tous les noms de produits (réels) qui leur semblait correspondre aux caractéristiques dévoillées.

La seconde expérience consistait à :

- proposer des noms de produits d'épargne (réels).

  Les individus devaientt décrire ces produits en terme d'attribut/valeur et préciser ce qui les caractérisait le plus.

Annexe 4 - Principaux produits d’épargne (cités dans le rapport de thèse).

LIVRET A et LIVRET BLEU

LIBRET B

CODEVI : Compte pour le Développement Industriel.

FCP : Fonds Communs de Placement.

SICAV : Sociétés d’Investissement à Capital Variable.

SCPI : Sociétés Civiles de Placement Immobilier.

OPCVM : Organismes de Placements Communs en Valeurs Mobilières.

PEA : Plan d’Epargne en Actions.

PEL (CEL) :Plan (Compte) d’Epargne Logement:

PEP : Plan d’Epargne Populaire.

Assurance-Vie.

DAT : Dépot A Terme.

Annexe 5 - L’épargne

Le monde de l’épargne

Le but de cette annexe n’est pas de faire un bilan complet du monde de l’épargne mais d’en montrer rapidement la complexité et les difficultés que peuvent rencontrer les épargnants dans leurs choix.

L’épargne

Définition (dictionnaire Le Robert)

Epargner c’est «Maintenir ses dépenses à un niveau inférieur aux recettes en vue de se constituer des réserves».

Septs grandes motivations d’épargner

Les raisons d’épargner peuvent se classer en sept grandes catégories :

1. Régulariser rentrées et sorties d’argent pour faire face aux creux de trésorerie.
2. Faire face aux imprévus (période de chômage, maladie sérieuse, décès ...).
3. Financer une dépense importante (logement, études des enfants, voyages ...).
4. Financer une activité professionnelle (équipement ...).
5. Anticiper et/ou compléter sa retraite.
6. Transmettre ses biens (on épargne pour son conjoint, ses enfants ...).
7. S’enrichir sans objectif particulier.

A ces sept catégories, on peut également ajouter le désir de revenus supplémentaires et les déductions fiscales.

A la question «pourquoi épargnez-vous ?», posée par la Sofrès en 1982, près de la moitié des personnes ont répondu : «pour parer à des ennuis imprévus». L’épargne de précaution tient donc une place majeure dans les motivations des ménages. Vient ensuite l’épargne en vue d’une dépense future pour un tiers des ménages. L’épargne spéculative n’arrive qu’en dernière position. On comprend aisément pourquoi la disponibilité de

l'argent est un facteur important pour les épargnants. Ceci implique évidemment des préférences pour les produits laissant l'argent disponible. Aujourd'hui, la même question ferait certainement apparaître, en plus, le besoin de préparer sa retraite.

Les raisons d'épargner sont donc très diverses et variées. Les possibilités offertes pour satisfaire une seule des motivations sont très nombreuses (établissements et produits). Le nombre de possibilités s'accroît alors considérablement lorsqu'il s'agit à la fois, de faire face aux imprévus (CEL, CODEVI, LIVRET, SICAV COURT TERME ...), de financer l'achat d'un logement (CEL, PEL, Crédits ...) et de préparer sa retraite (Assurance-vie, PEP, PEA, immobilier, SICAV distribuant des revenus , Obligations ...).

Un monde en mouvement (données depuis 1980)

- Variation du taux d'épargne

	1981	1985	1987	1988	1989	1990	1992
Taux d'épargne	18,0	14,0	10,8	11,4	11,7	12,4	12,8
Epargne non-financière	11,3	9,2	9,2	9,0	9,8	9,6	8,8
Epargne financière	6,7	4,8	1,6	2,4	1.9	2,8	4,0

Tableau 10 : taux d'épargne des ménages en France en % du revenu brut disponible

Ainsi, sans chercher à expliquer ici les raisons de ces variations, on ne peut que constater que les français consacrent de fortes sommes d'argent à l'épargne et, si le taux d'épargne non financière est assez stable, il en est autrement pour l'épargne financière. Ces chiffres représentant une moyenne, les écarts entre ménages restent très importants.

- L'apparition de nouveaux produits

Les produits naissent et meurent au gré des institutions. Deux produits importants ont été créés ces dernières années : le Plan d'Epargne Populaire (PEP) en 1990 et le Plan d'Epargne en Actions (PEA) en 1992.

Le succès du PEA semble désormais assuré même si, dans un premier temps, on lui reprochait d'avoir entraîné en grande partie un transfert d'argent et non une collecte nouvelle. Il doit être le moteur d'un retour des Français vers les placements boursiers.

Les modifications du contexte institutionnel et fiscal

La fiscalité des placements change très fréquement et modifie le comportement des épargnants. C'est d'ailleurs bien souvent le but espéré. Les mesures fiscales, en particulier, doivent permettre de réguler l'épargne et la consommation.

Rien que pour l'année 1993, on peut noter les modifications importantes suivantes : diminution du seuil (qui se traduit en fait par la création d'un demi-seuil dont les nouvelles réductions[1] sont déjà planifiées), suppression de la prime d'Etat pour le PEP, possibilité de transférer les SICAV monétaires (avec report d'imposition) sur d'autres supports (PEA, immobilier) en échappant au fisc, augmentation des avantages liés aux placements immobiliers, rehaussement du plafond de dépôt pour le CODEVI ...

La nouvelle fiscalité 1994 sur les revenus va modifier l'arbitrage *déclaration/ prélèvement libératoire* de certains épargnants.

Enfin, plus récemment (1995 et 1996), notons la suppression progressive des avantages fiscaux de l'assurance-vie, la diminution des taux d'intérêts (en particulier ceux du Livret et de l'épargne logement).

Les modifications du contexte économique

La baisse des taux fait chuter le rendement des SICAV monétaires. Associée à une fiscalité plus dure, elle entraîne des transferts massifs vers d'autres supports.

Les placements et investissements immobiliers sont favorisés : crédits moins chers, avantages fiscaux accrus ... Ces derniers seront cependant supprimés à la fin de l'année 1996.

Les perspectives actuelles pour la retraite (augmentation des cotisations et de leur durée, diminution des pensions) inquiètent beaucoup les Français. Ainsi, en 19993, ils ont consacré 52% de leur épargne aux produits d'assurance-vie !

1. Signalons que ceci conduit presque à la disparition de la notion de seuil et introduit alors une dimension qui pouvait presque être négligée auparavant : la notion d'«aller-retour». En effet, beaucoup d'épargnants vont atteindre rapidement le demi-seuil à 50.000 francs.

Les modifications de l’environnement sociologique

L’autonomie accrue des femmes, la diminution du nombre des mariages par exemple, modifient l’attitude d’épargne des ménages.

Les changements de comportement des agents financiers

Comme on vient de le voir, le comportement des ménages peut s’expliquer parfois «assez» facilement. Cependant, ce n’est pas toujours le cas et les changements sont lents à se manifester. Il faut remarquer aussi l’importance du comportement des agents financiers et des «effets d’offre» dont ils peuvent être les initiateurs. La logique produit qui était prédominante jusqu’à ces dernières années ne suffit plus. Elle doit céder sa place à une logique de consommateur dans laquelle le client doit être connu, non plus par rapport aux produits proposés, mais par rapport à ce qu’il souhaite acheter, à ses besoins financiers, à ses comportements. Un nouveau produit peut en effet rencontrer un besoin spécifique d’épargne que les ménages ne pouvaient pas réaliser en son absence, ce qui finissait par les faire renoncer à leur acte d’épargne. Ici, un placement nouveau peut susciter de l’épargne nouvelle et puisqu’il répond à des besoins réels, satisfaire l’épargnant. Il faut savoir déterminer les besoins juste à temps.

Une multitude de produits

Les produits d’épargne (ou supports d’épargne) sont très nombreux et on n’établira pas une liste exhaustive (en existe-t-il une, adoptée par tout le monde ?) dans ce document. Certains placements pouvant paraître marginaux sont pourtant très appréciés et mobilisent de grosses sommes d’argent (objets d’art, vignes ...) :

Les placements en prêt d’argent

- Les livrets (livret A, livret B, livret bleu, livret d’épargne populaire, CODEVI ...),
- Les bons,
- Les comptes (à terme ...),
- Les systèmes d’épargne-crédit (épargne logement, épargne entreprise),
- Les prêts entre particuliers,
- etc.

Les placements boursiers

- Les valeurs mobilières à revenu fixe (obligations françaises et étrangères),
- Les valeurs mobilières à revenu variable (actions cotées : actions de sociétés industrielles, commerciales, financières, sociétés immobilières ...),
- Les sociétés et fonds d'investissement (SICAV, fonds communs de placement ...).

L'or

- L'or métal (lingots, pièces, objets en or ...),
- Actions de mines d'or, SICAV or.

Les placements de capitalisation

- Contrat d'assurance-vie,
- Bons de capitalisation,
- etc.

L'immobilier et le foncier

- L'achat de la résidence principale ou secondaire,
- Immobilier de rapport (habitation, bureaux ...),
- Parts de SCPI,
- Terrains à bâtir, agricoles,
- Parts de GFA, forêts ....

Placements divers

- Biens d'équipement (wagons, conteneurs, ...)
- Diamants et pierres précieuses ...
- Animaux (bovins, chevaux ...),
- Vins et alcools,
- Cinéma,

- Matières premières (Bourse de commerce).

Objets d’art et de collection

- Tableaux,
- Meubles,
- Monnaies,
- Livres, etc.

Placements viagers

- Contrat de rente viagère,
- Régimes de retraite facultatifs,
- Plan d’Epargne Retraite et Plan d’Epargne Populaire.

Participation dans une entreprise non cotée et capital-risque.

