

Le modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels : un modèle graphique d'aide à la prise de décision

G. Aissaoui

D. Genest

S. Loiseau

aissaoui@info.univ-angers.fr genest@info.univ-angers.fr loiseau@info.univ-angers.fr

Laboratoire d'Etude et de Recherche en Informatique d'Angers (LERIA) – Université d'Angers
2, Boulevard Lavoisier – 49045 Angers Cedex 1

Résumé :

Nous proposons dans cet article un modèle d'aide à la prise de décision qui offre une représentation graphique d'un réseau d'influences entre différentes notions. Les connaissances ainsi représentées peuvent être exploitées par l'utilisateur pour faire un choix parmi différentes alternatives. Pour faire ce choix, l'utilisateur est aidé par la représentation graphique, mais aussi par les opérations du modèle, qui sont issues du modèle des cartes cognitives. La particularité du modèle que nous proposons est la possibilité de définir les différentes notions utilisées à l'aide d'un modèle de représentation de connaissances. Plus précisément, chaque notion est définie par un graphe conceptuel, ce qui offre une représentation précise et simple à interpréter.

Mots-clés : Influence, cartes cognitives, graphes conceptuels, aide à la décision

Abstract :

We propose a new model for decision support systems. A decision support system helps a user to make a choice between alternatives to reach a goal. The cognitive map model enables a user to visualize the influences of the alternatives, and to compute the propagation of influence on the goal. Like cognitive maps, our model offers a graphical representation of influences between notions (alternatives and goals). The distinctive feature of our model is that on a unique support, each notion is precisely defined using conceptual graphs.

Keywords: Influence, cognitive map, conceptual graph, decision support

1 Introduction

Pour représenter certains types d'informations, l'Homme utilise des représentations graphiques. De telles représentations, de natures aussi diverses que les cartes géographiques, les organigrammes ou les hiérarchies d'héritage entre classes, permettent de synthétiser des informations sous une forme facile à interpréter et à exploiter. Une des caractéristiques de beaucoup de ces informations est que le support graphique permet de les appréhender globalement avant

de porter l'attention sur la partie intéressante des informations.

Dans cet article, nous nous intéressons plus particulièrement à l'aide à la prise de décision. Un système d'aide à la décision manipule des connaissances et fournit des mécanismes pour aider l'utilisateur. Une décision peut être vue comme un choix qu'un utilisateur doit faire, parmi différentes alternatives, pour atteindre un objectif qu'il s'est fixé. Certains systèmes, tels les systèmes experts, déterminent l'alternative qui doit être choisie en fonction de l'objectif recherché. D'autres laissent plus de place à l'utilisateur et se contentent de lui présenter les alternatives, accompagnés d'outils qui l'aident à prendre une décision. L'idée de base de ces systèmes est de permettre à l'utilisateur de prendre en compte les liens qui existent entre les différentes notions représentées, afin qu'il puisse faire son choix en ayant connaissance des conséquences de sa décision. Toutefois, pour que cette aide soit efficace, l'utilisateur doit pouvoir comprendre les connaissances représentées, accéder facilement aux alternatives et à leurs conséquences. C'est dans ce type d'approche que se situe notre contribution.

L'intérêt de représentations sous forme de carte pour l'aide à la décision n'est pas nouveau. Le modèle des *cartes cognitives* (Chaib-draa et al, 1998) est un modèle étudié en sciences cognitives et sciences politiques. Il permet de représenter graphiquement des connaissances (Louça, 2000). Tolman (Tolman, 1948) utilise le premier le terme de carte cognitive qui représente un espace environnant d'alternatives pour un animal. Par la suite, d'autres travaux comme (Axelrod, 1976) utilisent les cartes cognitives pour représenter graphiquement des croyances d'une

