

Modèles interactifs de cartes pour l'aide à la prise de décision

Aymeric Le Dorze
LERIA - Université d'Angers
2 Boulevard Lavoisier
49045 Angers cedex 1
ledorze@info.univ-angers.fr

David Genest
LERIA - Université d'Angers
2 Boulevard Lavoisier
49045 Angers cedex 1
genest@info.univ-angers.fr

Laurent Garcia
LERIA - Université d'Angers
2 Boulevard Lavoisier
49045 Angers cedex 1
garcia@info.univ-angers.fr

Stéphane Loiseau
LERIA - Université d'Angers
2 Boulevard Lavoisier
49045 Angers cedex 1
loiseau@info.univ-angers.fr

RESUME

Après avoir comparé brièvement quelques modèles visuels de représentation de connaissances, nous décrivons le modèle que nous proposons, appelé carte cognitive ontologique. Ce modèle combine la simplicité du modèle des cartes cognitives avec des opérations qui facilitent son exploitation dans le cadre d'un processus interactif de prise de décision faisant intervenir des utilisateurs et un système informatique.

Mots clés

Modèle graphique, Carte cognitive, Graphe conceptuel, Carte mentale

1. INTRODUCTION

De nombreux travaux en Intelligence Artificielle cherchent à définir des modèles et techniques proposant des représentations précises de connaissances et des raisonnements qui ont pour but de se rapprocher au mieux du raisonnement d'un expert. De tels modèles imposent à l'utilisateur d'apprendre un langage afin de fournir au système les connaissances sur lesquelles celui-ci va raisonner. Ce langage, formel, est souvent difficile à appréhender par l'utilisateur qui doit faire un effort important. Cela peut nuire à l'intérêt du système car les utilisateurs peuvent être découragés devant la difficulté, ne voyant pas le bénéfice qu'ils pourraient tirer de cet effort. De plus, le résultat du raisonnement ne peut pas toujours être expliqué simplement à l'utilisateur car ce raisonnement peut, là encore, faire appel à des techniques complexes difficiles à expliquer.

Certains travaux se fixent comme objectif de favoriser les interactions entre le système et l'utilisateur en fournissant des représentations plus faciles à comprendre, sans sacrifier l'aspect formel et les raisonnements. Par exemple les graphes conceptuels [12] permettent de représenter des connaissances sous forme de graphes et de raisonner sur ces connaissances à l'aide d'opérations sur ces graphes. Le bénéfice pour l'utilisateur est double : il peut plus facilement fournir les connaissances et le système peut lui présenter le résultat du raisonnement sous une forme graphique compréhensible. D'autres modèles ont aussi fait le choix d'une représentation graphique, facilitant ainsi la compréhension des utilisateurs. On peut citer les réseaux bayésiens [10], les cartes mentales [2] ou les cartes cognitives [13]. Là où certains modèles restent formels et disposent d'une sémantique clairement définie, comme les graphes conceptuels ou les réseaux bayésiens, d'autres modèles sont plus informels. Les cartes mentales et les cartes cognitives, par exemple, représentent graphiquement des liens entre des concepts mais lors de la construction de telles cartes, l'utilisateur est plus libre que dans les modèles précédemment cités et la construction en est facilitée. Ceci est à la fois un avantage et un inconvénient car ces modèles ne disposent pas d'une sémantique claire et ne fournissent pas de raisonnements très poussés.

Nous pensons toutefois que l'étude de tels modèles est intéressante, car ils correspondent à certains usages et plus précisément ils nous semblent adaptés dans les cas où on cherche à construire un système ayant pour but d'aider l'utilisateur à prendre une décision. Dans un tel système, l'objectif n'est pas de fournir à l'utilisateur un raisonnement complexe et indiscutable, mais plutôt des mécanismes qui lui permettent d'explorer des connaissances ou de visualiser des liens entre des connaissances qui ne seraient pas immédiatement visibles. Le raisonnement aboutissant à la décision est alors mené par l'utilisateur qui est aidé par le système. Une telle approche nous semble aussi pertinente dans le cas où une décision doit être prise suite à l'analyse des points de vue de différentes personnes, lors d'une réunion de travail par exemple. Afin que la discussion entre les participants soit fructueuse, le système doit alors être capable de recueillir



Figure 1: Support : ensemble de types de concepts (à gauche) et ensemble de types de relations (à droite).

les connaissances de chacun des participants et de proposer des éléments qui guident la discussion, en fournissant par exemple des synthèses des connaissances des différents participants.