Une multitude de paramètres

La complexité du monde de l’épargne se trouve accentuée par les nombreux paramètres décrivant les produits d’épargne. On peut aisément en isoler une dizaine par brochure publicitaire (taux, fiscalité, frais ...). A ceci, il faut ajouter les différentes modalités que peuvent prendre ces paramètres (versements libres/versements périodiques, déclaration des revenus/prélèvement libératoire, durée du placement, montant minimum des versements ...). Comment choisir ?

L’épargnant doit également appréhender d’autres composants : dividendes, bénéfices, rentabilité, plus/moins-value, baisse/hausse des taux ...

Une multitude d’établissements et une concurrence féroce

Celles-ci ne facilitent pas le choix de l’épargnant d’autant plus que tous les organismes prétendent défendre au mieux les intérêts de leurs clients et être les meilleurs (logique, non ?). Ces dernières années ont vu surgir de nouveaux concurrents pour les organismes «classiques» sur le marché (Grande Distribution, la Poste ...), ce qui rend le marché de plus en plus difficile et met le client en situation d’être de plus en plus tenté par des infidélités. Cette explosion du marché lui permet d’être plus exigeant, d’avoir

plus de choix et face à cette concurrence, il devient de plus en plus difficile de fidéliser l'épargnant. Et par définition, un client infidèle est un client qui a des contacts (pas seulement verbaux !) avec la concurrence. Pouvoir offrir au client les produits qui correspondent le mieux à ses besoins et envies est un moyen de le fidéliser et aussi d'attirer de nouveaux clients. Il ne s'agit pas seulement de fiare dire "oui" à ses produits, il faut également fiare dir "non" aux produits de la concurence. Pour cela, il faut pouvoir déterminer (à temps) les paramètres qui l'intéressent le plus et lui proposer ainsi le(s) produit(s) correspondant(s) tout en respectant les contraintes financières de l'entreprise.

Remarque : si les nouvelles exigences des individus les rendent infidèles, il existe aussi quatre autres raisons d'infidélité :

- La règle «ne pas mettre tous ses oeufs dans le même panier» est couramment appliquée,
- Le conjoint se trouvait dans une autre banque, «ce n'est pas plus mal, on garde les deux»,
- Il y a une banque pour les opérations courantes, et une banque pour le reste (banque du plaisir),
- La qualité des relations commerciales (conseil).

Une multitude d'individus

Sa façon d'agir étant moins uniforme qu'auparavant, plus complexe, le consommateur s'analyse par des comportements, des réactions. Le consommateur n'est pas un «client», c'est un individu. On ne peut en première approximation se contenter d'analyser les comportements selon un unique axe comme par exemple la professions, la catégorie socio-professionnelle, l'age, le sexe ... Il existe des différences importantes intra-catégories. Les besoins sont évolutifs. Ils varient en fonction des jours, des heures, des âges : le mariage, la naissance d'un enfant, un héritage changent parfois toute l'offre qu'il faut faire à l'épargnant (le revenu disponible est modifié, la fiscalité va l'être ...). L'offre financière doit prendre en compte cette diversité, la comprendre et l'intégrer dans l'offre de distribution.

Exeemples de difficultés rencontrées par l'épargnant

Remarque : dans les deux exemples suivants, on suppose que l'épargnant n'a aucune préférence pour le choix de l'organisme financier gérant son épargne.

Le support est choisi

Monsieur Epargnophile s'est décidé à souscrire un produit d'assurance-vie. Ce produit lui convient entièrement car il n'est pas préoccupé par la disponibilité de son argent, veut se préparer un capital doucement et réduire ses impôts. De plus, il sait que ses enfants pourront (éventuellement) en bénéficier sans droits de succession.

Sachant que les produits d'assurance-vie sont nombreux et très différents les uns des autres, Monsieur Epargnophile part à la recherche du produit qui lui convient le mieux. Il se rend alors dans sa banque principale mais ne peut pas (ou ne veut pas) souscrire le produit proposé car il faut verser au moins 10.000 francs lors de l'ouverture et 3000 francs pour les versements suivants (ce qui est incompatible avec le fait de «préparer un capital en douceur»). Il décide alors de continuer et d'aller chercher les renseignements et brochures publicitaires ailleurs afin de choisir au calme chez lui. Il se rend alors compte qu'il faut arbitrer[1] entre : les frais de chargement, de gestion, la souplesse des versements, les différentes possibilités de sorties, les avances possibles ... De plus, il lui apparaît clairement que les performances des différents produits sont très inégales. Ainsi, le support d'épargne est choisi mais la décision rendue difficile par le nombres d'attribuants permettant dévaluer les différents produits.

Un objectif clair existe

Madame Epargnophillette désire obtenir, rapidement, des compléments de revenus.

Elle vient de recevoir un capital assez important et possède un produit d'assurance-vie à terme dans un an. Ce dernier propose une sortie en rente viagère. Madame Epargnophillette va donc se renseigner sur le montant de la rente versée dans un an. Celle-ci est évidemment trop faible vu que Madame Epargnophillette est jeune et qu'elle a versé très peu d'argent sur ce produit. Mettre la totalité de son capital sur ce support et sortir en rente dans un an ne change presque pas la rente. Elle doit donc chercher d'autres supports. De nombreuses possibilités apparaissent : SICAV obligataires distribuant des coupons trimestriels, SICAV actions distribuant des coupons annuels, achat d'un appartement pour le louer ... Ces produits lui font découvrir qu'elle n'a pas envie de s'occuper de la gestion (surveillance des rendements, valeurs liquidatives ...), des impôts

1. «Plus de 25 critères doivent être pris en compte pour juger objectivement un contrat d'assurance-vie qui est, par essence, un contrat de placement à long terme.» Le Revenu Français- Mars 93.

(déclaration des revenus ...). Elle se décide donc pour un produit lui garantissant une rente trimestrielle nette d'impôts pendant 4 ans avec récupération du capital à la fin.

Le choix et la gestion des placements

Choisir ses placements

Pour l'épargnant, choisir un placement, c'est essentiellement :

- Déterminer quelle fraction de ses avoirs il va leur consacrer, et comment il va répartir son argent disponible entre les diverses formules possibles,
- Choisir les organismes et les produits "de marque" auxquels il confiera effectivement son argent.

Gérer ses placements

L'épargnant doit alors :

- Surveiller les acquisitions effectuées,
- Modifier ses versements si besoin est,
- Percevoir les revenus s'il y en a ; décider alors de les réinvestir ou non,
- Faire les déclarations fiscales,
- Réaliser des arbitrages,
- etc

Les méthodes de choix

Le choix des placements fait l'objet de nombreux commentaires dans la presse spécialisée (très abondante), dans les quotidiens, à la télévision et à la radio.

Ceux-ci sont souvent très justes et touchent les points importants (impact de frais, cantonnement des fonds, historique des performances ...) qui sont difficiles d'accès pour l'épargnant novice.

Les règles assez largement admises sont :

- La gestion de l'argent et le choix des placements se font en considération d'objectifs patrimoniaux ou extra-patrimoniaux.

- Derrière l'absence d'objectifs parfois rencontrée, se cache en fait un objectif général de sécurité et de valorisation ou le fait que, plus ou moins inconsciemment, l'épargnant poursuit tous les objectifs à la fois.
- Il existe une hiérarchie des besoins et des objectifs nécessitant donc une hiérarchie des placements (par exemple, les placements devant assurer le nécessaire en cas de coup dur doivent être aussi peu risqués que possible, quitte à être moins rentables).
- Le bon sens et la prudence recommandent la division des risques.
- Règles standards :

  Placer "x % du patrimoine en or " et "y % en valeurs mobilières" ...

  Pour un jeune couple : placer son argent dans sa résidence principale (donc épargner prioritairement sur un PEL et CEL) ...

  Pour une personne d'une cinquantaine d'années : préparer sa retraite (souscrire une assurance-vie, un PEP ...).

Cependant, toutes ces règles ne sont pas partagées par tous, ne tiennent pas compte de l'unicité de l'individu et ne sont corroborées par aucune démonstration indiscutable. Elles sont susceptibles de modifications dues à des mutations profondes de notre société. En effet, depuis quelques années, on se déplace de plus en plus pour son travail et on sait (ou on pense) que ce phénomène risque de s'accentuer. Que devient alors la règle «Pour un jeune couple : placer son argent dans sa résidence principale» ? Est-il si important de chercher à acquérir un logement que l'on va quitter dans 5 ans ? Peut-elle devenir «Pour un jeune couple: placer son argent dans sa résidence principale en vue de sa retraite» ? Il faut alors savoir à 30 ans où l'on désire vivre après 60 ans (voir plus ...).

Le banquier ne connaît plus ses clients

Bancatique spécial- banque et nouvelles technologies, extrait («Segmentation et analyse comportementale de la clientèle») : «J'ai des clients en face de moi, je ne les connais pas ou mal, je ne sais pas exactement ce qu'ils veulent, je ne sais pas exactement comment ils se comportent, pourquoi ils ne viennent plus dans mon agence. Je dois malgré tout répondre à des objectifs de réalisation et de production; je dois faire croître mon chiffre d'affaires mais je ne sais pas comment.»

L'utilisation des guichets automatiques de banque (GAB), des imprimantes en libre service, le développement des retraits avec une carte ont permis une réduction non

négligeable des coûts de fonctionnement pour la banque. Mais, en contre-partie est apparu un problème de fréquentation des agences. Le client se fait de plus en plus rare aux guichets. Comment faire pour l'amener en «Espace Conseil» au «fil de l'eau» s'il ne passe plus au guichet? Comment savoir ce qu'il veut exactement ?

Le client ne sait pas toujours ce qu'il veut

Ainsi, un individu désirant épargner se retrouve (parfois seul) devant cette multitude d'organismes, de produits et de paramètres pour effectuer son ou ses choix.

