HAL
open science

Modélisation d'un problème de choix multicritères par un réseau bayésien : application au choix d'un Fauteuil Roulant

Véronique Delcroix, Karima Sedki

To cite this version:

Véronique Delcroix, Karima Sedki. Modélisation d'un problème de choix multicritères par un réseau bayésien : application au choix d'un Fauteuil Roulant. 5èmes Journées Francophones sur les Réseaux Bayésiens (JFRB2010), May 2010, Nantes, France. hal-00467240

HAL Id: hal-00467240

https://hal.science/hal-00467240

Submitted on 22 Apr 2010

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.

Modélisation d'un problème de choix multicritères par un réseau bayésien : application au choix d'un Fauteuil Roulant

K. Sedki[1,2] — V. Delcroix[1,2]

[1] *Univ. Lille Nord de France, F-59000, Lille, France*
[2] *UVHC, LAMIH, CNRS, FRE 3304, F-59313 Valenciennes, France*
{Karima.Sedki,Veronique.Delcroix}@univ-valenciennes.fr

RÉSUMÉ. *Cet article présente une méthode pour fournir une aide à la personne pour choisir une alternative parmi un grand nombre en fonction de plusieurs critères. Les alternatives et la personne sont caractérisées par un ensemble d'attributs qui influent sur la décision. L'importance des critères dépend de la personne concernée par le choix. Cet article propose une nouvelle approche en utilisant une structure particulière de réseau bayésien. Le choix d'une alternative pour une personne prend en compte d'une part l'importance de chaque critère en fonction des caractéristiques de la personne et d'autre part l'indice (la qualité) des alternatives pour chaque critère. La satisfaction que dégage une alternative pour un critère donné dépend de l'importance et de l'indice de ce critère. Un exemple d'application de cette approche dans un cas réel est illustré sur le problème de choix d'un Fauteuil Roulant Manuel (FRM).*

ABSTRACT. *This paper discusses the problem of Multi-Criteria Decision Making ($MCDM$) in which the importance of the criteria depends on the person who is concerned by the choice. The aim of this paper is to propose a new approach based on a particular structure of a Bayesian network. The problem is to provide assistance to the person to select an alternative among a great set of alternatives. The person and alternatives are characterized by several parameters (or attributes) that influence the decision. The advantage of this approach is that the choice of an alternative takes into account the importance of each criterion regarding the person and the index (quality) of the alternatives for each criterion. The satisfaction that an alternative implies for a given criterion depends on the importance and the index of this criterion. Our approach is illustrated by a real example which concerns the problem of choosing a manual wheelchair.*

MOTS-CLÉS : *Réseaux bayésiens, choix multi-critères, personne, importance, satisfaction.*

KEYWORDS: *Bayesian networks, multi-criteria decision, person, importance, satisfaction*

1. Introduction

Le choix d'une alternative parmi un grand nombre de possibilités est une situation de décision qui peut-être orientée par plusieurs critères. Dans un problème de choix multi-critère (Roy *et al.*, 1993; Stewart, 1992; Roy, 1985) chaque alternative est en général associée à un ensemble de valeurs numériques qui représente une évaluation de cette alternative pour chacun des critères. L'objectif est de choisir une alternative ou un groupe d'alternatives qui satisfasse le mieux l'ensemble des critères, suivant les évaluations définies par le décideur.

Les critères n'ont en général pas tous la même importance. Dans cet article, nous traitons le problème du choix d'une alternative parmi un grand nombre de possibilités, en tenant compte du fait que l'importance des critères peut dépendre de la personne concernée par le choix. Les alternatives, comme la personne, sont connues par un ensemble d'attributs (ou caractéristiques). Voici deux exemples qui illustrent cette problématique. Un premier exemple concerne le choix d'une orientation pour un étudiant. En fonction du parcours scolaire de l'étudiant, de ses résultats, ses ambitions, ses goûts, sa mobilité, etc. et d'autre part des caractéristiques des différentes formations existantes (lieu, durée, coût, programme, champ d'insertion professionnelle, etc.), le système d'aide au choix doit trouver le meilleur compromis entre des critères comme le coût économique global (durée, coût des études, du logement, des transports, etc.), la performance (niveau atteint, salaire attendu dans la profession, etc.), la sécurité (risque d'échec dans les études, dans l'insertion professionnelle, etc.). Un deuxième exemple concerne le choix d'un voyage pour une personne. Les caractéristiques de la personne qui vont influer sur le choix sont par exemple son âge, ses capacités/incapacités, ses contraintes, ou préférences, (en terme de chaleur, d'altitude, de décalages horaires, destination, de durée, prix, confort, etc.). Le choix du voyage repose sur l'adéquation de la proposition par rapport à ces différents éléments. Un autre exemple concernant la prescription d'antibiotiques est détaillé dans (Froidure *et al.*, 1999).