personne sur un domaine particulier. Le but est de capturer les relations d'influence existantes entre différents états, c'est à dire comment un état est favorable ou nuisible pour un autre état. Actuellement, les cartes cognitives sont principalement utilisées dans trois grands types d'approches. Tout d'abord, les cartes cognitives peuvent être utilisées pour aider à la structuration de la pensée (Huff et al, 1992). Ensuite, les cartes cognitives sont souvent utilisées comme média pour la communication entre personnes (Eden, 1998). Enfin, les cartes cognitives sont aussi utilisées pour l'aide à la prise de décision (Huff et al, 1992). La carte cognitive est alors un modèle ayant pour but de figurer le chemin par lequel un individu trouvera une solution à un problème donné. C'est principalement cette utilisation des cartes cognitives qui nous intéresse dans ce travail. Une carte cognitive contient deux types d'informations : d'une part des nœuds appelés *états* représentant par exemple des concepts et d'autre part des arcs orientés entre ces nœuds représentant des *liens* d'influence généralement positifs ou négatifs. Le modèle des cartes cognitives définit aussi un mécanisme d'inférence qui consiste à *propager* les influences. Ce processus d'inférence est à la base du processus d'aide à la prise de décision. Ainsi, un utilisateur confronté à un choix parmi plusieurs alternatives (représentées par différents états), pour atteindre un objectif (un état), peut utiliser le mécanisme de propagation pour connaître l'influence de chacune des alternatives sur l'objectif.

Une faiblesse des cartes cognitives est sa trop grande souplesse car un état peut être représenté par n'importe quelle étiquette linguistique, sans que celle-ci soit précisément définie. Il y a donc un risque d'ambiguïté des intitulés qui se révèle problématique, par exemple, lors du partage d'une carte entre plusieurs utilisateurs ayant chacun un vocabulaire différent. Différents modèles permettent de représenter de façon précise des connaissances. Parmi eux, nous avons sélectionné le modèle des *graphes conceptuels* (Sowa, 1984) car il s'agit d'un modèle de représentation graphique de connaissances qui

est ainsi homogène avec l'objectif visuel des cartes cognitives.

L'idée centrale du modèle que nous présentons ici, sous le nom de *carte cognitive de graphes conceptuels*, consiste à décrire chaque état d'une carte cognitive par un graphe conceptuel. L'utilisation d'un graphe conceptuel, associé à chaque état de la carte, permet de définir de façon précise chaque état en référence à une ontologie.

Cet article est composé de deux parties. Dans la première, nous décrivons le modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels. Dans la seconde partie, nous définissons les opérations du modèle.

2 Modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels

Dans cette partie nous rappelons brièvement le modèle des graphes conceptuels que nous utilisons (Mugnier et al, 1996), puis nous définissons le modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels.

2.1 Graphes conceptuels

L'idée centrale du modèle est d'ajouter un graphe conceptuel (GC) à tout état d'une carte cognitive. Or, un GC n'a de sens que par rapport à un support. Une carte cognitive de GC doit donc être définie sur un support.

Définition : support

Un *support* S est un couple (T_C, T_R) tel que :

- T_C , ensemble des types de concepts, est un ensemble partiellement ordonné par une relation « sorte de » (notée \leq) possédant un plus grand élément (noté T) appelé type universel.

T_R , ensemble des types de relations, est un ensemble partiellement ordonné, partitionné en sous-ensembles de types de relations de même arité. $T_R = T_{R1} \cup \dots \cup T_{Rp}$, où T_{Ri} est l'ensemble des types de relations d'arité i . Tout T_{Ri} admet un plus grand élément (noté T_i).

Le support décrit en figure 1 définit des types de concepts tels que *Ville* (qui est une sorte de *Lieu*) et des types de relations tels que *agent*.

Un GC exprime un fait en utilisant le vocabulaire défini dans le support.

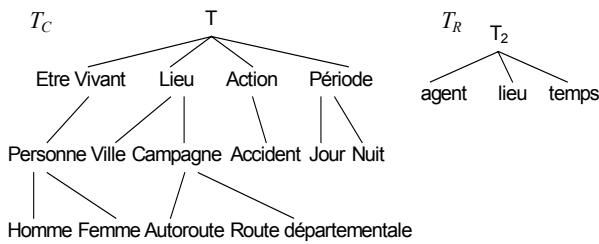


FIG. 1 – Un support

Définition : graphe conceptuel

Un *graphe conceptuel* $G = (C_G, R_G, E_G, \text{étiq}_G)$ défini sur un support S , est un multigraphe non orienté, biparti où :