D'une part, il ne connaît pas toujours les produits, ne peut appréhender la totalité des paramètres décrivant un produit à cause de ses limitations cognitives. D'autre part, il ne sait pas toujours ce qu'il veut, n'est pas toujours capable d'exprimer ses besoins, ne sait parfois même pas prendre de décision ...

Le rôle du conseiller est alors de faire le bilan de l'existant (mais il existe une incertitude non négligeable : les produits détenus chez la concurrence) et de chercher le(s) produits qui correspond(ent) le mieux aux désirs et besoins (extraits au cours de l'entretien) de l'épargnant tout en respectant les contraintes financières de l'entreprise.

Mais il est de mieux en mieux informé et de plus en plus exigeant

Le client n'est plus néophyte, il est de mieux en mieux informé (enquête Sofrès-mai 1992 : il y a trois ans, la moitié des porteurs ne connaissaient qu'approximativement la rémunération de leurs SICAV, 48% d'entre eux sont aujourd'hui parfaitement informés et 80% avancent un taux exact à un point près) et demandent toujours plus. Fini l'organisme de placement qui propose le produit et fait signer le client ? Finie la banque de papa[1]. Si celle-ci ne convient pas, on en change ... Il faut désormais être là (c'est-à-dire pouvoir offrir les produits qui répondent aux besoins) où il faut et quand il le faut (juste à temps : avant la concurrence et avant que les besoins ne disparaissent).

L'épargnant est encouragé à être infidèle et il l'est ! Certains, de plus en plus sensibles à la différenciation des offres, n'hésitent pas à répartir leurs placements entre plusieurs organismes. Les revues spécialisées[2] font des tests comparatifs, jugent les produits, sortent régulièrement leur palmarès et délivrent des palmes d'or !

1. La première banque est bien souvent celle des parents.

2. Par leurs enquêtes, les revues de consommateurs cherchent à éduquer, protèger l'épargnant. Elles contribuent à l'arrivée à maturité de l'épargnant.

La crise actuelle a formé l'individu à la négociation, à se «durcir» : puisqu'on peut avoir 20% de réduction sur une voiture neuve (puisqu'elle ne se vend pas), pourquoi ne pas négocier des frais de chargement, prétendre à un transfert vers la concurrence (qui se fera d'ailleurs un plaisir de payer les frais engagés) si on n'est pas satisfait ... Il faut être capable de générer des niveaux de satisfaction ne poussant pas les gens à comparer tout de suite les produits.

De plus, l'individu-épargnant est unique et veut être traité comme tel,. Il lui faut des produits personnalisés. Cette corde sensible est très largement exploitée par les établissements bancaires : Crédit Mutuel: «*C'est parce que vous êtes unique que nous avons imaginé Compte Actif*», principe de Compte Actif : *du sur-mesure au prix du prêt à porter* ; Crédit du Nord: «*Vous d'abord*» ; Crédit Agricole : «*Composer à l'infini les possibilités pour faire le choix le plus harmonieux : le vôtre*.» ; Caisse d'Epargne : «*Pour comprendre l'argent, il faut d'abord bien comprendre les gens.*» ....

Un impératif : le renforcement du conseil

L'enquête précédente signale également que la plupart des porteurs de SICAV monétaires vont se porter vers d'autres placements. Mais ils ne marquent pas de préférences claires dans leurs choix (réponses multiples) : sur 100 vendeurs de monétaires, 12% dépensent leur argent, 15% iront sur des livrets, 13% sur les actions, 8% sur les SICAV court terme, 20% sur les produits obligataires, 32% vers des placements long terme, 10% sur l'immobilier et **30% déclarent ne pas savoir où investir leur épargne** ainsi dégagée !!! Il est vrai que le support quitté offrait tous (ou presque) les avantages : sécurité, rentabilité[1], disponibilité, fiscalité très avantageuse. L'épargnant est aujourd'hui perturbé[2] et une véritable approche conseil semble nécessaire. Il va falloir apporter des solutions simples aux besoins complexes[3] des clients. Ils seront certainement plus sensibles à la pertinence et la qualité des conseils donnés qu'à un demi-point sur le taux de rendement affiché.

Faire une réponse personnalisée, qui est souhaitée par le client, peut être coûteux et un responsable du Crédit Lyonnais déclare dans Banques des Particuliers de Juillet 1993:

1. Remarquons également que le couple «niveau de risque- rentabilité» a de ce fait été un peu oublié par les épargnants. Il faut leur réapprendre ...
2. Il lui faut accepter le «risque» pour espérer de forts rendements, alors que cela fait plus de 10 ans qu'il a pu s'en passer !
3. A titre d'exemple : le conseil s'impose d'autant plus que la fiscalité est complexe ...

«*Il faut bâtir des offres modulaires dont les composantes soient fortement standardisées et des conseillers qui ont à la fois une forte capacité de diagnostic et une bonne connaissance des briques de base aux plans marketing et prix de revient. Ainsi, nous pourrons bâtir, client par client, à des conditions de prix acceptables, des réponses aux besoins exprimés*».

C'est l'objectif poursuivi dans les travaux présentés. L'outil développé doit permettre au conseiller d'extraire (le plus vite possible) les paramètres qui intéressent le plus son client. Cet outil informatique lui fournira donc une aide dans l'établissement du diagnostic : paramètres extraits, mémoire de travail (un entretien dure environ 30 mn, et parfois plus, le conseiller ne peut pas mémoriser tout ce qui s'est dit, peut être dérangé, est soumis au stress ...). Il pourra ainsi, tout en respectant les contraintes financières de l'entreprise, proposer les placements qui correspondent le mieux aux envies et besoins de son client.

Ainsi l'individu est unique et veut être traité comme tel. Son idéal n'est-il pas d'avoir une banque pour lui tout seul ? Parfois mal informé, perdu par la masse d'informations qu'il doit gérer, il a besoin de bons conseils d'autant plus qu'il est de plus en plus exigeant. Si tous les réseaux financiers proposent presque les mêmes produits (avec des fonctionnements différents et performances inégales), la différence se fera essentiellement dans la qualité du conseil donné aux individus. L'expérience montre que le client s'attache durablement à l'établissement qui lui révèle ses vrais problèmes, le conseille correctement et le suit régulièrement. L'enjeu est important et l'outil en cours d'étude doit permettre aux conseillers de proposer les produits les mieux adaptés, voire anticiper la demande avant qu'elle ne s'exprime. On ne rattrape pas un client qui a l'impression, juste ou non, d'avoir été «roulé».

Habituellement, la relation conseiller/client est fondée sur un dialogue. L'utilisation du langage lors de l'entretien[1] a pour effet d'introduire des biais liés aux mots et à leur interprétation[2]. On obtient les règles de sélection *a posteriori* et non lors de leur activation. Il est important de remarquer également que cette méthode n'économise pas le conseiller, d'une part, par l'effort cognitif nécessaire (pour agir au mieux, il doit prendre en compte tous les faits importants, les mémoriser, chercher les questions pertinentes ...), d'autre part, par la longueur de l'entretien («Time is Money») alors qu'il

1. Je remercie toute l'équipe de Brest Centre avec laquelle j'ai passé quelques journées pour assister à des entretiens et voir fonctionner une agence du CMB.
2. Il faut produire le bon diagnostic face à un individu qui ne s'exprime pas ou mal !

peut avoir à recevoir jusqu'à 6/7 personnes par jour (le travail du conseiller ne s'arrête pas là et il doit entre autres effectuer des: tâches administratives ...). Remarquons bien que, recevoir 6/7 personnes par jour représente une journée que l'on peut qualifier de «normale». Il arrive, par manque de personnel (maladie, congés, déplacement ...) ou bien par un afflux élevé de clients, que le nombre moyen de personnes reçues par conseiller soit de 10/12. Ceci correspond à 6 heures d'entretien (30 mn par entretien) pour 7 heures de travail ! Il est clair que, lorsque le conseiller a affaire à une dizaine de personnes (ayant chacune un problème différent à résoudre) il n'est pas au «maximum de ses possibilités» à chaque entretien et peut de ce fait oublier certains points importants à cause de la fatigue, du stress, du dérangement ...

Le tableau ci-dessous donne le nombre d'heures passées en entretien en fonction du nombre de personnes reçues et de la durée moyenne des entretiens.

durée des entretiens	6 personnes	8 personnes	10 personnes	12 personnes	14 personnes
15 mn	1 h 30 mn	2 h 00 mn	2 h 30 mn	3 h 00 mn	3 h 30 mn
20 mn	2 h 00 mn	2 h 40 mn	3 h 20 mn	4 h 00 mn	4 h 40 mn
30 mn	3 h 00 mn	4 h 00 mn	5 h 00mn	6 h 00 mn	7 h 00 mn
40 mn	4 h 00 mn	5 h 20 mn	6 h 40 mn	8 h 00mn	9 h 20 : impossible

Tableau 11 : Heures passées en entretien par les conseillers

Un système d'aide au conseil est donc d'un intérêt évident. Celui-ci doit non seulement être efficace mais aussi rapide et d'une utilisation aisée. Ceux sont les objectifs poursuivis dans cette thèse dont le but est de réaliser **un système interactif permettant une extraction rapide des processus de jugement et de décision mis en oeuvre par un client donné face à une offre de produits d'épargne**. C'est un système d'aide pour le conseiller qui pourra, ainsi, proposer les produits correspondants aux besoins du client et donc le satisfaire.

Cette approche, par rapport aux techniques classiques de segmentation de la clientèle, possède des avantages importants.