L'objectif de cet article est de proposer un système utilisant une structure particulière de réseau bayésien (Pearl, 1988; Jensen, 1996; Naïm *et al.*, 2004; Darwiche, 2009) pour l'aide au choix d'une alternative pour une personne donnée parmi plusieurs alternatives en fonction de plusieurs critères de choix (Fenton *et al.*, 1999; Watthayu *et al.*, 2004). Le choix d'une alternative se base sur l'importance de chaque critère, calculée par le réseau bayésien en fonction des caractéristiques de la personne concernée par le choix. La méthode proposée permet aussi d'évaluer la qualité de chaque alternative suivant chacun des critères. Cette méthode combine des connaissances *a priori* (jugements d'experts) et des données empiriques ; elle permet de gérer l'incertitude aussi bien au niveau des alternatives (par exemple les voyages en Afrique présentent un risque plus élevé pour la santé), qu'au niveau des connaissances sur la personne (par exemple, en général la sécurité sanitaire est un critère plus important pour les personnes âgées).

La suite de cet article est organisée comme suit : La Section 2 détaille la nouvelle approche d'aide au choix multicritères fondée sur les réseaux bayésiens. La section 3 présente un exemple d'application pour l'aide au choix d'un fauteuil roulant manuel. La section 4 conclut l'article.

2. Méthode d'aide au choix multicritères basée sur un réseau bayésien

Le modèle que nous proposons pour l'aide au choix d'une alternative repose sur la conception d'un réseau bayésien pour enregistrer la connaissance des experts en terme d'aide au choix de l'alternative. Avant de donner une description détaillée du réseau bayésien, nous précisons le vocabulaire utilisé dans cet article.

Personne Il s'agit de la personne, physique ou morale, concernée par le choix. On note $\mathcal{C}^{Pers} = \{C_1^{Pers}, C_2^{Pers}, \ldots C_p^{Pers}\}$ l'ensemble des caractéristiques de la personne. Ces caractéristiques peuvent concerner son environnement, ses habitudes, ses préférences, etc.

Alternative Ce terme désigne l'objet du choix : un objet, une action, un composant, une méthode. Toutes les alternatives présentent le même ensemble de caractéristiques. On note $\mathcal{C}^{Alt} = \{C_1^{Alt}, C_2^{Alt}, \ldots C_q^{Alt}\}$ l'ensemble des caractéristiques (ou attributs) d'une alternative.

Caractéristiques Il s'agit de l'ensemble des paramètres ou attributs concernant la personne ou l'objet du choix, qui peuvent influer dans le processus du choix.

Critères Il s'agit de l'ensemble des éléments considérés pour effectuer le meilleur choix. Chaque critère de choix oriente la décision en favorisant certaines valeurs des caractéristiques de l'objet à choisir. Un critère est un paramètre essentiellement conceptuel (ex : confort, stabilité, etc.). On note $\mathcal{C} = \{c_1, c_2, \ldots c_m\}$ l'ensemble des critères.

Indices L'indice d'un critère pour une alternative est une fonction numérique qui représente la qualité de cette alternative sur ce critère. Chaque indice dépend d'un sous ensemble de caractéristiques.

Une alternative est ainsi caractérisée par l'ensemble des valeurs de ses caractéristiques. Cependant, un ensemble quelconque de valeurs associées aux caractéristiques d'une alternative ne détermine pas une alternative. En effet, l'ensemble des alternatives possibles ne couvre pas l'ensemble des combinaisons possibles des valeurs de ses caractéristiques.

Exemple 1 *Prenons l'exemple (simplifié à l'extrême) du choix d'un voyage, avec deux caractéristiques :* $pays \in \{Italie, Grece, Turquie, Hati\}$ *et* $transport \in \{train, car, avion\}$. *Il est clair qu'aucune alternative réelle ne présente simultanément les caractéristiques* $pays = Hati$ *et* $transport = car$.

De ce fait, nous définissons les deux termes suivants.

Alternatives réelles Ce sont les alternatives qui peuvent effectivement être choisies, c'est l'ensemble des choix possibles.

