
RECHERCHE DE L'INFORMATION TRAITÉE PAR DES DECIDEURS EXPERTS ET DES DECIDEURS NOVICES

Philippe LENCA, Pierre SAUNIER

Laboratoire de Recherche en Informatique de Sévenans
Institut Polytechnique de Sévenans
90010 Belfort Cedex
Tél. : 03 84 58 31 81
Email : Philippe.Lenca@utbm.fr

Laboratoire Statistique et Décision
Centre de Recherche Publique - Centre Universitaire du Luxembourg
13 rue de Bragance L-1255 LUXEMBOURG
Tél. : (352) 44 01 95
Email : saunier@crpcu.lu

RESUME

Ce papier présente une technique d'acquisition des stratégies de décision mises en oeuvre par les individus pour des tâches de catégorisation. La technique employée est basée sur un modèle cognitif du décideur, l'Heuristique de la Base Mobile (HBM, [Barthélemy et Mullet, 1994]). L'approche cognitive consiste, essentiellement, à élaborer un modèle de l'expert puis, par observation de son comportement, à le valider. Dans cette perspective, un système interactif (APACHE : Acquisition Par Apprentissage de Connaissances Humaines Expertes) mettant en oeuvre cette méthode a été développé [Lenca, 1997]. Le système présente au décideur une série d'objets qu'il doit classer (comme il le fait couramment). Nous cherchons alors à déterminer les règles permettant d'expliquer la totalité des choix effectués. Afin d'économiser le temps et les ressources cognitives du décideur, nous nous efforçons d'atteindre deux objectifs importants. Nous cherchons d'une part, à minimiser la taille de l'ensemble d'apprentissage et d'autre part, les temps de calcul entre chaque proposition. Les enjeux de ce travail correspondent tant à une problématique scientifique (pour proposer lorsque c'est possible une alternative aux techniques basées sur la verbalisation et aux techniques basées sur les modèles conceptuels) qu'à des enjeux économiques (pour la mise au point de systèmes cognitifs d'aide à la décision). Le système étant générique, il est (ou a été) utilisé dans des domaines divers. Le développement du système se poursuit afin de traiter des données écologiques (en cas d'informations incomplètes par exemple, le décideur continue à bien "fonctionner") mais aussi afin de dépasser les limites soulevées dans [Lenca, 1997]. Une des principales hypothèses du modèle suppose que le décideur (expert) utilise peu d'informations (trois ou quatre items au maximum) pour effectuer sa tâche. Il doit de plus avoir développé des stratégies stables lui permettant de décider rapidement dans la plupart des situations relevant de son expertise. C'est en particulier ce que nous cherchons à vérifier dans le cadre d'une expérience où les objets sur lesquels porte la décision sont décrits par six attributs. On détermine la qualité et la quantité de l'information traitée tout en mesurant les temps de réponse à l'insu des décideurs. Nous comparerons également les décideurs-experts et les décideurs-novices.

1. Introduction

Au fur et à mesure que le décideur expert acquiert de l'expertise, sa connaissance déclarative devient procédurale et il perd la conscience de celle-ci. Johnson [1983] appelle ce changement le paradoxe de l'expertise, et c'est pourquoi la phase d'acquisition des connaissances dans le cycle de vie des systèmes à base de connaissances est une étape difficile et longue. Le domaine de l'acquisition des connaissances est vaste et aborde de plus en plus des questions communes à l'ensemble des sciences cognitives. Les nouveaux défis tels la capitalisation et la gestion des connaissances dans les organisations doivent

permettre à l'acquisition des connaissances de trouver sa place comme une composante à part entière de l'informatique du futur [Aussenac-Gilles et al., 1995].

Lorsque l'acquisition de connaissances est faite par entretiens entre un cogniticien et un ou des experts, de nombreuses difficultés sont rencontrées. Celles-ci sont liées, par exemple, à la verbalisation, à l'introspection et au "non-contexte" [Gaines, 1988].

Les techniques basées sur les modèles conceptuels ont permis une avancée importante et une certaine maîtrise de cette phase critique. Parmi les méthodes les plus connues, citons KADS (Knowledge Acquisition and Design Support) [Breuker et Wielinga, 1985], KOD

(Knowledge Oriented Design) [Vogel, 1988, 1990]. Elles restent liées à la nécessité de représenter et de manipuler informatiquement les connaissances. Ces techniques nécessitent la participation active d'un cognicien, et de ce fait sont sujettes aux ignorances de celui-ci du domaine du décideur expert. L'expert doit agir en *problem solver* et le recours à une phase de transcription d'entretiens oraux reste important. Enfin, elles ne peuvent suffire lorsque le décideur n'est pas véritablement expert mais tout au plus un sujet-expérimenté. On peut trouver une présentation de ce type de modèles dans [Aussenac-Gilles et al., 1992] et [Krivine et David, 1991].

La méthode que nous présentons calcule les stratégies du décideur par observation de son comportement en situation de décision. Ainsi, sous certaines contraintes (monde clos, décision multi-attributs, échelles ordinales d'attractivité), les problèmes précédents sont minimisés par le développement d'un système interactif d'acquisition par apprentissage de stratégies de décision. Ce dernier est basé sur un modèle psychologique du décideur en situation d'expertise. Bien évidemment, une phase de verbalisation reste nécessaire, ne serait ce que pour modéliser le domaine de l'expertise. Mais lors de la phase d'acquisition, la verbalisation ne sera pas utilisée.

Le système propose une série d'objets au décideur que ce dernier doit classer. Le décideur effectue sa tâche comme il a l'habitude de le faire couramment.

Ainsi à partir d'expériences menées avec des enseignant-chercheurs, nous effectuons diverses mesures afin de montrer la pertinence du modèle.

2. Hypothèses et modèle de prise de décision

L'approche psychologique doit pouvoir être formalisable afin de réaliser une implémentation du modèle. La réalisation d'un système opérationnel est l'objectif initial de nombreuses recherches dans le domaine. Nous présentons dans cette partie le modèle du décideur et son interprétation dans des structures mathématiques à partir desquelles nous pouvons concevoir des algorithmes efficaces.

2.1. Rationalité limitée et comportement du décideur

L'approche cognitive consiste, essentiellement, à élaborer un modèle du décideur puis, par observation de son comportement, à le valider. Elle est donc fortement soutenue par les recherches menées en psychologie de la décision [Mullet, 1985].

Nous nous situons dans le cadre de la décision multi-attributs. Nous utiliserons indifféremment les

termes objet, action, ou encore alternative pour désigner un objet que le décideur doit classer. Les actions sont décrites par un ensemble fini d'attributs et le décideur dispose de toutes les informations nécessaires, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'attribut sans valeur. Les décisions sont prises sur la base des valeurs prises par les attributs, ou aspects.