- C_G est l'ensemble des *sommets concepts* et R_G l'ensemble des *sommets relations*.
- E_G est l'ensemble des *arêtes*. Toutes les arêtes d'un graphe conceptuel G ont une extrémité dans C_G et l'autre dans R_G .
- étiq_G est une application qui à tout sommet de N_G et à toute arête de E_G associe une étiquette : si $r \in R_G$, $\text{étiq}_G(r) \in T_R$; si $c \in C_G$, $\text{étiq}_G(c) \in T_C$; si $e \in E_G$, $\text{étiq}_G(e) \in \square$. L'ensemble des arêtes adjacentes à tout sommet relation r est totalement ordonné, ce que l'on représente en étiquetant les arêtes de 1 au degré de r .

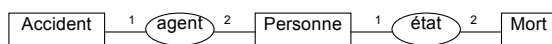


FIG. 2 – Un graphe conceptuel

La figure 2 présente un GC défini sur le support décrit dans la figure 1. Les sommets concepts sont représentés par des rectangles et les sommets relations par des ellipses. Le graphe de la figure 2 peut être interprété par « Accident mortel » (accident dans lequel une personne est morte). Comme l'illustre la figure, la nature graphique des GC fait qu'il est facile de les interpréter, de les modifier ou d'en créer de nouveaux. Cette facilité de création est renforcée par la séparation explicite de différents types de connaissances, et plus précisément par la définition d'un objet distinct des graphes, le support, qui aide lors de la création des graphes, car les étiquettes des sommets doivent être choisies dans ce support. Le modèle des GC est doté d'une sémantique logique : les types de relations et

de concepts correspondent à des prédicats, les liens « sorte de » sont représentés par des implications et les graphes par des assertions.

2.2 Carte cognitive de graphes conceptuels

Une carte cognitive de GC permet de représenter des relations d'influence entre différentes notions, chacune de ces notions étant définie par un GC.

Définition : état. Un *état* (d'une carte cognitive de graphes conceptuels) défini sur un support S est un couple (i, G) où i est un intitulé décrivant l'état et $G = (C_G, R_G, E_G, \text{étiq}_G)$ un GC défini sur S . On dit que G définit l'état.

Définition : carte cognitive de graphes conceptuels. Une *carte cognitive de graphes conceptuels* définie sur un support S est un graphe orienté $X = (E_X, L_X, \text{étiq}_X)$ où :

- E_X est l'ensemble des nœuds du graphe.
- L_X est l'ensemble des arcs du graphe, appelés *liens* de la carte.
- étiq_X est une fonction d'étiquetage qui à tout élément l de L_X associe une étiquette $\text{étiq}_X(l) \in \{+, -\}$ et à tout élément e de E_X associe un état défini sur S : $\text{étiq}_X(e) = (i_e, G_e)$ où G_e est un GC défini sur S .



FIG. 3 – Une carte cognitive de GC

Par abus de langage, on appellera « état » non seulement l'étiquette d'un nœud de la carte mais aussi le nœud lui-même. La figure 3 présente un exemple de carte cognitive de GC dans laquelle les GC ont été masqués. La partie droite de la carte peut être interprétée de par : « le non respect d'un stop augmente le risque d'accident mortel ». L'influence est représentée par un lien étiqueté +. La carte représente aussi que « la présence de gendarmes diminue les infractions de non respect du stop ». L'affichage des seuls intitulés constitue le premier niveau de la carte. Si l'utilisateur sélectionne un état, il peut accéder à un second niveau, dans lequel le GC définissant l'état sélectionné est affiché. Ce *zoom* permet d'accéder facilement aux GC, sans pour autant que la carte devienne illisible. En effet, un des points forts de ce modèle est

de conserver le principal avantage des cartes cognitives, à savoir une vision générale du réseau d'influences existant entre les états. La figure 4 présente une carte cognitive de GC, après un zoom : sur une route mouillée, le risque d'accident mortel est plus grand.