Silhouette de choix C'est un ensemble de distributions de probabilités portant sur les caractéristiques des alternatives. Une silhouette de choix permet de définir les valeurs préférées de chaque caractéristique du choix pour une personne. Elle est calculée par le système d'aide au choix à partir des caractéristiques de la personne (cf. exemple 2).

Alternative idéale relativement à une silhouette de choix C'est une alternative dont les valeurs des caractéristiques correspondent à celles dont les probabilités sont les plus élevées dans la silhouette de choix. Il est possible que l'alternative idéale n'existe pas parmi l'ensemble des alternatives réelles. Dans ce cas, il s'agit d'une alternative virtuelle.

Exemple 2 *(Suite de l'exemple précédent). Voici un exemple de silhouette de choix correspondant au choix d'un voyage pour une personne âgée qui ne souhaite pas partir trop loin et privilégie une faible durée de transport par rapport au prix du voyage. Cette silhouette de choix est le résultat de l'étape 2 de l'algorithme proposé. Dans ce cas, l'alternative* $(Italie, avion)$ *est une alternative idéale relativement à cette silhouette de choix. Si elle existe, elle est choisie.*

Caractéristique	Distribution de probabilités a posteriori	
pays	Italie	0.6
	Grèce	0.3
	Turquie	0.1
	Haïti	0
Transport	train	0.2
	car	0.05
	avion	0.75

Tableau 1. *Exemple de silhouette de choix*

Pour construire le réseau bayésien, le concepteur du modèle de raisonnement interroge l'expert pour choisir les caractéristiques pertinentes (des personnes et des alternatives), définir les critères de choix, la structure du réseau bayésien (le graphe) et ses paramètres (les probabilités). Une fois le modèle construit, il est utilisé par un intervenant humain qui n'est pas forcément la personne concernée par le choix. Cet intervenant humain doit connaître le domaine, même s'il n'est pas un expert. Par exemple pour le choix d'un voyage pour une personne, il s'agit du vendeur de l'agence.

Le graphe du réseau bayésien qui constitue le coeur du système d'aide au choix est composé de trois type de noeuds : les ensembles des caractéristiques de la personne et des alternatives, ainsi que des variables associées aux critères. Chaque variable est représentée par un noeud du graphe ; de ce fait, nous employons indifféremment les mots "variable" ou "noeud". Chaque critère est pris en compte dans la structure du

graphe par trois noeuds. Nous présentons ces trois variables ci-dessous, avec leur ensemble de définition et les distributions de probabilités associées.

Le nœud *importance critère* noté $imp(c)$, il reflète l'importance du critère c pour la personne en fonction de ce qu'on connaît d'elle. Suivant l'application, l'importance d'un critère peut-être comprise comme un degré d'exigence de la personne pour ce critère. Un critère peut être considéré comme sans aucune importance (indifférent) pour une personne donnée. Dans ce cas, il n'a aucune influence sur le choix.

Le nœud *indice critère* noté $indice(c)$, il évalue la qualité d'une alternative sur le critère c ; cette variable dépend des caractéristiques de l'alternative.

Le nœud *satisfaction critère* noté $sat(c)$, il reflète le niveau de satisfaction de la personne pour une alternative concernant le critère c. Selon les cas, il peut être plus approprié de parler d'adéquation ou de compatibilité plutôt que de satisfaction.

La figure 1 illustre le schéma général de la structure simplifiée du graphe d'un réseau bayésien[1] lié à un critère de choix.Ces trois noeuds associés à un critère de choix sont à valeurs dans l'intervalle $[0, 1]$. L'interprétation de cet intervalle de valeurs est donnée dans le tableau 2.