Parmis ceux-ci, notons qu'elle :

- peut s'appliquer pour un nouveau client dont on ne connaît rien,
- s'intéresse à l'épargnant en tant que décideur unique,
- donne les moyens de «détecter» les infidélités,
- évite beaucoup de problèmes liés à l'interprétation du langage,
- est utilisée au moment où les décisions sont prises (elle est "temps réel"), c'est-à-dire le plus près possible de l'acte de consommation permettant ainsi de minimiser les influences des facteurs externes ...
- peut s'appliquer à d'autres domaines que l'épargne,

C'est une nouvelle approche de la relation conseiller/client. On introduit clairement la machine dans le dialogue, sans pour autant briser le dialogue. Ce nouveau mode de fonctionnement doit recevoir l'approbation des deux intervenants. Elle possède des inconvénients majeurs dus à son caractère interactif ("*on-line*") : ceux-ci sont liés aux aspects IHM et au temps d'utilisation de l'outil qu'il faut minimiser.

L'EPARGNE - BIBLIOGRAPHIE

Les revues (hebdomadaires, mensuelles ...) concernant l'épargne sont nombreuses et se trouvent facilement chez votre libraire préféré.

Bred, Guide *Réussir votre épargne*, Syros.

Crédit Mutuel, *Placements*, Guides Clartés.

Confédération Nationale du Crédit Mutuel, C.R.E.P, *Baromètre des attitudes d'épargne*[1], 28ème vague, Mai 1991.

Conseil National du Crédit, *Allocation des flux d'épargne*, Juillet 1991.

Doueb R., Caye C., Pierron B., *Les épargnes de demain*, Syros.

Rivoire J., *L'épargn*e, Que sais-je ?, PUF.

EN S'AMUSANT ...

Moloch (Texte), Uderzo M. (Dessins), *L'A.B.D. de l'épargne*, Les éditions de l'épargne, 1983.

Peyo, *Le Schtroumf financier*, Ed. Lombard.

Annexe 6 - Ensembles ordonnés

Comme nous l'avons vu, l'algorithme d'apprentissage mis en oeuvre dans APACHE consiste à calculer une antichaîne dans un ensemble ordonné, et particulièrement dans un produit direct d'ordres totaux. Afin d'optimiser les performances de celui-ci nous allons donc chercher à exploiter le mieux possible la structure de cet espace de représentation. Pour cela un important travail sur les propriétés des ensembles ordonnés et les structures de données permettant de les manipuler a été fourni.

Nous précisons dans cette annexe, en utilisant essentiellement les notations de Leclerc (1990), les principales définitions et propriétés qui ont été étudiées.

Soit *E* un ensemble fini, *A* un sous-ensemble de *E* et x, y, *z* éléments de *E*.

Relations binaires

Définition 1 : une *relation binaire* R sur *E* est un sous-ensemble de l'ensemble $E \times E$ des éléments de *E*. On note *xRy* si $(x,y) \in$ R.

Définition 2 : le *dual* R^d d'une relation binaire R sur *E* est une relation définie par xR^dy ssi *yRx*.

Définition 3 : on dit qu'une relation binaire est *réflexive* si pour tout *x* on a *x*R*x*.

Définition 4 : on dit qu'une relation binaire est *irréflexive* si pour tout *x* on a non(*x*R*x*).

Définition 5 : on dit qu'une relation binaire est *symétrique* si pour tout (*x*, *y*) de E^2, *x*R*y* entraîne *y*R*x*.

Définition 6 : on dit qu'une relation binaire est *asymétrique* si pour tout (*x*, *y*) de E^2, *x*R*y* entraîne non(*y*R*x*).

Définition 7 : on dit qu'une relation binaire est *transitive* si pour tout (*x*, *y*, *z*) de E^3, *x*R*y* et *y*R*z* entraîne *x*R*z*.

Ordres

Définition 8 : un *ordre* ou ordre partiel sur *E* est une relation binaire, notée $\leq_E$, réflexive, antisymétrique et transitive.

Lorsqu'il n'y a pas de confusion possible on notera tout simplement la relation par $\leq$.

Définition 9 : un *ordre total* sur E est un ordre tel que tous ses éléments sont comparables deux à deux ($\forall\ (x, y) \in E^2$, on a $x \leq y$ ou $y \leq x$).

Définition 10 : la relation d'*incomparabilité* d'un ordre $\leq$ sur E est une relation binaire notée I et définie par $x\mathrm{I}y$ ssi on a ni $x \leq y$ ni $y \leq x$.

Définition 11 : la *relation de couverture* d'un ordre $\leq$ sur E est une relation binaire notée $-\!\prec$. On dit que x est couvert par y, ou encore que y couvre x, si y est le plus petit élément supérieur à x.

$\forall\ (x, y, z) \in E^3$, $x -\!\prec y \Leftrightarrow [x < y$ et $x \leq z < y \Rightarrow x = z]$.

Ensembles ordonnés

Définition 12 : un ensemble E est un *ensemble ordonné*, ou partiellement ordonné, s'il est muni d'une relation d'ordre $\leq$.

Définition 13 : une *chaîne* est un sous-ensemble totalement ordonné d'un ensemble ordonné.

Propriété 1 : une chaîne finie possédant c+1 éléments est isomorphe à l'intervalle $[0, c]$ de $\mathbf{Z}$ (la chaîne des entiers positifs munie de l'ordre canonique). Ainsi, pour c entier non négatif, on note ($\underline{c+1}$) la chaîne $\{0 < 1 < 2 < ... < c\}$ à c+1 éléments.

Définition 14 : une *antichaîne* A est un ensemble d'éléments incomparables.

$\forall\ (x, y) \in A^2$, $x \leq y \Leftrightarrow x = y$.

Définition 15 : l'*idéal principal* engendré par x de E, noté $\downarrow x$, est le sous-ensemble de E ordonné, contenant tous les éléments minorant x : $\downarrow x = \{y \in E, y \leq x\}$.

Définition 16 : le *filtre principal* engendré par x de E, noté $\uparrow x$, est l'idéal principal pour l'ordre dual.

Définition 17 : une *partie commençante* engendrée par une antichaîne A est l'ensemble $\downarrow A = \cup(\downarrow x),\ x \in A$

Définition 18 : une *partie finissante* $\uparrow A$ engendrée par une antichaîne A est une partie commencante pour l'ordre dual.

Définition 19 : l'*ensemble des majorants communs minimaux* de deux éléments x et y est l'antichaîne $\min(\uparrow x \cap \uparrow y)$.

Lorsque cet ensemble est un singleton, on l'appelle *borne supérieure* de x et y et on le note $x \vee y$.

Définition 20 : l'*ensemble des minorants communs maximaux* de deux éléments x et y est l'antichaîne des majorants communs minimaux pour l'ordre dual, c'est-à-dire $\max(\downarrow x \cap \downarrow y)$.

Lorsque cet ensemble est un singleton, on l'appelle *borne inférieure* de x et y et on le note $x \wedge y$.

Définition 21 : on dit qu'un ensemble ordonné E est *rangé* s'il existe une fonction r, appelée *fonction de rang*, entière non négative sur E telle que

$r(x) = 0$ pour au moins un élément (minimal) de E ;

si $y \prec\!\!\!- x$ dans E alors $r(x) = r(y) + 1$.

Définition 22 : si E est un ensemble rangé, on appelle $k^{ième}$ *niveau* le sous-ensemble N_k de E constitué des éléments de rang k.

$N_k = \{x \in E, r(x) = k\}$

Définition 23 : la *hauteur h* de E est le cardinal maximal d'une chaîne de E.

Définition 24 : la *largeur* α de E est le cardinal maximum d'une antichaîne de E.

Propriété 2 : le nombre minimum de chaînes requises pour partitionner E est égale à α (Théorème de Dilworth, 1950).

Treillis

Définition 25 : l'ensemble ordonné E est un *sup-demi treillis* si tout couple (x, y) de E^2 possède une borne supérieure $x \vee y$ telle que $x \leq y$ ssi $x \vee y = y$.

Définition 26 : l'ensemble ordonné E est un *inf-demi-treilli* si tout couple (x, y) de E^2 possède une borne inférieure $x \wedge y$ telle que $x \leq y$ ssi $x \wedge y = x$.

Définition 27 : l'ensemble ordonné E est un *treillis* s'il est à la fois un inf-demi treillis et un sup-demi treillis.

Définition 28 : l'ensemble E est un *treillis* distributif si les deux opérations $\wedge$ et $\vee$ sont distributives l'une par rapport à l'autre.

$\forall\ (x, y, z) \in E^3,\ x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$

$\forall\ (x, y, z) \in E^3,\ x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z)$

Produits directs d'ordres totaux

Définition 29 : Un ensemble ordonné fini $(E, \leq)$ peut être représenté dans le plan par un graphe. La relation d'ordre est représentée par une flèche ; $x \leq y$ est dessiné $x \rightarrow y$. On peut convenir de placer les points de telle sorte que les flèches soient dirigées du bas vers le haut. Un tel dessin dépourvu de flèches se nomme *diagramme de Hasse* de $(E, \leq)$.

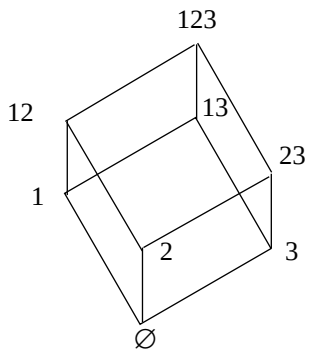


Figure 18. Diagrammes de Hasse de l'ensemble des parties de {1, 2, 3} ordonné par l'inclusion.

La plupart des définitions et propriétés données ci-dessous sont illustrées dans les diagrammes de Hasse des figures 19 et 20.

Définition 30 : le *produit direct P* des *p* ordres totaux $(P_i, \leq_i)$ est un ensemble partiellement ordonné dont les éléments sont des *p*-uplets $(x_1, ..., x_p)$ où $x_i \in P_i = (\underline{c_i+1})$.