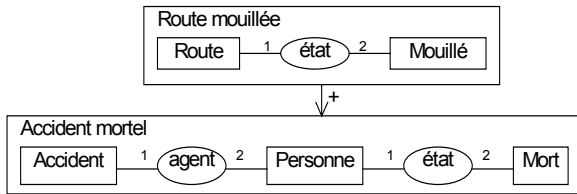


FIG. 4 – Une carte cognitive de GC (zoom)

2.3 Comparaison avec les cartes cognitives

Le modèle proposé ici diffère de celui des cartes cognitives en enrichissant la représentation des états à l'aide de GC. Pour définir une carte cognitive de GC, il faut évidemment construire un support auparavant. Le manque de structure que nous avons reproché au modèle des cartes cognitives, est alors compensé par celui des GC. Les états sont clairement définis au travers de GC dont les étiquettes appartiennent à un support unique. Dans une carte cognitive simple, un état étiqueté « alcool » peut être interprété de différentes façons : est-ce le conducteur qui avait consommé de l'alcool, ou bien est-ce un piéton sur le bord de la route qui avait bu et a

été impliqué dans cet accident ou bien encore est-ce autre chose ? Dans le nouveau modèle, on voit parfaitement quelle a été l'idée du concepteur puisqu'en plus de lui avoir donné un nom, il a associé à cet état un GC, par exemple celui de la figure 5, qui représente un conducteur en état d'ébriété. Le modèle des GC étant doté d'une sémantique logique, il fournit une sémantique logique aux états et pas seulement une représentation graphique.

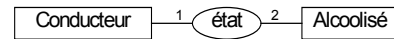


FIG. 5 – Un GC pour l'état "alcool"

L'introduction de la structure de GC au sein même d'un état et la définition préalable d'un support spécifique, permet aussi d'augmenter l'utilité d'un tel outil comme instrument de communication à l'intérieur d'un groupe. En effet, chacun peut construire sa propre carte, il est alors facile de les comparer puisque chaque utilisateur s'est basé sur le même support.

Comme pour les modèles dont il est issu, un des points forts du modèle des cartes cognitives de GC, réside dans son aspect graphique. Ainsi, la figure 6 montre une vue générale d'une carte. Les liens d'influence négative (représentés en rouge sur écran, ici étiquetés par « - ») et négative (vert, « + ») offrent une vision d'ensemble de la carte. Mais il est aussi possible de s'intéresser à certaines parties de la carte, ou d'accéder aux définitions des états.

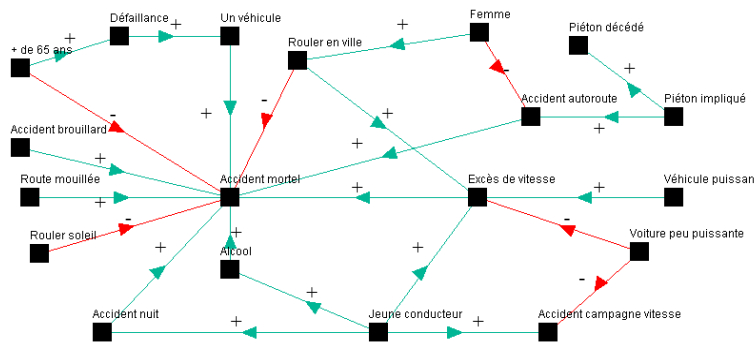


FIG. 6 – Vue générale d'une carte cognitive de GC

3 Raisonnement

3.1 Influence et propagation

En interprétant la carte de la figure 3, on peut déduire, de façon intuitive, que la présence des forces de gendarmerie diminue le risque

d'accident. Nous définissons maintenant un mécanisme d'inférence permettant d'aboutir à de telles déductions. Ce processus d'inférence est à la base du processus d'aide à la prise de décision, il est présenté par exemple dans (Chaib-draa et al, 1998) (Chaib-draa, 2001).

Définition : chemin. Un *chemin d'influence* H sur X est une suite d'états h_1, h_2, \dots, h_n de E_X telle qu'il existe un chemin entre ces sommets, c'est à dire, pour tout $i \in [1, n-1]$, $(h_i, h_{i+1}) \in L_X$. h_1 est appelé l'*état origine* du chemin, h_n l'*état destination*, et les autres états les *états intermédiaires*.