Les traitements nécessaires à la décision étant effectués en mémoire à court terme, appelée encore mémoire de travail, sans stockage en mémoire à long terme, le décideur ne peut considérer qu'une partie de l'information. Selon Shanteau [1992], trois informations sont traitées en moyenne.

Ainsi, si le décideur peut faire preuve de rationalité, celle-ci est limitée par de nombreux facteurs [Simon, 1979] : ses capacités de représentation de la situation, sa connaissance des actions, son implication dans la tâche, les efforts cognitifs nécessaires, l'importance qu'il accorde aux résultats de la décision, etc. Il en résulte que même si les alternatives sont décrites de façon exhaustive, le décideur va opérer un filtrage des informations. Les facultés cognitives du décideur contraignent le processus de décision. Les attributs utilisés par le décideur sont déterminants et pertinents pour la décision. La connaissance de la qualité et de la quantité des informations effectivement traitées par le décideur est donc un enjeu important pour la mise au point de systèmes cognitifs d'aide à la décision. En effet, ce ne sont pas les aspects qui déterminent la décision mais la façon dont ceux-ci vont être traités. L'approche que nous développons possède l'avantage de permettre, par calcul, la mise en évidence des attributs et valeurs sur lesquels sont fondées les décisions.

Nous supposons ainsi que le décideur va suivre l'heuristique d'ancrage et d'ajustement issue de la théorie de l'intégration de l'information [Anderson, 1981, 1991], selon laquelle le décideur n'accorde pas la même importance à tous les attributs. Il va d'abord focaliser son attention sur certains d'entre eux (l'ancre principale constituée des aspects importants pour lesquels le décideur va se montrer très exigeant, voire intransigeant) puis va ajuster son jugement sur d'autres aspects afin de prendre sa décision. Montgomery [1983, 1989] a introduit un modèle de prise de décision qui rend compte de cette heuristique. D'après ce modèle, le décideur recherche un point de vue qui va lui permettre de prendre une décision. Dans le cadre de la décision multi-attributs, ce point de vue se traduit par la sélection d'un petit nombre d'attributs et une façon de les considérer. Les attributs pris en compte par le décideur, et la manière de les considérer s'appelle une *structure de dominance*. 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.

Partant du modèle de recherche de structure de dominance, Barthélemy et Mullet [1986, 1987, 1992, 1994] ont présenté un modèle mathématique de la tâche de catégorisation : l'Heuristique de la Base Mobile (HBM). Nous nous intéresserons dans cette étude plus particulièrement à la tâche de sélection/rejet. Le décideur doit donc dire si l'objet qui lui est présenté est apte à remplir la tâche requise (sélection) ou non (rejet). Un seul objet étant proposé à la fois, il s'agit d'une tâche de jugement et non d'une tâche de choix qui porte sur plusieurs objets. Seuls des processus interdimensionnels sont donc mis en jeu.

L'observation des comportements a permis la mise en évidence de nombreuses stratégies élémentaires [Montgomery et Svenson, 1976], [Svenson, 1979].

L'HBM suppose l'utilisation de quatre règles :

- la règle de dominance [Lee, 1971] qui stipule qu'un objet *a* est préféré à un objet *b* si et seulement si *a* est mieux évalué que *b* sur un attribut et pas plus mauvais sur tous les autres attributs ;
- la règle conjonctive [Coombs, 1964] qui introduit un seuil pour chaque attribut. Un objet est sélectionné s'il respecte les niveaux minimaux pour chacun des attributs ;
- la règle disjonctive [Dawes, 1964] qui introduit également des seuils et est en quelque sorte la règle duale de la précédente. Un objet est sélectionné s'il possède au moins un aspect dépassant le seuil fixé sur l'attribut correspondant ;
- la règle lexicographique [Fishburn, 1974] qui suppose que le décideur possède un ordre de préférence entre les attributs et examine les objets selon la hiérarchie établie.

La règle de dominance est la règle principale. Elle exige une condition de comparabilité forte entre les alternatives mais elle joue un rôle important dans les processus de décision [Montgomery, 1989]. Les autres règles peuvent être vues comme des accélérateurs décisionnels. Par exemple, une combinaison des règles lexicographique et conjonctive a été étudiée, initialement dans un cadre probabiliste, par [Tversky, 1972] et est désormais connue sous le nom de règle de l'élimination par aspects.

Toutes ces règles supposent des échelles ordinales d'attractivité mais pas la commensurabilité des attributs. De plus, elles sont non compensatoires.

Enfin, l'HBM essaie de rendre compte de trois principes cognitifs du décideur :

- Economie : le décideur n'utilise qu'un ensemble limité d'attributs.

A cause de ses capacités cognitives limitées, le décideur est incapable de traiter l'ensemble des données au même instant, et il considère des

sous-ensemble d'attributs compatibles avec sa mémoire à court terme et ses capacités de calcul (les stratégies de décisions stockées en mémoire à long terme sont traitées en mémoire à court terme). En ordonnant les attributs par ordre d'importance, la règle lexicographique traduit bien ce principe car elle permet de ne s'intéresser qu'à un nombre limité d'aspects.

- Fiabilité : le décideur utilise un ensemble d'attributs suffisamment grand pour pouvoir justifier individuellement et/ou socialement ses choix.

Ainsi, le décideur utilise des sous-ensemble d'aspects suffisamment significatifs et de qualité. La règle conjonctive qui introduit une notion d'exigence minimale est l'expression privilégiée de ce principe.

- Décidabilité : le décideur essaie (se doit) de parvenir à un choix rapidement.

Il doit donc être suffisamment flexible dans sa façon d'examiner les attributs pour parvenir à un choix rapide dans les diverses situations auxquelles il est confronté (règle disjonctive). Une conséquence de cette hypothèse est que le décideur s'est forgé des stratégies stables.

2.2. Modèle du décideur

Lors d'une tâche de sélection/rejet, le décideur doit simplement dire pour un objet donné s'il est accepté ou refusé. Par exemple, le sujet doit donner les logements où il accepterait de vivre parmi tous ceux qui lui sont proposés (un par un).

Les objets que nous considérons sont décrits par des attributs ordinaux correspondant aux échelles d'attractivité du décideur. Les échelles ordinales d'attractivité ne sont pas données. La description objective du monde devient subjective chez l'individu. Les échelles d'attractivité, ou encore subjectives, sont les représentations que construit le décideur dans son monde subjectif. Une étude approfondie du domaine de l'expertise mais aussi des préférences du décideur peut être nécessaire pour les déterminer.