$P = P_1 \times P_2 \times ... \times P_p$.

Le nombre d'éléments *n* de *P* est,

$$n = \prod_{i=1}^{p} (c_i + 1) \qquad \textbf{(19)}$$

Propriété 3 : le produit direct P est isomorphe à l'intervalle $[(0, ..., 0), (c_1, ..., c_p)]$ de $\mathbf{Z}^p$.

Définition 31 : P est ordonné selon l'ordre usuel, appelé *ordre produit* :

$\forall\, x, y \in P, x \leq_p y \Leftrightarrow \forall\, i \in \{1, 2, ..., p\}, x_i \leq_i y_i.$

La relation $\leq_p$ (ou encore $\leq$) étant réflexive, antisymétrique, et transitivite, P est un ensemble partiellement ordonné.

Propriété 4 : P muni de l'ordre produit est un treillis distributif.

Propriété 5 : pour $x \in P$, $x = (x_1, x_2, ..., x_p)$ on utilise la fonction de rang suivante :

$$r(x) = \sum_{i=1}^{p} x_i \qquad \textbf{(20)}$$

Propriété 6 : la hauteur h ou $h(P)$ de P est la longueur maximale d'une chaîne de P. La *hauteur h* est alors le rang maximum d'un élément de *P.* Pour un produit de chaînes, $h = \sum_i c_i$.

Pour tout entier $k \in [0, h]$, le niveau P_k de P est l'ensemble des éléments x de P tels que $r(x) = k$. On note n_k le nombre d'éléments de P_k ($n_k = 0$ pour tout entier $k \notin [0, h]$) et on pose $v = \max_k (n_k)$.

Propriété 7 : si P est le produit direct d'un ensemble ordonné P' et d'une chaîne($\underline{c+1}$), $P = P' \times (\underline{c+1})$, alors certaines propriétés de P' se à transmettent *P.* Nous nous contentons de donner quelques unes de ces propriétés ; le lecteur intéressé par les démonstrations est renvoyé à Leclerc (1990).

Le cas qui nous intéresse particulièrement est celui où P' est un produit direct d'ordres totaux : $P' = (\underline{c_1+1}) \times ... \times (\underline{c_{p-1}+1})$.

Un élément x de P est noté $x = (x', j)$, avec $x' \in P'$ et $j \in (\underline{c+1})$.

Soit r' la fonction de rang de P' et r celle de *P.* La fonction r est donnée par $r(x) = r'(x') + j$, pour $x = (x', j)$. La hauteur h de P est $h' + c$.

On note v' le maximum des n'_k et q' le nombre de niveaux de P' de cardinal v'.

Les nombres n_k de P s'obtiennent en fonction des nombres n'_k par l'une ou l'autre des récurrences équivalentes :

$$n_k = \sum_{0 \le i \le c} n'_{k-i} \qquad \textbf{(21)}$$

$$n_{k+1} = n_k + n'_{k+1} - n'_{k-c} \qquad \textbf{(22)}$$

Définition 32 : une *t-antichaîne* A_t de *P* est un sous-ensemble de *P* dont au plus t éléments sont deux à deux comparables.

Définition 33 : le *nombre de Dilworth* $\alpha_t(P)$ est le cardinal maximum d'une t-antichaîne.

Définition 34 : un ensemble ordonné *P* est dit *fortement de Sperner*, si $\alpha_t(P)$ est égal au cardinal de la réunion des t plus grands niveaux de *P*. Dans ce cas on a en particulier $\alpha = v$. Le détermination des $\alpha_t(P)$ se ramène donc à celle des cardinaux des niveaux de *P*.

Propriété 8 : un produit de chaînes *P* est un *ensemble fortement de Sperner* (De Bruijn, 1951).

A partir des relations 21 et 22 on déduit aisément la valeur exacte de α. Pour de grandes valeurs de *p*, on peut utiliser l'approximation d'Anderson (1987) :

$$\alpha \approx \sqrt{\frac{6}{\pi}} \times \frac{\prod_{i=1}^{p} c_i + 1}{\sqrt{\sum_{i=1}^{p} c_i \times (c_i + 2)}} \qquad \textbf{(23)}$$

Définition 35 : la *dimension* d'un ensemble ordonné quelconque est le plus petit nombre d'ordres totaux dans lesquels cet ensemble peut être plongé.

Propriété 9 : tout ensemble ordonné peut être plongé dans un produit direct d'ordres totaux (Szpilrajn, 1930).

Propriété 10 : à partir de la dimension 3, la recherche de la dimension d'un ordre partiel est un problème NP-complet (Yannakakis, 1981).

Définition 36 : on dit que *P* est *unimodal* si la suite finie n_0, n_1, ..., n_h est la concaténation d'une suite non décroissante n_0, ..., n_p et d'une suite non croissante n_{p+1}, ..., n_h.

Définition 37 : *P* est dit *symétrique* si on a $n_0 = n_h \leq n_1 = n_{h-1} \leq ... \leq n_k = n_{h-k} \leq ...$

Propriété 11 : si *P* est symétrique alors *P* est unimodal.

Propriété 12 : si *P* est unimodal alors les niveaux de P de cardinal v sont consécutifs.

Propriété 13 : si *h* est impair, *P* possède deux niveaux de cardinal v et un seul sinon.

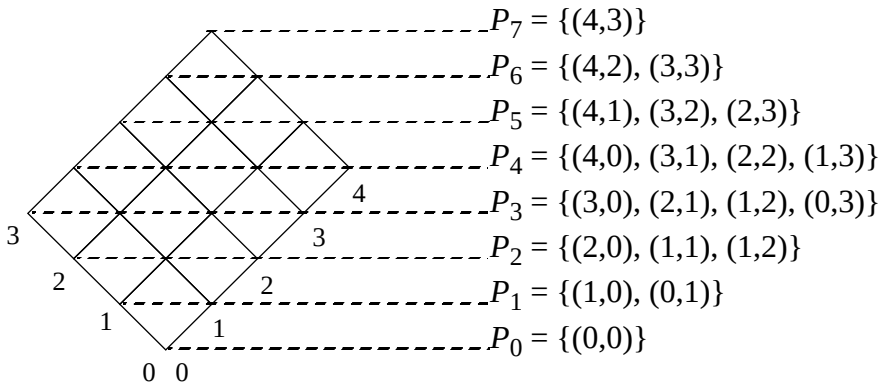
Propriété 14 : un produit de chaînes est symétrique.

La symétrie de *P* permet de «localiser» directement l'antichaîne (ou les antichaînes) de taille maximale :

$\alpha = v = n_{h/2}$ si *h* est pair

$\alpha = v = n_{(h+1)/2} = n_{(h-1)/2}$ si *h* est impair.

L'antichaîne ou les antichaînes de taille α se trouvent donc au «milieu» de *P.*



$h = 7$ et $\alpha = 4$

On peut, par exemple, vérifier qu'un produit de chaînes est unimodal (les niveaux de cardinal maximal étant ici P_3 et P_4) et symétrique : $n_0 = 1$, $n_1 = 2$, $n_2 = 3$, $n_3 = 4$, $n_4 = 4$, $n_5 = 3$, $n_6 = 2$, $n_7 = 1$.

$P = (c_1+1) \times (c_2+1)$ où $c_1 = 4$ et $c_2 = 3$.

Figure 19. Niveaux d'un produit de chaînes

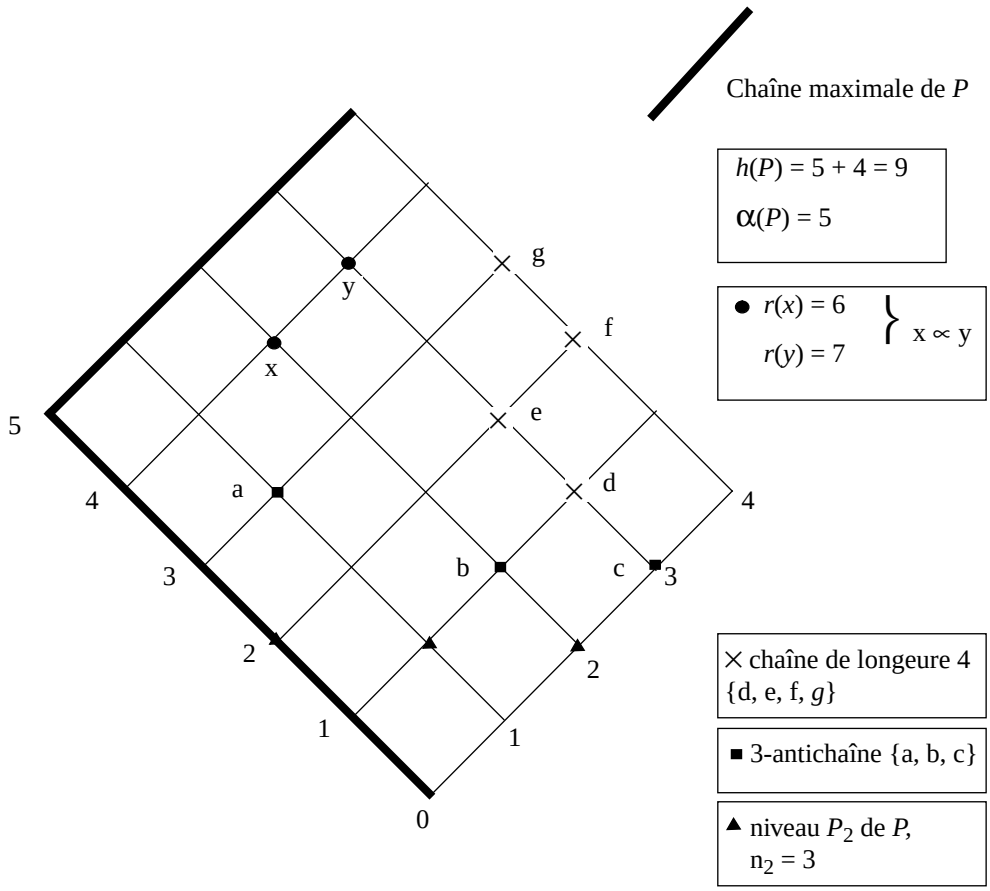


Figure 20. Chaîne maximale, hauteur, ..., de $\underline{5} \times \underline{4}$

Références bibliographiques

Ouvrages collectifs

Expertise et Sciences Cognitives (1991), Intellectica, 12.