L'effet que produit l'état origine sur l'état destination est alors une fonction des liens positifs et négatifs qui existent entre l'état origine, les états intermédiaires et l'état destination. Cet effet peut être positif (noté +), négatif (-), nul (0) ou ambigu (?).

Définition : influence. Une *fonction d'influence* d'une carte cognitive X est une application de $E_X \times E_X$ dans $\{+, -, 0, ?\}$. L'*influence élémentaire* I_l de X est une fonction d'influence de X telle que $I_l(e_i, e_j) =$

- $étiq_X(l)$ si il existe un $l = (e_i, e_j)$ dans L_X ;
- 0 sinon.

Deux opérations sont utilisées pour mesurer l'influence d'un état sur un autre : l'addition, qui correspond à l'idée de cumul des influences de plusieurs chemins ayant même état destination et la multiplication, qui correspond à l'idée de transitivité des influences dans un chemin.

Définition : addition. L'addition dans $\{+, -, 0, ?\}$ est notée \oplus et définie dans la table :

\oplus	+	-	0	?
+	+	?	+	?
-	?	-	-	?
0	+	-	0	?
?	?	?	?	?

On parle d'ambiguïté lorsqu'il y a au moins un conflit, c'est à dire lors de la somme d'une influence positive et d'une influence négative.

Définition : multiplication. La multiplication dans $\{+, -, 0, ?\}$ est notée \otimes et définie dans la table :

\otimes	+	-	0	?
+	+	-	0	?
-	-	+	0	?
0	0	0	0	?
?	?	?	?	?

La multiplication est basée sur les principes suivants : « un ami d'un ennemi est un ennemi » et « un ennemi d'un ennemi est un

ami ». Avec ces deux opérations, il est possible de définir l'influence totale d'un état e_i sur un état e_j comme étant la somme des effets indirects de tous les chemins de e_i à e_j .

Définition : influence totale. L'*influence totale* I_T de X est une fonction d'influence de X telle que

$$I_T(e_i, e_j) = \bigoplus_{H \in H_{i,j}} \bigotimes_{i \in [1, |H|-1]} I_l(h_i, h_{i+1})$$

$H_{i,j}$ étant l'ensemble des chemins ayant pour état origine e_i et état destination e_j .

Le calcul de l'influence totale est l'opération de base du modèle, elle peut être utilisée pour déterminer quelle est l'influence d'un état sur un autre. La figure 7 peut être interprétée par « Les femmes roulent beaucoup en ville, et conduisent souvent de petites voitures. Le risque d'accident mortel est plus fort la nuit, et avec de petites voitures, et moins fort en ville ». À titre d'exemple, calculons l'influence totale de « nuit » (e_5) sur « accident mortel » (e_1) : Il n'y a qu'un seul chemin entre ces deux états, et ce chemin est formé d'un seul lien : $I_T(e_5, e_1) = I_l(e_5, e_1) = +$. On peut en déduire qu'il y a plus de risques d'accidents mortels la nuit. Calculons maintenant l'influence totale de « conducteur femme » (e_3) sur « accident mortel » (e_1) : Il y a deux chemins entre ces deux états : $I_T(e_3, e_1) = (I_l(e_3, e_2) \otimes I_l(e_2, e_1)) \oplus (I_l(e_3, e_4) \otimes I_l(e_4, e_1)) = (+ \otimes -) \oplus (+ \otimes +) = ?$. L'influence est donc ambiguë, ce qui signifie qu'il y a à la fois une influence positive et une influence négative.

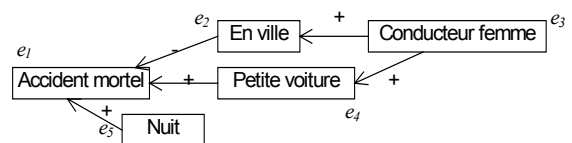


FIG. 7 – Une carte cognitive

L'influence totale représente la nature du lien d'influence entre deux états. Nous proposons d'étendre ce mécanisme pour représenter visuellement les influences d'un état particulier a , choisi par l'utilisateur et appelé *état choix*, sur tous les états de la carte. Pour cela, l'influence totale $I_T(a, e_i)$ est calculée pour chaque état e_i . Afin de présenter de façon synthétique cette propagation, nous proposons de définir une coloration de la carte.