C'est à cette étape que l'on a recours à la verbalisation en particulier. Ces échelles ne sont pas liées aux variables mais à l'individu. Pour le choix d'un logement, on peut considérer que plus la distance au lieu de travail (attribut numérique) est importante moins le logement est attractif et qu'un appartement au centre ville (attribut nominal) peut être préféré à un appartement en banlieue. On peut également inverser complètement ces échelles pour un décideur cherchant un logement loin de son lieu de travail (pour des raisons qui ne regardent que lui) et loin du centre ville parce qu'il pense que cela pose des problèmes de stationnement. Ainsi la connaissance de l'ordre sur les attributs est d'une importance capitale pour l'outil que

nous développons. Les résultats obtenus en dépendent directement.

Soit p le nombre des attributs décrivant les objets du monde O . Un objet x du monde O peut donc être représenté par un p -uplet (x_1, \dots, x_p) où x_i est l'aspect de l'objet x sur l'attribut i . Les c_i aspects que peut prendre l'attribut i étant totalement ordonnés, une bijection peut être établie entre l'ensemble ordonné $\{1, 2, \dots, c_i\}$ et les aspects de l'attribut i .

Ainsi, l'ensemble des objets O (dont le cardinal n est égal au produit des c_i) est en bijection avec un produit direct P de p ordres totaux :

$$P = \{1, 2, \dots, c_1\} \times \dots \times \{1, 2, \dots, c_p\}$$

Ce dernier est classiquement ordonné par l'ordre produit :

$$\forall (x, y) \in P, x \geq y \Leftrightarrow \forall i \in \{1, \dots, p\} x_i \geq y_i$$

Cet ordre dans P induit un ordre dans O : $x \geq y$ signifie que l'objet représenté par x est préféré à celui représenté par y . De plus, il permet d'introduire le principe de monotonie :

Si un objet est sélectionné par le décideur alors tous les objets qui lui sont supérieurs seront aussi sélectionnés ; si l'objet est rejeté, alors tous les objets qui lui sont inférieurs seront aussi rejetés.

C'est l'expression de la règle de dominance qui se traduit aisément dans P . Ce principe va également nous permettre de réduire l'ensemble des questions posées au décideur grâce à un important pouvoir de généralisation. Deux des principales difficultés d'application de la règle de dominance concernent l'incomparabilité des objets du monde et l'impossibilité pour le décideur humain de traiter un nombre important d'objets (même comparables). Ainsi, il faut remarquer que dans ce modèle, il existe un degré de comparabilité important par construction mais aussi que l'application de la règle de dominance sera effectuée par la machine.

Nous appellerons monde des possibles l'ensemble des éléments de P ayant un équivalent dans O . En effet, l'ensemble de la combinatoire de P peut introduire des descriptions qui ne sont pas pertinentes, par exemple un objet qui maximiserait tous les critères pourrait induire en erreur un décideur naïf ou tout simplement le perturber. Ce type d'objet ne pose cependant pas de problème majeur car l'application du principe de monotonie va normalement l'écarter du questionnaire. Cependant, il peut exister des combinaisons bien moins aisées à trouver nécessitant une expertise du domaine.

Face à une tâche de sélection/rejet, le décideur va réaliser une bipartition de l'ensemble des objets. D'après le principe de monotonie, cette bipartition est délimitée par une antichaîne (un ensemble d'éléments deux à deux incomparables) de P . Cette antichaîne est composée des objets minimaux sélectionnés [Pichon et al., 1994]. Les règles de décision du décideur peuvent donc être représentées par une disjonction d'objets appelés objets règle. Une règle s'interprète par : si un objet x est supérieur à un des objets règle, alors il est accepté, sinon il est refusé par le décideur. On utilise ainsi le même espace de représentation pour les objets et les règles de décision.

Cette représentation des règles de décision rend bien compte des trois principes de l'HBM. La disjonction est liée au principe de décidabilité. Les attributs d'une règle qui sont minimaux (codés par 1 dans P) ne sont pas pris en compte par le décideur (économie). Les conjonctions rendent compte du 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. L'antichaîne rend compte des différents points de vue que le décideur examine (attributs pertinents, compensation entre les attributs). Les points d'ancrage et d'ajustement peuvent alors y être recherchés. Pour ce faire, il est commode d'utiliser un formalisme polynomial de représentation de l'antichaîne. Un polynôme est une somme de monômes, chaque monôme étant une règle de décision. On applique alors une technique de factorisation des monômes en choisissant par exemple de minimiser le nombre d'ancres. La factorisation n'est en effet pas unique comme le montre l'exemple suivant du paragraphe 2.3.

Il faut remarquer que nous ne cherchons pas à expliquer les processus de formation de ces règles mais uniquement à les déterminer dans leurs formes stabilisées. Le modèle suppose que le décideur n'est pas en phase d'apprentissage. On peut cependant envisager, dans le même cadre, une étude de la structuration et de la stabilisation des stratégies utilisées pour une tâche donnée chez des sujets ne possédant pas d'expertise pour la dite tâche. Ce phénomène peut se produire avec des décideurs naïfs et a été constaté [Lenca, 1997].

Nous venons, principalement, de montrer dans ce paragraphe que, sous respect des contraintes d'ordre total au sein de chaque attribut et de description complète des objets, l'acquisition des stratégies de décision de l'individu revient à localiser une antichaîne dans un produit direct d'ordres totaux (ou plusieurs antichaînes s'il y a plus de deux réponses possibles).

Enfin, l'élimination des objets non pertinents revient à faire des trous dans le produit direct d'ordres totaux P . Il reste désormais à développer des algorithmes

efficaces de recherche d'antichaînes dans un ensemble ordonné (quelconque). On se ramène alors à des problèmes d'optimisation combinatoire. On pourra alors utiliser cette méthode de façon interactive dans des situations réelles. Avant de présenter un système intégrant tous ces aspects, illustrons les notions précédentes à l'aide d'un exemple jouet.

2.3. Exemple

Afin d'illustrer les propos précédents, reprenons la sélection de logements. Les logements sont décrits par deux attributs : le loyer et le standing.

Le premier attribut L peut prendre ses modalités en francs (par ordre croissant de préférence) dans l'ensemble $\{ [2500, 3000[, [2000, 2500[, [1500, 2000[, [0, 1500[\}$. Cet ensemble sera codé dans P par $\{ 1, 2, 3, 4 \}$. Le second attribut S peut prendre les valeurs mauvais, bon, ou très bon qui seront codées par $\{1,2,3\}$. Un objet non pertinent est par exemple $([0, 1500F[, très bon)$. Le monde des possibles contient ici $12 \cdot 3 = 11$ logements.