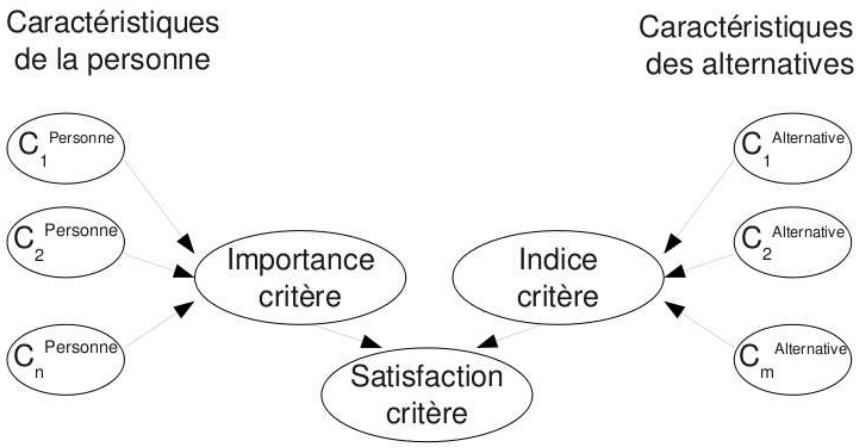

Figure 1. *Graphe du réseau bayésien associé à un critère de choix.*

La définition des probabilités conditionnelles des noeuds importance et indice nécessite l'intervention d'experts du domaine. L'expert peut fournir des fonctions pour les variables importance et indice, qui permettent ensuite de définir automatiquement

1. des liens peuvent exister entre les caractéristiques de la personne et l'indice critère ainsi qu'entre les caractéristiques de la personne et les caractéristiques de l'alternative.

Évaluation	Importance critère	Satisfaction critère	Indice critère
0 - 0.2	indifférent	très mauvais	très mauvais
0.2 - 0.4	peu important	mauvais	mauvais
0.4 - 0.6	intérêt moyen	moyen	moyen
0.6 - 0.8	important	bon	bon
0.8 - 1	très important	très bon	très bon

Tableau 2. *Évaluation de l'importance, la satisfaction et l'indice associés à un critère*

les tables de probabilités conditionnelles de ces deux variables (nous utilisons pour cela le logiciel Netica (Norsys, 1998)).

Les variables *satisfaction critère* représentent les variables à optimiser. La satisfaction est définie comme suit : (1) si un critère n'est pas du tout important pour la personne, elle sera satisfaite sur ce critère quel que soit la qualité de l'alternative choisie concernant ce critère. Autrement dit, plus *l'importance du critère* est proche de 0, plus la *satisfaction* est proche de 1 ; (2) si une alternative présente un très bon indice (qualité) pour un critère, la personne sera satisfaite sur ce critère quel que soit l'importance de ce critère pour elle. Autrement dit, plus *l'indice* est proche de 1, plus la *satisfaction* est proche de 1 ; (3) si un critère est important (respectivement peu important) pour la personne et si une alternative présente un bon indice (respectivement un mauvais indice) pour ce critère, alors la personne sera satisfaite. Autrement dit, si *l'indice* et *l'importance* d'un critère ont des valeurs proches, alors la *satisfaction* est proche de 1. La fonction ci-dessous est utilisée pour définir les tables de probabilités conditionnelles des noeuds *satisfaction* pour tous les critères :

$$Sat(c) = \begin{cases} 1 \quad si \quad Imp(c) < Ind(c) \\ 1 - (Imp(c) * (|Imp(c) - Ind(c)|) * (1 - Ind(c)))^{0.4} \end{cases} \qquad [1]$$

Le modèle complet est construit très simplement par assemblage des modèles associés à chaque critère, c'est-à-dire le type de réseau bayésiens décrit ci-dessus. L'assemblage consiste simplement à identifier les variables communes entre les réseaux bayésiens associés à chaque critère. Un extrait du modèle complet défini pour l'aide au choix d'un fauteuil roulant manuel est donné dans la partie 3. Cet exemple contient trois critères de choix.

La méthode proposée dans cet article pour l'aide au choix d'une alternative pour une personne se décompose en quatre étapes. Trois de ces étapes reposent sur une inférence dans le réseau bayésien. Chaque inférence est faite une seule fois et traite tous les critères. Nous décrivons ci-dessous l'algorithme général puis les quatre étapes en détail. Ci-dessous, le terme "évidences" désigne les variables dont la valeur est connue ou fixée.

Étape 1 : Déterminer l'importance de chaque critère en fonction des caractéristiques de la personne.
1ère inférence : Calculer les $P(Imp(c_i)|\mathcal{C}_{obs}^{Pers})$ pour tous les critères c_i où $\mathcal{C}_{obs}^{Pers}$ est le sous-ensemble des caractéristiques connues pour la personne.
Evidences : un sous-ensemble des noeuds des caractéristiques de la personne
Noeuds cibles : les noeuds importance des critères

Étape 2 : Déterminer la *silhouette de choix* , c'est-à-dire une distribution de probabilités pour l'ensemble des caractéristiques des alternatives de choix
2ème inférence : Calculer $P(\mathcal{C}_j^{Alt}|Imp(c_1), Sat(c_1), \ldots Imp(c_m), Sat(c_m))$ pour toutes les caractéristiques $\mathcal{C}_j^{Alt}$ de l'alternative.
Evidences : les noeuds importance des critères et les noeuds satisfaction
Noeuds cibles : les noeuds des caractéristiques de l'alternative

Étape 3 : Trouver l'alternative réelle la plus proche de la silhouette de choix .