Rapport final d'activité (1993-1994) du projet Inter-PRCs *Méthodes Symbolique-Numérique de Discrimination*, Gascuel O. et Gallinari P. (coordinateurs du projet).

Auteurs

Adler A. (1927), *Understanding Human Natur*e, Greenberg.

Andler D. (1989), *Sciences cognitives*, Encyclopaedia Universalis, 6, pp. 65-74.

Adelbratt T., Montgomery H. (1980), *Attractiveness of decision rules*, Acta Psychologica, 45, pp 177-185.

Allais M. (1953), *Le comportement de l'homme rationnel devant le risque ; critique des postulats et axiome de l'école américaine*, Econometrica, vol. 21, 4, pp 503-546.

Anderson I. (1987), *Combinatorics of Finite sets*, Oxford, Clarendon Press.

Arrow K. J. (1974), *Choix collectif et préférences individuelles*, Calmann-Lévy.

Aschenbrenner K.M., Kasubek W. (1978), *Challenging the custing syndrome : Multi-attribute evaluation of cortison drugs*, Organizational Behaviour and Human Performance, 22, pp. 216-234.

Barthélemy J.P., Mullet E. (1986), *Choice basis : A model for multi-attribute preference*, British journal of Mathematical and Statistical Psychology, 39, pp. 106-124.

Barthélemy J.P., Mullet E. (1987), *A polynomial model for expert categorical judgment*, Progress in mathematical psychology, E.E. Roskam et R.S. Elesevier (ed.), Amsterdam.

Barthélemy J.P., Mullet E. (1992), *A model of selection by aspects*, Acta Psychologica, 79, pp. 1-19.

Barthélemy J.P., Cohen G., Lobstein A. (1992), *Complexité Algorithmique et problèmes de communications*, Masson.

Barthélemy J.P., Mullet E. (1994), *Expert individual decision: the moving basis heuristics,* Collection des Rapports de Recherche de Télécom Bretagne, RR-94005-IASC.

Bauer R. A., (1960), *Consumer behavior as risk taking, in Dynamic Marketing for a Changing World,* R. S. Hancok (ed.), pp. 389-398.

Behrendt G. (1991), *The lattice of antichain cutsets of a partially ordered set*, Discrete math. 89,pp. 201-202.

Belk R. W. (1974), *An exploratory assessment of situational effects in behavior,* Journal of Marketing Research, 11, pp.156-163.

Bem D. (1968), *Attitudes as Self-Descriptions : Another Look at the Attitude-Behavior Link,* dans A. Greenwald, T. Brock et T. Ostrom (eds), Psychological Foundations of Attitudes, Academic Press.

Blanquet M.F. (1994), *Intelligence artificielle et système d'information*, ESF.

Boy G. (1988), *Assistance à l'opérateur : une approche de l'Intelligence Artificielle*, Teknea.

Boose J. (1986), *Expertise transfer for Expert System design*, New York, Elsevier.

Bottou L. (1991), *Une approche théorique de l'Apprentissage Connexionniste : Applications à la reconnaissance de la Parole*, Thèse de l'Université de Paris Sud.

Bouchon-Meunier B., Després S., Dubois D., Gascuel O, Guénoche A, Prade H. (1990), *Aspects de l'interface entre symbolique et numérique*, Actes des 3èmes journées nationales du PRC-GDR Intelligence Artificielle, Hermès, pp. 90-112.

Bourret P., Reggia J., Samuelides M. (1991), *Réseaux neuronaux, une approche connexionniste de l'Intelligence Artificielle*, Teknea.

Bourgine P., Le Moigne J.L, Walliser B. (1990), *Interdisciplinary research between Economics & Cognitive Science,* in Economics and Cognitive Science (Ed. Borgine P. and Walliser B.), Pergamon Press.

Brée J. (1994), *Le comportement du consommateur*, Que sais-je ?, Presses Universitaires de France.

Breuker J. A., Wielinga B. J. (1985), *KADS* : *Structured knowledge acquisition for expert systems*, 5èmes journées internationales : les systèmes experts et leurs applications, Avignon, France..

Campbell D. T. (1963), *Social Attitudes and Other Acquired Behavioral Dispositions*, Koch S. (Ed), Psychology : A Study of a Science, vol. 6, McGraw Hill.

Chandrasekan B. (1987), *Toward a Functional Architecture for Intelligence Based on Generic Information Processing Tasks*, Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Milan, Italy, pp. 1183-1192.l

Charreton R., Bourdaire J.-M (1985), *La décision économique*, Que sais-je ?, Presses Universitaires de France.

Coombs H. (1963), *A theory of data*, Wiley, New York.

Cullen J., Bryman A. (1988), *The knowledge acquisition bottleneck : Time for a reassessment ?*, Expert Systems, 5, pp. 216-255.

David J. M (1993), *Les systèmes experts de seconde génération : contribution à une ingénieurie de la connaissance*, Thèse de L'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris, juin 1993.

Davis H. L., Rigaux-Bricmont B. (1974), *Perceptions of marital roles in decision process*, Journal of Consumer Research, 1, pp.51-62.

Dawes R. M. (1951), *Social selection based on multidimensional criteria*, Journal of Abnormal and Social Psychology, 68, pp. 104-109.

Dawes R. M., van de Kragt and Orbell J. M. (1988), *Not me or thee but we: the important of group identity in eliciting cooperation in dilemma situations: experimental manipulations*, Acta Psychologica, 68, pp. 87-97.

De Bruijn N., Tengbergen C., Kruyswijk D. (1951), *On the set of divisors of a number*, Nieuw Arch. Wiskunde, 23, pp. 191-193.

De Hoog R., van der Wittenboer G. (1986), *Decision justification, information structure and the choice of decision rules*, in Brehmer, Jungermann H. Lourens P, et Sevon G. (ed.), New directions in research on decision making, North-Holland.

Dichter E. (1972), *Motivations et Comportement Humain*, Publi-Union.

Dubois B. (1994), *Comprendre le consommateur*, 2e édition, Dalloz.

Dufloux J.L, Court S. (1992), *Y a-t-il un pilote dans la banque ?*, Bancatique, 81, pp 210-213.

Drogoul A. (1993), *De la simulation multi-agents à la résolution collective de problèmes : une étude de l'émergence de structures d'organisation dans les systèmes multi-agents*, Thèse de l'Université Paris VI.

Ermine J. L. (1993), *Génie Logiciel & Génie Cognitif pour les systèmes à base de connaissances*, Volume 1 ; Aspects méthodologiques, Technique et Documentation - Lavoisier.

Eshelman L. (1988), *MOLE : A knowledge acquisition tool for cover and differentiate systems*, Automating Knowledge Acquisition for Expert Systems (ed. Marcus S.), Kluwer Academic Publishers.

Festinger L. (1957), *A Theory of Cognitive Dissonance*, Harper & Row.

Fishbein M., Ajzen I (1975), *Belief, Attitude, Intention and Behavior : An Introduction To Theory and Research*, Addison-Wesley.

Fishburn P.C. (1970), *Utility theory for decision-making*, Wiley, New York.

Fishburn P.C. (1974), *Lexicographic orders, utilities and decision rules : a survey*, Management Science, 20, pp. 1442-1471.

Franchot A. et Gourieroux C. (1992), *L'économétrie des données individuelles - L'exemple des remboursements anticipés*, Acte de la journée d'étude «Marchés financiers et gestion de portefeuilles - mise en place de nouveaux outils.» organisée par la Société de Statistique de France.

Gaines B. R. (1988), *An overview of knowledge-acquisition and transfer*, Knowledge Acquisition for Knowledge-Bases Systems (Ed. Gaines B. R. and Boose J. H.), vol. 1, Academic Press, pp.3-22.

Glaube M., Singly F. (1986), *L'organisation domestique : pouvoir et négociation*, Economie et Statistique, 187, pp.3-30.

Griggs J.R. (1984), *Maximum antichains in the product of chains*, Order 1 , pp. 21-28.

Griggs, J.R. (1988), *Problems on chain partitions*, Discrete math., 72, pp. 157-162.

Guillet F., Coppin G. (1994), *Industrial process control : experimental design and expertise acquisition*, Actes du First European Conference on Cognitive Science in Industry, Luxembourg.

Guillet F. (1995), *Contributions à la maîtrise de qualité d'un processus industriel par apprentissage des stratégies de contrôle de l'opérateur*, Thèse de l'Université de Rennes I, 13 décembre 1995.

Helfer J-P., Malika M. (1988), *La cohérence interne dans les enquêtes par interviews*, Recherche et Applications en Marketing, vol. 3, 1, pp.1-14.

Hoc J.M. (1991), *L'extraction des connaissances et l'aide à l'activité humaine*, Intellectica, 12.

Hoffman R. R., Shanteau J., Burton A., Shadbolt N. R., Akersrom R. A. (1995), *The cognitive psychology of expertise*, Cambridge, MA: MIT Press.

Horney K. (1945), *Our Inner Conflicts*, Norton & Co.

Howard J. A., Sheth J. N. (1976), *Théorie du Comportement de l'Acheteur*, Encyclopédie du Marketing, vol. 1, pp.1-71.