Supposons que le décideur accepte un logement si et seulement si :

*son loyer est inférieur à 2000F et
son standing est au moins bon*

ou

*si son loyer est inférieur à 2500F et
son standing est très bon.*

Ces règles s'écrivent dans un formalisme polynomiale, $L^2S^3 + L^3S^2$. Ce polynôme de choix peut, par exemple, se factoriser en $L^2(S^3 + L^1S^2)$. Cette factorisation met en évidence que L^2 est une condition nécessaire (dans cet exemple illustratif, on pourrait faire la même remarque pour S^2 , ou encore avec L^2S^2). L'antichaîne correspondante dans P est $\{(2,3), (3,2)\}$. Toutes ces notions sont illustrées dans la figure 1.

Regardons maintenant le déroulement du questionnaire, en supposant que le programme cherche à minimiser le nombre de questions posées au décideur. Le système propose d'abord au décideur un logement avec un loyer de 2000 à 2500 F et un bon standing. Comme ce logement ne correspond pas aux aspirations du décideur, il le refuse. Le principe de monotonie va classer les quatre objets suivants comme refusé : $\{ ([2000, 2500[, bon), ([2000, 2500[, mauvais), ([2500, 3000[, bon), ([2500, 3000[, mauvais) \}$. La question suivante est "Que faites vous pour le logement ayant un loyer entre 1500 et 2000 F et un très bon standing ?". Cette fois, le logement est accepté par le décideur car il est au dessus de ces exigences minimales. Le seul objet classé est $([1500, 2000[, très bon)$ car l'objet qui lui est supérieur $([0, 1500[, très bon)$ est considéré comme non pertinent. Le système

continue ainsi de suite, et en six questions détermine les règles du décideur.

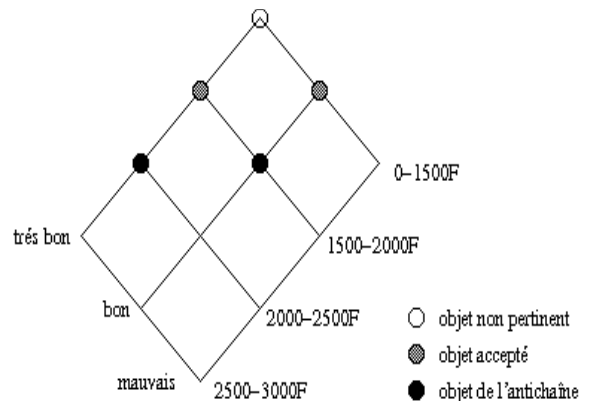


Figure 1 — Exemple de stratégies représentées par une antichaîne

C'est le principe de fonctionnement du système que nous présentons dans le paragraphe suivant.

3. Présentation d'APACHE

Le logiciel APACHE (*Acquisition Par Apprentissage de Connaissances Humaines Expertes*) est une implémentation du modèle HBM.

Il génère interactivement les objets proposés au jugement du décideur. L'objet proposé à l'étape t dépend uniquement des $t-1$ objets précédents et de leurs classements, en particulier lorsque nous cherchons à minimiser le nombre d'objets proposés. Ainsi, le système, qui est piloté par un algorithme d'apprentissage qui calcule cet objet, se comporte comme un cogniticien lorsque ce dernier choisit la question qu'il va poser à l'expert. Il détermine ensuite les stratégies permettant d'expliquer la totalité des choix effectués sur la base du questionnaire réalisé.

Le système est (ou a été) utilisé dans des situations diverses : dans la banque (au Crédit Mutuel de Bretagne) pour la compréhension des stratégies de décision des individus en matière de choix de produits d'épargne, dans le domaine agricole pour l'acquisition des règles de classification des vaches par des vétérinaires et fermiers [Hubert, 1996], mais aussi au Laboratoire de Psychologie Différentielle de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes pour l'étude de l'effet du vieillissement sur les individus et le traitement de données médicales (prescription ou non de traitements à base d'antibiotiques). Son utilisation dans le domaine bancaire illustre bien l'intérêt d'une telle approche. En effet, cette application constitue une situation extrême où les utilisateurs sont ni cogniticien (conseiller devant savoir avec précision ce que veut son client) ni expert

de l'épargne (la plupart des épargnants peuvent être considérés tout au plus comme des sujets expérimentés). De plus, cette application était fortement contrainte par la faible disponibilité des intervenants.

Généralement, l'acquisition des stratégies de décision nécessite quatre étapes :

- **Détermination de la description des objets du monde** — C'est-à-dire, choisir l'ensemble des attributs, l'ensemble des aspects qu'ils peuvent prendre ainsi que l'ordre sur les aspects. On détermine aussi la tâche de décision.

La combinatoire de l'ensemble P issue de cette phase nous donne une idée de la durée de l'acquisition. En fonction de la disponibilité du décideur on peut être amené à revoir la description initiale. On essaie dans la mesure du possible d'utiliser le moins d'attributs possible. En effet, le nombre de questions posées au décideur croît très vite avec p . La complexité du problème a été étudiée dans [Pichon et al., 1994] et [Lenca, 1997].

- **Elimination ou non des objets non pertinents** — Ils peuvent perturber le comportement du décideur. Leur élimination permet de réduire le nombre d'objets qui vont être proposés. On peut également s'en servir afin de vérifier le degré d'expertise du décideur. En effet, on peut légitimement douter des capacités d'un individu qui laisserait passer sans aucune remarque des objets complètement irréels.
- **Déroulement du questionnaire interactif** — Le questionnaire se déroule suivant une stratégie préalablement choisie. Les deux possibilités les plus couramment utilisées sont la minimisation du questionnaire et la présentation de tous les objets.

Le critère d'arrêt de la phase d'acquisition peut être variable : classement de tous les objets, nombre maximal de questions, etc.

- **Vérification des stratégies calculées** — La phase de vérification dépend pour beaucoup de la disponibilité du décideur. Elle peut se dérouler, en confrontant le décideur avec ses règles de décision, en lui proposant des objets limites aux objets règles, ou encore en réalisant un test en généralisation afin de déterminer le taux d'erreur commis.

Enfin, on peut mener un entretien post-expérimental avec le décideur en lui demandant par exemple quelles sont ses stratégies, quels sont les attributs les plus importants pour lui, etc. On compare alors les résultats obtenus par verbalisation avec ceux calculés par le système.

Il est particulièrement intéressant de regarder de près les objets ayant nécessité des évaluations longues. Ces objets peuvent avoir posé des problèmes de classification au décideur.

Les deux premières phases permettent de définir le monde des possibles. C'est l'ensemble d'apprentissage sur lequel va se dérouler le questionnaire. Il est systématiquement décrit en compréhension aux décideurs avant le questionnaire. Des précisions sont apportées en particulier s'il existe une interaction importante entre certains attributs. Par exemple, pour l'évaluation d'un produit d'épargne, les attributs *disponibilité* de l'épargne et *fiscalité* sont très fortement liés.