Étape 4 : Mesurer la satisfaction pour chaque critère en fonction de la personne et pour l'alternative réelle proposée.
3ème inférence : Calculer les $P(Sat(c_i)|\mathcal{C}_{obs}^{Pers}, \mathcal{C}^{Alt})$ pour tous les critères c_i où $\mathcal{C}_{obs}^{Pers}$ est le sous-ensemble des caractéristiques connues pour la personne.
Evidences : les caractéristiques de la personne et celles de l'alternative choisie
Noeuds cibles : les noeuds satisfaction

Étape 1 : Déterminer l'importance de chaque critère

Les niveaux d'importance de chaque critère pour une personne sont définis en utilisant la connaissance des experts incluse dans le réseau bayésien. Il suffit d'entrer dans le réseau bayésien les caractéristiques de la personne pour obtenir les niveaux d'importance de chaque critère. L'intervenant humain peut ensuite ajuster manuellement certains niveaux d'importance qu'il juge mal évalués par le système, en fonction de son expérience propre et du cas particulier de la personne qu'il aide à choisir. Cette première étape permet de fixer les valeurs des noeuds importance lors de la deuxième inférence pour que la propagation à partir des noeuds satisfaction critère ne se fasse que vers les noeuds indice.

Étape 2 : Définir la silhouette de choix

L'objectif de cette étape est d'obtenir une distribution de probabilités *a posteriori* pour chacune des caractéristiques de l'alternative en fonction de l'importance de chaque critère pour la personne. Cette étape peut-être comprise comme une liste de recommandations pour chaque caractéristique des alternatives (Voir Tableau 1). La silhouette de choix est obtenue en mettant à jour les probabilités des caractéristiques des alternatives dans le réseau bayésien à partir de deux informations : les niveaux d'importance de chaque critère définis à l'étape 1, et les niveaux de satisfaction associés à chaque critère, qui sont tous fixés à la valeur "très important", c'est-à-dire l'intervalle $[0.8, 1]$. Cette inférence détermine les valeurs des caractéristiques qui sont le plus compatibles avec une valeur élevée de la satisfaction. L'*alternative idéale* est celle obtenue en considérant pour chaque caractéristique de l'alternative, la valeur ayant la

plus grande probabilité dans la silhouette de choix. Si cette alternative existe, on la choisit (et l'étape 3 est terminée), sinon, l'étape 3 permet de déterminer la meilleure alternative réelle à partir de la silhouette de choix.

Étape 3 : Déterminer l'alternative réelle à partir de la silhouette de choix

La définition d'une distance entre une alternative réelle et la silhouette de choix permet de choisir parmi toutes les alternatives réelles, celle qui est la plus proche de la silhouette de choix. La distance d'une alternative par rapport à la silhouette de choix S, notée ($D_S(Alt)$), est définie par : $D_S(Alt) = 1/q * \sum_{i=1}^{q}(1 - P(C_i^S = C_i^{Alt}))$ où q est le nombre total de caractéristiques des alternatives et C_i^S est la caractéristique i de la silhouette de choix.

Exemple 3 *(suite de l'exemple 2) L'alternative idéale relativement à cette silhouette de choix est $A_{I,a} = (Italie, avion)$. Si elle n'existe pas, le choix intuitif se porte sur l'alternative $A_{G,a} = (Grece, avion)$ ou $A_{I,t} = (Italie, train)$ de façon à conserver le maximum de caractéristiques de l'alternative idéale. On obtient en effet la distance la plus faible pour l'alternative idéale : $D_S(A_{I,a}) = 1/2*((1-P(pays = Italie))+(1 - P(transp = avion))) = 0.325$, alors que $D_S(A_{G,a}) = 0.475$ et $D_S(A_{I,t}) = 0.6$. Dans le cas où l'alternative idéale $A_{I,a}$ n'existe pas, alors que $A_{G,a}$ et $A_{I,t}$ sont des alternatives bien réelles, on choisit l'alternative la plus proche de la silhouette de choix, c'est-à-dire $A_{G,a}$.*

L'alternative réelle sélectionnée par ce moyen représente le meilleur compromis en terme de satisfaction des différents critères, en tenant compte de l'importante relative de chaque critère pour la personne. La dernière étape de l'algorithme a pour objectif de calculer pour chaque critère, la satisfaction de la personne pour l'alternative choisie.