Huber O. (1983), *Dominance among some cognitive strategies for multidimensional decisions*, Human decision making (ed. Sjöberg L, Tyska T. and Wise J.R.), Bofadus Doxa, pp. 228-242.

Huber O. (1986), *Decision making as a problem solving process*, New directions in research on decision making (ed. Brehmer B., Jungermann H, Lourens P. et Sevon G.), Amsterdam North-Holland.

Hubert S. (1996), *Analyse de données génotypiques et phénotypiques relatives à l'espèce bovine*, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du grade de licenciée en Sciences Mathématiques, Université de Liège (Faculté des Sciences).

Jalais J. (1985), *Le consommateur se sert-il de l'information sur les prix à l'unité de mesure : une appréciation expérimentale*, Actes du Ier Colloque de l'Association Française de Marqueting, Le Touquet.

Johnson E.J., Payne J.W. (1985), *Effort and accurancy in choice*, Managment science, 31, pp. 295-314.

Kant J.D., Boldini P., Barthélemy J.P. (1993), *Un modèle comportemental d'expert pour l'émergence de règles de décision; réalisation par un réseau connexionniste*, Acte du Workshop «Formation des symboles dans les modèles de la cognition», LIFA/ENST, Grenoble, Juin 1993.

Keeney R., Raiffa H. (1976), *Decision with multiple objectives ; preferences and value trade-offs*, J. Wiley and Sons.

Klayman J. (1982), *Simulation of six decision strategies: comparaison of search patterns, processing characteristics, and response to task complexity,* Technical report, Center for Decision Research.

Kotler P., Dubois B. (1994), *Marketing Management*, Publi-Union.

Krech D., Crutchfield R., Ballachey E. (1962), *Individual in Society,* McGraw Hill.

Krivine J.P, David J.M (1991), *L'acquisition des connaissances vue comme un processus de modélisation : méthodes et outils, Intellectica*, 12, pp.101-137.

Kroeber A. L., Kluckholn C. (1952), *Culture : A critical review of concepts and definitions*, Anthropoligical Papers, Peabdy Museum, n^{o} 4.

Lagache D. (1996), *La Psychanalyse*, Presses Universitaires de France.

Lancaster K. (1971), *Consumer Demand : a New Approach*, Columbia University Press.

Lapébie C. (1995), *Implémentation et optimisation de stratégies de décision*, Thèse de l'Université de Rennes I.

Leclerc B. (1990), *Sur le nombre d'éléments des niveaux des produits de chaînes et des treillis permutoèdres,* Mathématique Informatique et Sciences Humaines, 112, pp. 37-48.

Lee W. (1971), *Decision theory and human behavior,* Wiley, New York.

Lefebure R., Santerre R., Benhamou P. (1994), *CYBERNAELLE, Simulateur d'interaction Banque/Clients*, IA 94, 14èmes journées Internationales d'Avignon, Les Systèmes Intelligents dans les Entreprises.

Lefebure R., Le Bret C. (1995), *Utilisation des technologies cognitives pour l'amélioration de la connaissance de la clientèle*, IA 95, 15èmes journées Internationales, Les Systèmes Intelligents dans les Entreprises, Montpellier, pp. 355-365.

Lenca P. (1994), *Extraction et analyse de processus de jugement et de décision - Application au domaine de l'épargne*, Collection des Rapports de Recherche de Télécom Bretagne, RR-94008-IASC.

Lenca P. (1995a), *Application of expertise acquisition in saving products*, in Gronics '95, Groningen, Pays-Bas, pp. 85-92, .

Lenca P. (1995b), *Acquisition de stratégies expertes et compréhension du comportement des consommateurs*, IA 95, 15èmes journées Internationales, Les Systèmes Intelligents dans les Entreprises, Montpellier, pp. 367-376.

Lenca P. (1996), *Application of Artificial Intelligence and Cognitive Science Techniques in Banking*, in AIEM 96, The Fourth International Workshop on Artificial Intelligence in Economics and Management, Tel'Aviv, Israel.

Lévine P., Pomerol J.-Ch (1991), *Negociation support system : an overview and some knowledge-based examples*, in Defense Decision Making, (Avenhaus R., Karkar H. and Rudnianski M. Ed.), Springer, pp. 241-256.

Lévy G. (1994), *Algorithmique Combinatoire : méthodes constructives*, Dunod.

Lindsay P. H., Norman D. A. (1980) , *Traitement de l'information et comportement humain, une introduction à la psychologie*, Vigot.

Luce R.D. (1956), *Semiorders and a theory of utility discrimination*, Econometrica, vol. 24. pp. 178-191.

Luce R.D., Raïffa H. (1957), *Games and Decisions*, John Wiley and Sons.

Malinvaud E. (1975), *Leçons de théorie microéconomique*, 3e éd., Dunod.

Maslow A. (1970), *Motivation and Personality*, 2e Edition, Harper & Row.

Mephu Nguifo E. (1994), *Une nouvelle approche basée sur le treillis de galois pour l'apprentissage de concept*, Mathématique Informatique et Sciences Humaines, 124, pp. 19-38.

Miller G. A. (1956), *The magical number seven, plus or minus two : Some limits on our capacity for processing information*, Psychological Review, 63, pp.81-97.

Milnor J. (1954), *Games against Nature*, dans Decision Processes, Thrall, Coombs et Davis (Ed.), Wiley.

Mitchell T. M. (1982), *Generalization as Search*, Artificial Intelligence, 18, pp.203-226.

Montgomery H. (1981), *Decision rules and the search for a dominance structure: towards a process model of decision making, G*öteborg Psychological Reports.

Montgomery H. (1983), *Decision rules and the search for a dominance structure: toward a process model of decision making,* Analysing and Aiding Decision Process (ed. Humphrey P.C., Svenson O., Vari A.), Amsterdam North-Holland, pp. 343-369.

Montgomery H. (1989), *The search for a dominance structure: simplification and elaboration in decision making,* Human Information Processing : Measures, Mechanisms and Models (ed. Vickers D. et Smith P.L), Amsterdam, North-Holland, pp. 471-483.

Montgomery H., Svenson O. (1976), *On decision rules and information processing strategies for choices among multiattribute alternatives,* Scandinavian Journal of Psycholy, 17, pp.283-291.

Montgomery H., Svenson O. (1989), *A think-aloud study of dominance structuring in decision processes,* Process and Structure in Human Decision Making (ed. Montgomery H. et Svenson O.), John Wiley & Sons Ltd.

Mullet E. (1985), *L'intégration des informations dans le jugement et la décision,* Thèse de Doctorat d'Etat, Université René Descartes, Sciences Humaines, Sorbonne.

Murray H. (1964), *Motivation and Emotions*, Prentice Hall.

Nicosia F. (1971), *Processus de Décision du Consommateur,* Paris, Dunod.

Orléan A. (1993), *Rationnalité et phénomènes d'influence sur les marchés financiers*, Contribution au Colloque «L'impact des sciences cognitives sur l'économie et la gestion», Paris.

Payne J.W, Bettman J.R., Johnson J. (1988), *Adoption strategy selection in decision making*, Journal of experimental psychology : learning, memory and cognition, 14, pp. 534-552.

Picard P. (1990), *Eléments de microéconomie - Théorie et applications*, Montchrestien.

Pichon E., Lenca P., Guillet F., Wang JW. (1994), *Un algorithme de partition d'un produit direct d'ordres totaux en un nombre minimum de chaînes,* Mathématique Informatique et Sciences Humaines, 125, pp. 5–15.

Pinson C., Malhotra N. K., Jain A. K. (1988), *Les styles cognitifs des consommateurs*, Recherche et Applications en Marketing, vol. 3, 1, pp.53-73.

Pinson C., Jolibert A. (1989), *Comportements du consommateur*, Encyclopédie de gestion, Economica, vol. 1, 1, pp. 345-389.

Pomerol J.-Ch. (1990), *Systèmes Experts et SIAD : Enjeux et conséquences pour les organisations*, Technologies de l'information et société, Liège, vol. 3, pp. 37-63..

Pomerol J.-Ch., Barba-Romero S. (1993), *Choix multicritère dans l'entreprise*, Hermes.

Pomerol J.-Ch. (1994), *Des préférences au choix, des mathématiques à l'intelligence artificielle : le monde de l'aide à la décision*, Rapport LAFORIA 94/20, octobre 94.

Pomerol J.-Ch. (1995), *Artificial Intelligence and Human Decision Making*, Slowinsky R. (ed.), 14th European Conference on Operational Research, OR : Towards Intelligent Decision Support, Jerusalem, Israel, July 3-6, pp.169-196

Ranyard R. (1989), *Structuring and evaluating simple monetary risks*, Process and Structure in Human Decision Making (ed. Montgomery H. et Svenson O.), John Wiley & Sons Ltd.

Ranyard R., Crozier R. (1983), *Reasons given for risky judgment and choice: a comparison of three tasks*, Analysing and Aiding Decision Process (ed. Humphrey P.C., Svenson O. et Vari A.), Amsterdam North-Holland.

Rokeach M. (1973), *The Nature of Human Values*, The Free Press.

Sakarovitch M. (1984), *Optimisation combinatoire - Programmation discrète*, Hermann.

Sands B. (1981), *Counting antichains in finite partially ordered sets*, Discrete math., 35, pp. 213-228.

Savage L.J. (1954), *The Foundations of Statistics*, John Wiley and Sons.

Shanteau J. (1988), *Psychological characteristics of expert decision makers*, Acta Psychologica, 91, pp. 203-215.

Shanteau J. (1992), *How much information does an expert use ? Is it relevant ?*, Acta Psychologica, 91, pp. 75-86.