La troisième phase est parfois précédée d'un mini-questionnaire afin de familiariser le décideur avec l'approche et l'outil (en particulier pour s'assurer que les temps de réponse sont bien les temps nécessaires à la prise de décision et non augmentés par la manipulation du système).

Si le système propose plusieurs modes de calcul du questionnaire, nous cherchons bien souvent à minimiser le nombre de questions posées au décideur. Cet objectif correspond à une volonté (et parfois à une nécessité) d'économiser le temps et les efforts cognitifs du décideur. C'est la situation que nous développons ci-dessous.

Ainsi, pour chaque proposition d'objet, APACHE calcule pour chaque objet non classé, le nombre d'objets non classés qui lui sont supérieurs et le nombre d'objets non classés qui lui sont inférieurs. On propose alors au décideur l'objet qui maximise le plus petit de ces deux nombres afin de maximiser la portée du principe de monotonie (en cas d'égalité entre plusieurs objets on choisit alors celui qui maximise la portée de la monotonie dans le meilleur des cas). Un avancement minimum vers la solution quelle que soit la réponse du décideur est ainsi garanti.

L'optimisation précédente nécessite de nombreux calculs. Ces calculs doivent s'effectuer *on-line* avec le sujet. Les principes du système sont présentés dans [Lenca, 1997]. Cependant cette première version possédait quelques limites. Parmi celles-ci, on trouve des temps de calcul trop importants lors des premières questions (et donc gênant pour le processus d'acquisition) pour des objets décrits par cinq attributs à cinq valeurs (3125 objets en tout) par exemple. De plus elle était limitée à 8 attributs et 9 valeurs par attribut (les objets étaient codés sur un entier en base 10). Ainsi nous nous sommes récemment attachés à ce problème.

Nous proposons un nouveau codage (au sens structure de données informatiques) de l'ensemble P , les principes de fonctionnement du système restant inchangés. Il permet de réduire les temps de calcul tout en autorisant le codage de plus d'attributs avec plus de valeurs. L'occupation mémoire reste une de nos préoccupations et chaque objet (p entiers) est codé sur un seul entier.

Chaque attribut est codé sur le nombre minimum de bits nécessaire, soit $\lceil \log_2 c_i \rceil$ où $\lceil x \rceil$ est la partie entière arrondie par excès de x . Les entiers étant codés sur 32 bits, APACHE ne pourra pas coder de description telle que $\sum \log_2 c_i > 32$. Cette limite est loin d'être atteinte dans les situations que nous traitons, par exemple pour 7 attributs à 6 valeurs on obtient 18.

Sans entrer dans les détails, on présente ci-dessous quelques avantages de ce codage :

- il est facile de générer tous les supérieurs (respectivement inférieurs) à un objet donné ; il n'y a donc pas de recherche exhaustive des objets supérieurs (respectivement inférieurs) ce qui pour un problème d'optimisation combinatoire est un avantage certain ;
- nous faisons l'économie des p tests nécessaires pour comparer deux éléments grâce à la propriété précédente ;
- le décodage d'un objet en attributs se fait simplement par décalages logiques et opérateurs "et" binaires, opérations de bas niveau sur une machine et donc extrêmement rapides. Il permet de plus de localiser directement un objet dans la structure de données représentant P .

Le temps d'attente entre chaque proposition est ainsi limité permettant d'éviter une irritation du décideur ainsi qu'un rejet du système.

APACHE contient un drapeau associé à chaque objet. Pour la sélection/rejet, ce drapeau peut être : *non-pertinent*, *non-classé*, *accepté*, ou bien *refusé*. Les drapeaux sont tous initialisés à *non-classé* ou *non-pertinent*. A chaque étape, l'objet *non-classé* maximisant le critère présenté plus haut est proposé au décideur. La réponse de ce dernier est alors propagée à l'ensemble des éléments non classés par application du principe de monotonie. Ce processus est réitéré tant que le critère d'arrêt n'est pas atteint. Ensuite, les stratégies de décision sont calculées.

4. Expérience

A partir de cette nouvelle version du système nous avons réalisé une expérience où les objets du monde sont décrits par six attributs afin de mesurer, entre autre, les temps moyens de réponse et le nombre d'attributs permettant d'expliquer les décisions prises. Les expériences menées dans le domaine bancaire, fortement contraintes, avaient dues être réalisées avec seulement quatre attributs.

Nous cherchons, bien évidemment à vérifier la pertinence des stratégies calculées, mais au delà, l'adéquation entre les comportements observés et les prévisions du modèle. Par exemple, le modèle prédit

que le temps moyen des réponses *refusé* et plus long que celui des réponses *accepté*. Enfin on cherchera à différencier les décideurs supposés experts, pour la tâche concernée, des décideurs novices. Cette différence entre expert et novice est l'objet de nombreuses études qui s'intéressent à l'information traitée, à la consistance des décisions, etc. Dans le domaine médical, par exemple, [Shanteau et al., 1991] notent que les experts infirmiers classent 44% de l'information comme intéressante tandis que les élèves infirmiers en retiennent 67%. Dans le domaine de la conception de produits aérospatiaux, Bonnardel [1991] montre que le niveau d'expertise influence la réussite globale de la tâche expérimentale. De part nos hypothèses, les experts doivent décider beaucoup plus vite et utiliser moins d'attributs que les novices.

4.1. Les décideurs et la tâche de décision

Compte tenu de la faible disponibilité des experts et de la nécessité de devoir "travailler" plusieurs fois avec eux nous avons été conduit rapidement aux choix des décideurs, des objets et de la tâche. Ainsi, les décideurs sont des enseignant-chercheurs et jeunes chercheurs de l'Institut Polytechnique de Sévenans (IPSE). Ils doivent évaluer des profils d'étudiants de niveau baccalauréat et décider ou non de leur admission à l'IPSE.

Nous distinguons deux types de décideurs. Les décideurs experts possèdent une expérience importante pour la tâche concernée. Ils ont participé à de nombreux jurys et entretiens d'admission. Ils possèdent de plus un historique de la réussite ou non des étudiants admis. Ils sont ainsi supposés avoir développé des stratégies de décision stables pour l'admission des candidats. Les décideurs novices sont, par exemple, de jeunes enseignants-chercheurs ou des doctorants ne possédant pas cette expérience. C'est la distinction que nous faisons entre experts et novices. La définition même de l'expert reste parfois un sujet de discussion. Récemment, Shanteau [1995] faisait remarquer qu'il existait presque autant de définitions que de chercheurs dans le domaine.

Les expériences ont été menées avec dix décideurs : sept experts et trois novices.

C'est une tâche de sélection/rejet (un seul objet est présenté à la fois) et il n'y a pas de possibilité de répondre "je ne sais pas" même pour les cas limites afin de coller à la réalité des jurys d'admission. La sélection des étudiants est réalisée sur dossier et entretien. Un premier examen du dossier conditionne la convocation à l'entretien.