Étape 4 : Mesure de satisfaction de la personne pour l'alternative réelle

Cette étape nécessite une troisième inférence dans le réseau bayésien pour calculer les valeurs obtenues sur les noeuds satisfaction de chaque critère en fonction des caractéristiques de la personne et de l'alternative. Pour cela, il faut entrer dans le réseau bayésien les valeurs des caractéristiques de l'alternative réelle déterminée à l'étape 3 et supprimer les évidences saisies lors de l'étape 2 sur les noeuds satisfaction puisque ces noeuds deviennent la cible de l'inférence. Cela permet d'obtenir pour chaque critère une "mesure de satisfaction" pour l'alternative retenue et relativement à la personne. La mesure de la satisfaction détaillée par critère est indispensable car elle permet à l'utilisateur d'apprécier en détail les avantages et les inconvénients d'une proposition.

3. Application au choix d'un fauteuil roulant manuel (FRM) sur trois critères

Le travail effectué autour du problème du choix d'un fauteuil roulant manuel (FRM) s'inscrit dans le cadre du projet national SACR-FRM[2]. Ce problème inclut une quinzaine de critères dont la solidité, la manoeuvrabilité et plusieurs concernant le confort et la stabilité. Vu le nombre important de caractéristiques, nous ne présentons ici qu'une partie du modèle de raisonnement concernant ce problème. Les trois critères considérés ici sont (1) le confort de repos ; ce critère vise à éviter les complications (gênes et douleurs à long terme) lorsque la personne est au repos dans son fauteuil. Ce critère est d'autant plus important que la personne passe du temps au repos dans son fauteuil ; (2) le confort de chargement du FRM dans la voiture ; ce critère concerne les risques de se faire mal en chargeant le FRM dans une voiture ; (3) la manoeuvrabilité ; il s'agit de la qualité du FRM pour que la personne puisse se propulser et tourner aisément en environnement encombré. La structure du réseau bayésien du modèle pour ces trois critères est présentée dans la figure 2.

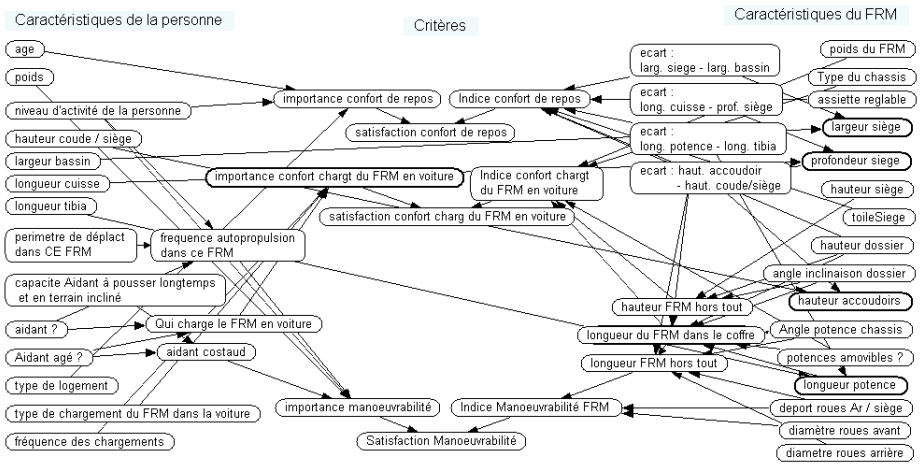

Figure 2. *Extrait du graphe d'un Réseau bayésien pour le choix d'un FRM.*

Nous présentons un cas d'utilisation, sans pour autant détailler l'ensemble des variables constituant le modèle. Il s'agit d'un jeune homme actif, qui se déplace de façon autonome avec son FRM (autopropulsion), sur des distances relativement longues. Cette personne se déplace régulièrement en voiture et charge elle même son FRM dans la voiture ; elle dispose d'une petite voiture peu pratique pour le chargement. La première inférence dans le réseau bayésien permet de définir l'importance relative de chacun des critères pour cette personne (cf. figure 3). Il apparaît que le critère le plus important pour cette personne est la manoeuvrabilité, ce qui s'explique par son profil actif, alors que le confort de repos est considéré comme étant indifférent pour elle.