Définition : coloration de propagation. Une *coloration de propagation* à partir d'un état a d'une carte cognitive de graphes conceptuels $X = (E_X, L_X, \text{étiq}_X)$ est une application *propagation* de E_X dans $\{+, -, 0, ?, *\}$ telle que $\text{propagation}(a) = *$ et $\text{propagation}(e) = I_T(a, e)$ pour $e \neq a$.

3.2 Collections d'états

Le mécanisme de coloration présenté ci-dessus concerne tous les états de la carte. Pour l'aide à la prise de décision, un utilisateur préfère souvent sélectionner un ensemble d'états choix (appelé collection) e_1, e_2, \dots, e_m correspondant aux alternatives qu'il envisage et un état cible e_j , correspondant à l'objectif qu'il s'est fixé. L'influence totale de chaque état de la collection sur l'état cible peut alors être calculée par le système pour renseigner l'utilisateur. Si $I_T(e_x, e_j) = +$, l'état choix e_x a un effet positif sur l'état cible, et le choix doit être considéré. Si la valeur obtenue est $-$, l'effet est négatif, et le choix est rejeté. Enfin, si la valeur obtenue est 0 ou $?$, aucun conseil ne peut être donné. Par exemple, afin de repérer les causes d'accidents mortels pour cibler une campagne de prévention, en utilisant la carte cognitive de la figure 7, on peut choisir « accident mortel » comme cible et une collection choix formée de « nuit » et « conducteur femme ». Le calcul des influences totales donné en exemple plus haut permet de déduire que les conducteurs de nuit peuvent être ciblés dans la campagne ($I_T(e_5, e_1) = +$), mais le système ne donne aucun conseil sur les conductrices ($I_T(e_3, e_1) = ?$).

4 Conclusion

Le principal atout du modèle présenté ici concerne la représentation des connaissances qui combine les caractéristiques des GC (Sowa, 1984) et des cartes cognitives (Tolman, 1948). D'une part, des relations d'influence entre GC peuvent être représentées et exploitées par l'utilisateur. D'autre part, le support sur lequel est définie une carte permet une représentation des connaissances plus formelle, puisque chaque état y est défini à travers son GC associé. Au final, le modèle proposé dispose d'une représentation graphique simple à interpréter pour l'utilisateur et d'opérations qui aident

l'utilisateur à exploiter les connaissances représentées. Il s'agit donc d'un modèle qui est adapté à l'aide à la prise de décision, car il offre des facilités à l'utilisateur afin qu'il puisse faire son choix. Par manque de place, nous n'avons pas pu présenter ici une possibilité importante de notre modèle. En effet, on peut combiner les possibilités de l'inférence par propagation, avec les possibilités de l'inférence par projection qui existe dans le modèle des graphes conceptuels. Le modèle des cartes cognitives de GC est ainsi un modèle enrichi non seulement de représentation mais aussi de raisonnement.

Références

- R. Axelrod. *Structure of decision : the cognitive maps of political elites*, 1976. Princeton University Press.
- B. Chaib-draa et J. Desharnais. A relational model of cognitive maps. Dans *International Journal Of Human-Computer Science studies*, volume 49, pages 191-200, 1998.
- B. Chaib-draa. Causal maps : Theory, implementation and practical applications in multiagent environments. *IEEE Transaction On Knowledge and Data Engineering*, 2001.
- C. Eden. Cognitive mapping. *European Journ. of Operational Research* vol. 36, 1988.
- A. Huff et M. Fiol. Maps for managers : where are we ? where do we go from here? *Journal of Management Studies* vol. 29, 1992.
- B. Kosko. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machines Studies* vol. 25, 1986.
- J.A. Louça. Cartographie cognitive, réflexion stratégique et interaction distribuée. Doctorat de ParisIX-Dauphine, 2000.
- M.L. Mugnier et M. Chein. Représenter des connaissances et raisonner avec des graphes. *Revue d'intelligence artificielle*, volume 10, numéro 1, pages 7-56. 1996.
- J. F. Sowa. *Conceptual Structures : Information Processing in Mind and Machine*. Addison Wesley, 1984.
- E. Tolman. Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review* volume 55, 1948.