4.2. Le monde des possibles

Les étudiants sont décrits par six attributs permettant de composer 486 profils de candidats (voir

le tableau 1 ci-dessous). Tous les profils peuvent se présenter à l'admission, il n'y a donc pas d'objet non pertinent. Ainsi, le monde des possibles est composé de la combinatoire de toutes les valeurs.

L'entretien est mené par un enseignant et/ou un psychologue qui ne dispose pas du dossier scolaire de l'étudiant. Il s'agit de déterminer les motivations, les

qualités humaines, etc., du candidat. Le domaine d'excellence précise par exemple, si le candidat est sportif de haut niveau ou encore premier prix de conservatoire. C'est typiquement un sujet abordé lors de l'entretien.

Tableau 1 — Description attributs \times valeurs

Attributs	Valeur 1	Valeur 2	Valeur 3
Moyenne première	médiocre	bonne	très bonne
Moyenne terminale	médiocre	bonne	très bonne
Entretien	mauvais	bon	très bon
Mention baccalauréat	passable	assez bien	bien ou très bien
Note français	nulle	médiocre	bonne
Domaine d'excellence	non	oui	-

4.3. Le questionnaire

Le questionnaire est calculé de façon à minimiser le nombre d'objets proposés. Le critère d'arrêt est le classement de tous les objets. Chaque expérience a été suivie d'un entretien avec le décideur.

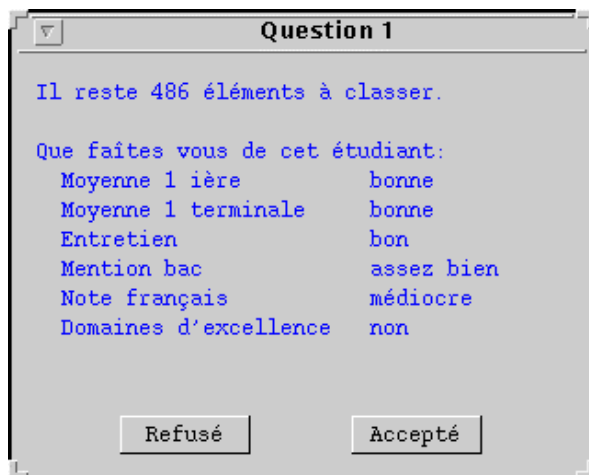


Figure 2 — Ecran manipulé par le décideur

La figure 2 montre exactement l'écran qui était manipulé par les décideurs lors des expériences. Bien évidemment, ce dernier contient la description de l'objet à classer et les deux décisions possibles. Mais nous avons choisi de donner le numéro de question et aussi le nombre d'éléments non classés sans étude préalable. L'affichage ou non de ce type d'information devrait être étudié de façon plus précise.

5. Résultats et commentaires

5.1. Résultats calculés par le système

Pour une variable donnée (nombre de questions, taille de l'antichaine, etc.) nous notons X/Y les extréma constatés.

Il y a 65 / 97 candidats présentés aux décideurs. Ce nombre, malgré son importance, correspond parfois à la réalité des premiers jurys lorsqu'il faut examiner les dossiers pour décider de convoquer les étudiants à l'entretien. L'effort n'est donc pas insurmontable. Cela correspond en même temps à seulement 13,4 / 20,0 % du monde des possibles. L'acquisition des stratégies se déroule en 7 / 36 mn en fonction du temps moyen des réponses (6 / 28,5 secondes). Ainsi, le coût de l'acquisition (en terme de temps pris aux experts) est faible.

Il y a 1 / 31 règle(s) calculée(s). Ces deux situations correspondent à des cas extrêmes. Le premier cas correspond à un décideur ne réalisant aucun arbitrage tandis que le second cas révèle l'utilisation de nombreuses compensations entre les aspects.

Deux tendances, compatibles avec le modèle, distinguent les experts des novices. D'une part, les choix des experts sont expliqués avec moins d'attributs que ceux des novices et d'autre part ils répondent en moyenne beaucoup plus vite. Plus de 75% des choix des experts sont expliqués à partir de règles composées de 2 ou 3 attributs contre à peine 50% pour les novices (principe de parcimonie). Dans 50% des cas, les décideurs novices exigent donc de la part des

candidats une qualité dont les experts se passent. Enfin, les experts mettent presque deux fois moins de temps (10 s contre 18,5 s) pour prendre leurs décisions (principe de décidabilité).

On observe également que tous les décideurs experts, sauf un, utilisent beaucoup moins de règles que les novices (moins de 11 règles contre 18 au minimum chez les novices). Ceci signifie que les experts savent bien ce qu'ils veulent comme candidats et réalisent moins d'arbitrage que les novices. Le décideur expert qui fait exception (31 règles; une seule avec 2 attributs) utilise essentiellement 3 attributs (74% de ses stratégies, 23 règles) et compense si nécessaire par un quatrième (7 règles). C'est également le seul expert qui répond moins vite qu'un des novices. Cependant cela ne remet pas en cause son statut d'expert. Il y a des facteurs que nous ne contrôlons pas tels l'implication dans la tâche, le caractère calme et posé du décideur, etc.

De plus, les temps moyens de réponse viennent créditer le modèle. D'une part, les temps moyens des réponses "refusé" sont légèrement plus élevés que ceux des réponses "accepté" et d'autre part, plus la taille de l'antichaine est grande plus le temps moyen de réponse est élevé. Ces deux faits sont prédits par le modèle. En effet, l'acceptation d'un objet suppose uniquement qu'une seule structure de dominance soit trouvée tandis que son refus nécessite que toutes les structures de dominance aient été évaluées afin de conduire au refus. Le rejet est donc dans notre modèle un processus plus long que l'acceptation. Bien que les écarts entre les moyennes n'étaient pas très importants ce résultat est intéressant car les décideurs ont déclaré que pour les cas limites ils accordaient finalement le bénéfice du doute aux candidats. Ainsi on sait que le temps moyen des acceptés est "artificiellement" grossi. De plus, on observe plus nettement ce phénomène à partir des médianes qui séparent de façon plus franche les acceptations des refus. La possibilité de pouvoir répondre "je ne sais pas" a d'ailleurs été plusieurs fois évoquée pour ces candidats. Cela aurait été intéressant car une caractéristique de l'expert est de savoir dire quand il sait mais également de connaître ses limites et dire quand il ne sait pas.