2. Système d'Aide au Choix et aux Réglages des Fauteuils Roulants Manuels

Ces deux critères sont en général antinomiques. Le confort de chargement du FRM en voiture (CCV) est considéré comme relativement important pour cette personne car elle charge souvent elle même son FRM dans une petite voiture.

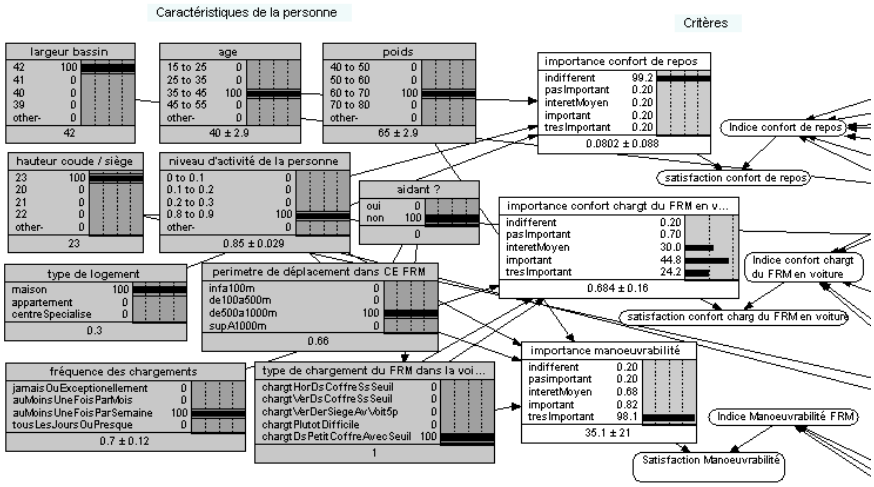

Figure 3. *Résultat de la* 1ère *inférence : importance des critères pour la personne.*

La deuxième inférence permet d'obtenir la silhouette de choix pour cette personne. Pour cela, les valeurs des noeuds satisfaction sont fixées à leur valeur maximale. On obtient ainsi une distribution de probabilités sur les caractéristiques du FRM qui sont les noeuds cibles. Plusieurs variables ont une valeur "préférée", c'est-à-dire avec une probabilité élevée. Par exemple, il est recommandé pour cette personne de choisir un FRM avec un chassis pliant et des potences amovibles (cf. figure 4). Dans cet exemple, le FRM idéal défini par la silhouette de choix existe dans la base de données. Il est donc choisi et il n'y a pas de calcul des distances. La dernière inférence montre que dans cet exemple le FRM proposé apporte une satisfaction maximale pour chacun des trois critères. Ceci n'est en général pas le cas, lorsque tous les critères sont pris en compte.

4. Discussion, conclusion et perspectives

Nous avons proposé dans cet article une nouvelle méthode d'aide à la décision multi-critères fondée sur les réseaux bayésiens, en vue d'aider au choix d'une alternative pour une personne donnée. Cette approche prend en compte plusieurs informations importantes pour le processus de décision. Ces informations sont liées à la personne concernée par le choix et aux alternatives possibles. La satisfaction que dégage une alternative pour la personne est déterminée conjointement par l'analyse de la qualité de l'alternative pour chaque critère et l'analyse du niveau d'importance exigé pour chaque critère en fonction de la personne. Les trois inférences de l'algorithme

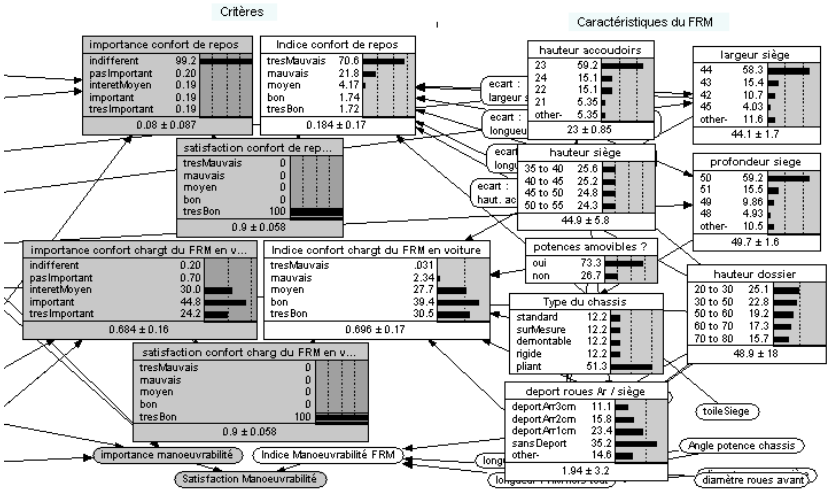

Figure 4. *Résultat de la* 2ème *inférence : silhouette de choix pour la personne.*