Shanteau J. (1993), *Discussion of expertise in auditing*, Auditing: A Journal of Practice & Theory, 12, pp. 51-56.

Shanteau J. (1995), *Expert Judgment and Financial Decision Making*, First international Stockholm Seminar on Risk Behavior and Risk Management, Stockholm University, June 12 to 14.

Simon H.A. (1957), *Models of Man*, Wiley.

Simon H.A. (1977), *The new science of management decision*, revised edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Simon H.A. (1979), *Models of Thought*, New-Haven: Yale University Press.

Svenson O. (1979), *Process Descriptions of Decision Making*, Organizational Behavior and Human Performance, 23, pp. 86-112.

Tylor E. (1913), *Primitive Culture*, Murray.

Tversky A. (1969), *Intransitivity of Preferences*, Psychological Review, vol. 76, pp.31-48.

Tversky A. (1972), *Elimination by aspects : A theory of choice*, Psychological Review, 79, p 281-299 .

Tversky A., Kahneman D. (1974), *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases*, Science, 185, pp.1124-1131.

Tversky A., Kahneman D. (1981), *The framing of decisions and the psychology of choice*, Science, 24, pp.453-458.

Tversky A., Kahneman D. (1986), *Rational choice and the framing of decisions*, *in* Rational choice: the contrast between economics and psychology, R. Hogarth & M. Reder (eds.), University of Chicago Press, 95-100.

van der Spek R. (1995), *Knowledge-based Systems in Financial Firms: Tools for Knowledge Management and Process Innovation*, in Artificial Intelligence in Banking - A Comparative Examination of Evolutionary Trends and Operational Experiences (Ed. Nottola C., Rossignoli C.), FrancoAngeli, pp. 375-413.

Varela F. J. (1985), *Connaître les Sciences Cognitives, Tendances et Perspectives*, Editions du seuil.

Varela F. J. (1989), *Autonomie et Connaissance, Essai sur le vivant*, Editions du seuil.

Veblen T. (1904), *The Theory of Business Enterprise*, Kelley Bookseller (1965).

Vernette E. (1987), *Identifier les attributs déterminants : une comparaison de six méthodes*, Recherche et Applications en Marketing, vol. 2, 4, pp.1-21.

Vignaux G. (1992), *Les sciences cognitives : une introduction*, Edition de la découverte.

Vincke P. (1989), *L'aide multicritère à la décision*, Editions de l'Université de Bruxelles.

von Neumann J., Morgenstern O. (1947), *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press.

Wang J. W. (1994), *Systèmes cognitifs d'extraction automatique de règles de décision*, Thèse de L'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris.

Weil-Barais A. (1994), *L'homme cognitif*, en collaboration avec Dubois D., Lecocq P., Pedinielli J.L. et Streri A., Presses Universitaires de France.

Zajonc R. B., Markus H. (1982), *Affective and cognitive factors in preferences*, Journal of Consumer Research, 9, pp. 123-131.

Index des auteurs

A

Adelbratt 56, 163
Ajzen 38
Allais 37
Anderson 72, 191
Andler 153, 154
Arrow 163
Aschenbrener 55

B

Barba-Romero 33
Barthélemy 29, 40, 54, 58, 69
Bem 24
Bernouilli 37
Blackwell 22
Blanquet 161
Boose 47, 158
Bottou 162
Bouchon-Meunier 69
Bourdaire 26
Bourgine 146
Bourret 162
Brée 24
Breuker 48
Bryman 48

C

Campbell 23
Chandrasekan 48
Charreton 26
Cohen 69
Coombs 40
Court 149
Crozier 56

Cullen 48

D

David 47, 48
Dawes 40, 163
De Bruijn 91, 191
De Hoog 56
Després 69
Dilworth 188
Drogoul 152
Dubois 15, 21, 22
Dufloux 149

E

Engel 22
Eshelman 48

F

Festinger 24
Fishbein 38
Fishburn 37, 41
Franchot 164

G

Gaines 50
Gourieroux 164
Griggs 102
Guillet 69, 92

H

Helfer 50
Hoffman 29
Hopfield 162
Howard 22
Huber 43, 56
Hubert 144
Hurwicz 40

J

Johnson 55
Jolibert 25

K

Kahnema 36
Kahneman 37, 155
Kalika 50
Kant 85
Kasubek 55
Keeney 37
Klayman 56
Kotler 21
Krech 24
Krivine 47, 48
Kuntz 40

L

Lapébie 32, 40, 43
Laplace 39
Larvor 151
Le Bret 165
Le Cun 162
Leclerc 71, 91, 186
Lee 40
Lefebure 162, 165
Lenca 80, 83, 91, 165
Lévy 69
Lindsay 30, 34
Lobstein 69
Luce 31, 32

M

Malhotra 33
Mc Culloch 162
Mephu Nguifo 69
Miller 35

Milnor 31
Minsky 162
Mitchell 69
Montgomery 40, 41, 43, 54, 56, 65, 163
Morgenstern 32, 37
Mullet 29, 54, 58

N

Nicosia 22
Norman 30, 34

O

Orléan 152, 164

P

Papert 162
Payne 55, 56
Pichon 83, 91
Pinson 25, 33
Pitts 162
Pomerol 33, 34, 158, 159

R

Raiffa 37
Raïffa 31
Ranyard 56

S

Sakarovitch 67
Santerre 165
Saunier 40
Savage 31, 41
Shanteau 29, 30, 33
Sheth 22
Simon 34, 35, 38, 40, 54, 108
Svenson 41, 43, 56
Szpilrajn 88, 192

T

Tengbergen 91
Tversky 36, 37, 41, 155, 163

V

van der Spek 165
van der Wittenboer 56
Varela 153
Vernette 31
Vignaux 153, 160
Vincke 26, 28, 32
von Neumann 32, 37

W

Wang 49
Weil-Barais 153
Wielinga 48

Y

Yannakakis 89, 192

Index

A

aide à la décision 152
Ane de Buridan 56
antichaîne 64
approximation d'Anderson 71
attributs déterminants 36
attributs importants 35
attributs saillants 36

C

chaînes symétriques 102
commensurabilité 36
concept de l'Homo economicus 37

D

décideur «optimiste» 41
décideur «pessimiste» 41
décideur expert 29
décideur naïf 29
décideur professionnel 29
dimension 88

E

échelles d'attractivité 84
espace des possibles 89
espace des versions 69
espaces de représentation 60

F

filtre principal 76
fonction isotone 67
formalisme polynômiale 58

G

Generic Task 48

H

heuristique de l’ancrage et d’ajustement 36
Heuristique de la Base Mobile 54

I

idéal principal 76

K

KADS 48

L

Le nombre magique 35

M

mémoire à court terme 34
mémoire à long terme 35
modèles de prise de décision 36
modèles mathématiques 152
MOLE 48
monômes 58
monstres cognitifs 86

P

partie commençante 63
partie finissante 63
principe de monotonie 62
process tracing 31

R

rationalité limitée 35
rationnalité limitée 54
recherche en largeur 29
recherche en profondeur 29
règles compensatoires 36
règles non compensatoires 36

S

SIAD 156

Sperner 71
stratégies interdimensionnelles 36
stratégies intradimensionnelles 36
structure de préférence 32
styles cognitifs 33

T

Théorème de Dilworth 70
théorie de l’attribution causal 24
théorie de la dissonance cognitive 24

U

utilité cardinale 37
utilité ordinale 38

Liste des figures

Figure 1. Les trois niveaux d'explication du comportement du consommateur . 22
Figure 2. Acquisition interactive par apprentissage 51
Figure 3. L'algorithme d'apprentissage : un automate 52
Figure 4. Décision/jugement via la recherche d'une structure de dominance 57
Figure 5. Plongement du monde dans un espace multi-attributs 61
Figure 6. Empilement des deux classes 63
Figure 7. Rechercher une antichaîne dans un ensemble ordonné 64
Figure 8. La recherche de l'antichaîne via le rapprochement de deux antichaînes 68
Figure 9. Couverture minimale en chaînes de $P = \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4 \leq 5\} \times \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4 \leq 5\}$ 73
Figure 10. Un exemple d'application de la stratégie (13) 77
Figure 11. Evolution de l'algorithme d'apprentissage 79
Figure 12. Principales positions des monstres cognitifs 88
Figure 13. Structure de données codant le monde 93
Figure 14. Chaînes créées par l'algorithme 2 pour $P = \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4\} \times \{1 \leq 2 \leq 3\}$ 98
Figure 15. Une partition minimale en chaînes de $P = \{1 \leq 2 \leq 3 \leq 4\} \times \{1 \leq 2 \leq 3\}$ 99
Figure 16. Ecran manipulé par les sujets 122
Figure 17. Principales disciplines contribuant aux STC (Valera, 1989) 154
Figure 18. Diagrammes de Hasse de l'ensemble des parties de {1, 2, 3} ordonné par l'inclusion. 189
Figure 19. Niveaux d'un produit de chaînes 193
Figure 20. Chaîne maximale, hauteur, ..., de 5×4 194

Liste des tableaux

Tableau 1 : Evolution de l'attitude des Français de 1989 à 1994 face à l'argent et leurs relations avec la banque. 18
Tableau 2 : Matrice de décision 42
Tableau 3 : Complexité théorique de la recherche en fonction de *P* *71*
Tableau 4 : Phases gloutonne et linéaire 80
Tableau 5 : Réduction de la taille du questionnaire 81
Tableau 6 : Temps de calcul 106
Tableau 7 : Résultats quantitatifs 124
Tableau 8 : Résultats qualitatifs 126
Tableau 9 : Détails d'une expérience menée avec le sujet 1 131
Tableau 10 : taux d'épargne des ménages en France en % du revenu brut disponible 171
Tableau 11 : Heures passées en entretien par les conseillers 183