Cependant, deux experts sont venus contrarier le résultat précédent ; ils vont bien plus vite pour refuser un candidat que pour l'accepter. Loin d'être décevant, ce résultat s'explique facilement en observant leurs stratégies de décision. L'attribut entretien est un point d'ancrage (avec donc la valeur au moins "bon"). Ainsi ils procèdent d'abord par élimination sur cet attribut. Ils ont tout deux confirmé l'importance des résultats à l'entretien. A la question "quels sont les attributs les plus importants selon vous ?", ils ont cités en premier l'entretien en précisant que tout entretien mauvais (c'est une note qui doit rester exceptionnelle et fortement

justifiée par la personne réalisant l'audition du candidat) était éliminatoire (quelques soient les autres qualités du candidat). Cette remarque nous a donc conduit à regarder en détails le questionnaire et les temps de réponses pour tous ces profils de candidats. Ils sont effectivement très faibles (de l'ordre de 1 à 2 secondes) et baissent donc fortement le temps moyen des refus. Ce type de comportement n'est donc pas incompatible avec le modèle.

5.2. Détails apportés par les entretiens post-expérimentaux

Certaines précisions apportées par les décideurs ont déjà été relatées dans le paragraphe précédent et nous ne revenons pas dessus.

Tous les décideurs ont été en mesure de donner les 2 ou 3 attributs les plus importants dans leur système d'évaluation.

Les décideurs experts sont plus précis. Ils arrivent presque à donner les valeurs correspondantes tandis que les novices oublient de nombreuses règles dans le processus de verbalisation. Un trio de tête émerge assez nettement et sans surprise ; entretien, moyenne terminale et mention au baccalauréat. De bonnes notes sur ces attributs semblent apporter une certaine garantie sur la valeur des candidats. Ces attributs sont ceux calculés par le système. On constate en particulier que ces derniers ne sont jamais nuls tous ensemble et très rarement deux à deux. Enfin nous observons que la perte d'un niveau (valeur prise sur l'échelle objective) sur l'un d'entre-eux doit être compensée par des gains importants sur les autres attributs. Ce sont ces phénomènes de compensation qui sont intéressants à calculer. Les décideurs en ont rarement conscience ou bien ne savent pas les donner avec précision.

L'entretien post-expérimentation a permis de modérer le comportement extrême du décideur pour lequel une seule règle avait été déterminée par le système. Cet entretien a révélé l'utilisation de deux règles supplémentaires proches de celle calculée mettant ainsi en évidence les compensations autour de la structure de dominance principale. Nous ne sommes cependant pas en mesure de donner la raison de cette erreur. Est-ce une erreur de manipulation du système, ou encore une erreur dans le processus de classification du décideur au moment où il a répondu ?

Les décideurs experts confirment les règles calculées tandis que les novices commettent quelques erreurs. Ce résultat confirme la stabilité des stratégies des experts.

5.3. Développements et conclusion

Les résultats obtenus sont satisfaisants. Les stratégies calculées sont confirmées par les décideurs. La plupart des choix effectués s'expliquent sur la base

de trois attributs en moyenne. La distribution des temps de réponse est compatible avec le modèle HBM (plus long pour les refus si le décideur procède par sélection, etc.). L'approche et l'utilisation d'un tel outil sont donc un complément intéressant aux techniques d'acquisition de connaissances classiques à condition de disposer de monde suffisamment bien structurés. Le développement du système se poursuit donc.

En particulier, le système a été récemment enrichi d'une procédure de calcul d'arbre de décision (ID3; Quinlan, 1986, 1993). C'est un algorithme classique d'apprentissage automatique. Cette technique ne possède pas de pertinence cognitive et nous allons pouvoir effectuer des comparaisons. Les calculs effectués par ID3 sont réalisés sur la base du classement de tous les objets. Il permet de plus la synthèse de l'antichaine calculée. Cette synthèse, présentée graphiquement (voir l'exemple suivant et la figure 3), aide considérablement l'opérateur dans l'analyse des stratégies, en particulier lorsqu'elles sont nombreuses.

Soit l'ensemble des étudiants décrits à l'aide de 3 attributs mathématique (2 valeurs ; moyen ou bon), mention (3 valeurs ; passable, assez bien, bien) et physique (2 valeurs ; moyen, bon). Le décideur doit classer les étudiants en *moyen* et en *bon*. Une séance d'acquisition fictive a produit les stratégies suivantes :

Un étudiant est déclaré bon si et seulement si,

- $mathématique \geq bon$ et $mention \geq assez bien$
- ou**
- $mention \geq bien$
- ou**
- $mathématique \geq bon$ et $physique \geq bon$
- ou**
- $mention \geq assez bien$ et $physique \geq bon$.

Il ressort de ces stratégies, l'importance de la mention, importance retrouvée dans l'arbre ci-dessous.

Les feuilles de l'arbres correspondent aux classes des objets. Les stratégies se lisent en suivant les arcs depuis la racine jusqu'aux feuilles. Chaque feuille est libellée par la classe des objets et par le nombre d'objets classés par la stratégie correspondante.

Enfin l'utilisation d'un tel algorithme nous permet de déterminer les classes probables des objets pour lesquels le décideur aurait répondu *je ne sais pas*. En effet, ces objets ne sont pas considérés comme une classe distincte. Il y a création d'une feuille lorsque l'on arrive à un ensemble d'objets appartenant à une seule classe et des objets de type *je ne sais pas*. Remarquons que si on considère la classe *je ne sais pas* comme une catégorie à part entière d'objets, alors

cet type de procédure produirait les raisons pour lesquelles le décideur ne s'est pas prononcé.

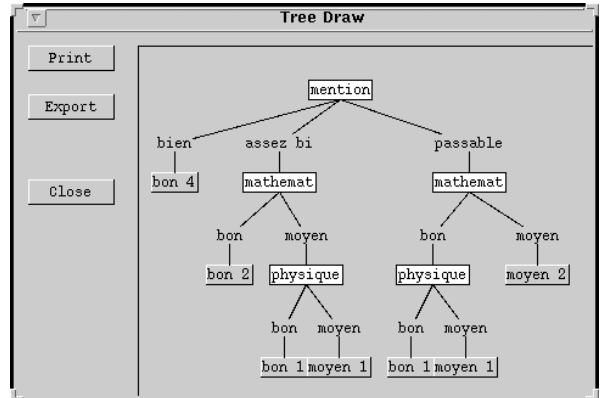


Figure 3 — Exemple d'arbre calculé par le système

Nous envisageons, dans le cas où l'on dispose de décideurs suffisamment experts (décideurs possédant une très grande expérience de la tâche, une importante reconnaissance sociale, etc.) pour nous donner les sous-groupes d'attributs importants pour eux, d'utiliser cette information pour accélérer la convergence du système. Deux experts ont été capables de nous donner, lors de l'entretien post-expérimental, complètement ces sous-groupes d'attributs ainsi que les valeurs correspondantes. Ces deux experts réalisent depuis de nombreuses années les entretiens ainsi que les jurys finaux d'admission. Ils suivent tous deux le devenir des candidats admis et réalisent des statistiques (par lycée, par type de baccalauréat, etc.). L'un d'eux connaît même avec exactitude la fonction qui agrège toutes les notes obtenus par les candidats afin de réaliser le classement (liste des admis et liste d'attente). Il sait ainsi ce qui est important et ce qui ne l'est pas dans le profil d'un candidat.