correspondent chacune à un objectif distinct. La première inférence calcule les importances des critères pour la personne ; la seconde propose une silhouette de choix qui donne pour chaque caractéristique du choix, les valeurs préférées, via une distribution de probabilité ; cela permet de proposer une solution ; la troisième inférence calcule la satisfaction sur chaque critère, pour une alternative réelle. Cette méthode permet de proposer une alternative, sans avoir à évaluer chaque alternative. Il est cependant nécessaire de calculer la distance entre la silhouette de choix et chacune des alternatives possibles. Plusieurs techniques peuvent être envisagées pour réduire le nombre d'alternatives à prendre en compte pour ce calcul.

Le modèle que nous proposons permet une interaction avec le spécialiste du domaine, qui peut par exemple modifier manuellement les niveaux des importances des critères pour la personne, voire même imposer les valeurs de certaines caractéristiques de l'alternative. Par ailleurs, des scénarios de choix plus complexes peuvent être envisagés. Par exemple, il peut-être préférable de proposer plusieurs alternatives, de "qualité" globale équivalente, mais présentant des avantages et inconvénients différents.

Un des avantages de la méthode proposée est la prise en compte des caractéristiques de la personne concernée par le choix pour définir l'importance des critères. Il n'est pas nécessaire de renseigner la totalité des caractéristiques prises en compte par le modèle à chaque utilisation. Les informations non fournies sont remplacées par les probabilités *a priori*. Par ailleurs, la méthode proposée permet de prendre en compte des critères très spécifiques, comme par exemple pour le choix d'un voyage, la capacité d'accueil des personnes à mobilité réduite. C'est la définition de l'importance de ce critère qui permet de le rendre influent ou non selon la personne. Un autre avan-

tage de cette méthode est de permettre le calcul des évaluations des alternatives pour chaque critère, au lieu de devoir fournir ces évaluations *a priori*.

L'inconvénient principal de la méthode est lié à la difficulté de construction du réseau bayésien. En contrepartie, l'utilisation du modèle est simple. En perspective, il semble utile de mieux évaluer les limites de cette approche en terme de complexité (inférences) et de taille du modèle. Ces limites potentielles nous conduisent à envisager de distribuer ce modèle sous forme d'un système multi-agents à base de réseaux bayésiens. Un agent par critère permettrait de respecter la structure du modèle.

Nous remercions pour le soutien qu'ils ont apporté à la réalisation de ce travail dans le cadre du projet SAC-FRM, le campus international CISIT, la Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie, le Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie, la Région Nord-Pas de Calais et le Centre National de la Recherche Scientifique.

5. Bibliographie

Darwiche A., *Modeling and Reasoning with Bayesian Networks*, University Press, Cambridge, 2009.

Fenton N., Neil M., « Making Decisions : Bayesian Nets and MCDA », 1999.

Froidure V., Beuscart R., Bezzazi H., M. B.-Z., « Un réseau bayésien pour la prescription d'antibiotiques dans le cas des infections urinaires », p. 307-318, 1999.

Jensen F. V., *An Introduction to Bayesian Networks*, UCL Press., 1996.

Naïm P., Wuillemin P.-H., Leray P., Pourret O., Becker A., *Réseaux bayésiens*, Eyrolles, Paris, 2004.

Norsys, « Netica Application, Norsys Software Corp., http ://www.norsys.com », 1998.

Pearl J., *Probabilistic reasoning in intelligent systems : networks of plausible inference*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1988.

Roy B., *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Economica, Paris, 1985.

Roy B., Bouyssou D., *Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas*, Economica, Paris, 1993.

Stewart T., « A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice », *Omega*, vol. 20, n° 5/6, p. 569-586, 1992.

Watthayu W., Peng Y., « A Bayesian network based framework for multi-criteria decision making », *Proceedings of the 17th International Conference on Multiple Criteria Decision Analysis (MCDM 2004)*, Whistler, British Columbia CA, August, 2004.