Ce type d'information peut donc permettre de réduire considérablement la taille du questionnaire. Dans cette perspective, APACHE recherchera les questions à partir de ces sous-groupes d'attributs et propagera les réponses à l'ensemble des objets sur tous les attributs. Cependant, il se peut que dans certains cas le décideur ne puisse donner sa réponse (en particulier s'il cherche à compenser parce que les minima sur les attributs importants ne sont pas atteints). On lui présentera alors les autres aspects pour permettre la décision.

D'autres développements sont envisagés afin de pouvoir traiter des données incomplètes, issues de diagnostics médicaux, et/ou décrites par des attributs différents. Les médecins s'accommodent de cette situation et prennent leur décision sur la base de l'information disponible. Le système actuel ne sait pas traiter ce type de données car il construit lui-même ses

données à partir de la description multi-attributs qui lui est fournie en entrée et tous les objets sont décrits et traités de la même façon.

Références bibliographiques

- [Anderson, 1981] Anderson N.H. (1981), *Foundations of Information Integration Theory*, New York: Academic Press.
- [Anderson, 1991] Anderson N.H. (1991), *Contribution to Information Integration Theory*, Hillsdale: Erlbaum.
- [Aussenac-Gilles et al., 1992] Aussenac-Gilles N., Krivine J.P., Salatin J. (1992), *L'acquisition des connaissances pour les systèmes à base de connaissances*, Revue Française d'Intelligence Artificielle, 6, 7-18.
- [Aussenac-Gilles et al., 1995] Aussenac-Gilles N., Laublet P., Reynaud C. (1995), *L'acquisition des connaissances : une composante à part entière de l'informatique du futur*, Cepadués, Toulouse, 3-25.
- [Barthélemy et Mullet, 1986] Barthélemy J.P., Mullet E. (1986), *Choice basis: A model for multiattribute preferences*, British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 39, 106-124.
- [Barthélemy et Mullet, 1987] Barthélemy J.P., Mullet E. (1987), *A polynomial model for expert categorical judgment*, in Roskam E.E. and Suck R. (Ed), *Progress in Mathematical Psychology*, 1, Elsevier: Amsterdam, 419-437.
- [Barthélemy et Mullet, 1992] Barthélemy J.P., Mullet E. (1992), *A model of selection by aspects*, Acta Psychologica, 79, 1-19.
- [Barthélemy et Mullet, 1994] Barthélemy J.P., Mullet E. (1994), *Expert individual decision : the moving basis heuristics*, Collection des Rapports de Recherche de Télécom Bretagne, RR-94005-IASC.
- [Bonnardel, 1991] Bonnardel N. (1991), *L'évaluation et la sélection de solutions dans la résolution de problèmes de conception*, Rapport de Recherche de l'INRIA, 1531.
- [Breuker et Wielinga, 1985] Breuker J.A., Wielinga B.J. (1985), *KADS : Structured knowledge acquisition for expert systems*, 5 ièmes Journées Internationales : les systèmes experts et leurs applications, Avignon, France.
- [Gaines, 1988] Gaines B.R. (1988), *An overview of knowledge-acquisition and transfer*, *Knowledge Acquisition for Knowledge-Bases Systems*, Gaines B.R., Boose J.H. (Ed.), vol. 1, Academic Press, 3-22.
- [Johnson, 1983] Johnson P.E. (1983), *What kind of expert should a system be?*, Journal of Medicine and Philosophy, 7, 77-97.
- [Krivine et David, 1991] Krivine J.P., David J.M., *L'acquisition des connaissances vue comme un processus de modélisation : méthodes et outils*, Intellectica, 12, 101-137.
- [Montgomery et Svenson, 1976] Montgomery H., Svenson O. (1976), *On decision rules and information processing strategies for choice among multiattribute alternatives*, Scandinavian Journal of Psychology, 17, 283-291.
- [Montgomery, 1983] Montgomery H. (1983), *Decision rules and the search for a dominance structure: towards a process model of decision making*, *Analysing and Aiding Decision Process*, Humphrey P.C., Svenson O, Vari A. (Ed.), Amsterdam, North-Holland, 343-369.
- [Montgomery, 1989] Montgomery H. (1989), *The search for a dominance structure: simplification and elaboration in decision making*, *Human Information Processing: Measures, Mechanisms and Models*, Vickers D., Smith P.L. (Ed.), Amsterdam, North-Holland, 471-483.
- [Mullet, 1985] Mullet E. (1985), *L'intégration des informations dans le jugement et la décision*, Thèse de Doctorat d'Etat, Université René Descartes, Sciences Humaines, Sorbonne.
- [Lenca, 1997] Lenca P. (1997), *Acquisition automatique et analyse de processus de décision*. Application au domaine bancaire, Thèse de l'Université de Rennes I, 14 janvier 1997.
- [Hubert, 1996] 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.
- [Pichon et al., 1994] Pichon E., Lenca P., Guillet F., Wang J.W. (1994), *Un algorithme de partition d'un produit direct d'ordres totaux en un nombre minimum de chaînes*, *Mathématique Informatique et Sciences Humaines*, .125, 5-15.
- [Quinlan, 1986] Quinlan J.R. (1986), *Induction of decision trees*, *Machine Learning*, 1, 81-106.
- [Quinlan, 1993] Quinlan J.R. (1993), *C4.5, Programs for machine learning*, Morgan Kaufmann Publishers.
- [Shanteau et al., 1991] Shanteau J., Grier M., Johnson J., Berner E. (1991), *Teaching decision-making skills to student nurses*, in Baron J and Brown R.V. (Eds), *Teaching decision-making to adolescents*, Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [Shanteau, 1992] Shanteau J. (1992), *How much information does an expert use ? Is it relevant ?*, Acta Psychologica, .91, 75-86.
- [Shanteau, 1995] Shanteau J. (1995), *Expert judgment and financial decision making*, First International Stockholm Seminar on Risk Behavior and Risk Management, Stockholm University.
- [Simon, 1979] Simon H.A. (1979), *Models of Thought*, New-Haven: Yale University Press.
- [Svenson, 1979] Svenson O. (1979), *Process descriptions of decision making*, *Organizational Behavior and Human Performance*, .23, 86-112.
- [Vogel, 1988] Vogel C. (1988), *Génie cognitif*, Paris, Masson.

[Vogel, 1990] Vogel C. (1990), *KOD : la mise en oeuvre*, Paris, Masson.