Dans ces cas-là, la facilité de création et de compréhension du langage de représentation est primordiale, même si la simplification du langage se fait au prix d'une perte de certains raisonnements. Toutefois, nous pensons qu'il est possible de fournir sur ces modèles des opérations pertinentes, adaptées aux usages évoqués ci-dessus. Pour cela, nous avons choisi le modèle des cartes cognitives qui est très facile à comprendre par un non spécialiste car l'idée du modèle est simple : représenter des liens d'influence entre des concepts sous la forme d'un graphe orienté étiqueté. Ce modèle dispose d'une opération permettant de visualiser l'influence indirecte entre deux concepts d'une carte. Pour fournir des traitements plus intéressants, nous ajoutons aux cartes de ce modèle une ontologie qui permettra de définir plus précisément les concepts, générer de nouvelles cartes simplifiées adaptées à certains utilisateurs ou faire une synthèse de cartes créées par des utilisateurs différents.

La section 2 présente brièvement quelques modèles graphiques de représentation de connaissances. La section 3 présente notre proposition, le modèle des cartes cognitives ontologiques. La section 4 décrit les mécanismes qui peuvent être définis sur de telles cartes pour aider la décision dans une réunion avec plusieurs participants.

2. MODÈLES GRAPHIQUES

2.1 Graphes conceptuels

Le modèle des graphes conceptuels [12, 5] est un modèle de représentation de connaissances du type *réseaux sémantiques* [8]. Un graphe conceptuel est un graphe biparti étiqueté, les sommets des deux classes étant étiquetés respectivement par des *concepts* et des *relations* entre ces concepts.

Un graphe conceptuel est défini sur un *support* qui précise le vocabulaire de base permettant la représentation de connaissances, ce qui est parfois appelé l'ontologie du domaine. Le support est composé d'un ensemble partiellement ordonné de types de concepts, un ensemble partiellement ordonné de types de relations et un ensemble d'individus. Les ordres partiels des ensembles de types représentent une relation de spécialisation *sorte de*. La figure 1 présente un ensemble de types de concepts dans lequel, par exemple, une *Route Nationale* est une sorte de *Route* ainsi qu'un ensemble de types de relations.

Une fois le support défini, un graphe conceptuel peut être créé : les sommets relations sont étiquetés par un élément de l'ensemble des types de relations et les sommets concepts sont étiquetés par un élément de l'ensemble des types de

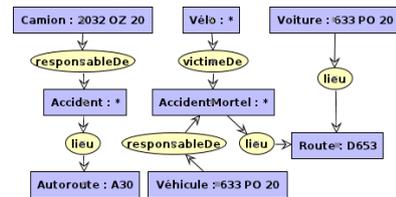


Figure 2: Un graphe conceptuel.

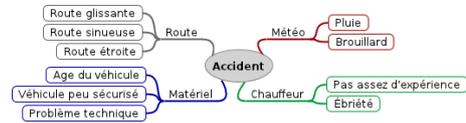


Figure 3: Une carte mentale.

concepts et, de façon optionnelle, par un individu de l'ensemble des marqueurs individuels.

Le graphe conceptuel de la figure 2 décrit deux accidents et détaille les responsabilités et les lieux de ces accidents. L'usage de marqueurs individuels permet de préciser quel individu particulier est concerné, par exemple l'A30, individu de type *Autoroute*. Certains sommets ne disposent pas de marqueur individuel pour signifier que l'individu en question n'a pas été nommé, il s'agit ici d'un accident.

L'opération de projection est l'opération de base du modèle et correspond à un morphisme de graphes. La recherche d'une projection d'un graphe G dans un graphe H peut être vue comme la recherche de l'inclusion de l'information représentée par G dans H . L'utilisation première de cette opération est l'interrogation d'une base de connaissances exprimée sous forme de graphe conceptuel à partir d'une requête exprimée sous forme de graphe conceptuel. Le modèle est doté d'une sémantique en logique du premier ordre Φ , adéquate et complète, associant à un support et à un graphe une formule logique : soient G et H deux graphes conceptuels définis sur un support S , alors il existe une projection de G dans H si et seulement si $\Phi(S), \Phi(H) \vdash \Phi(G)$.

L'intérêt de ce modèle est qu'il dispose d'opérations claires définies et logiquement fondées, associées à une représentation facile à comprendre. Cependant, la construction de graphes conceptuels demande en premier lieu la définition d'une ontologie et une utilisation correcte de cette ontologie dans les graphes sous peine d'obtenir des résultats n'ayant aucun sens. En conséquence, la création de graphes par des non spécialistes peut être difficile.

2.2 Cartes mentales

Alors que les graphes conceptuels posent des contraintes fortes pour la représentation de connaissances, les cartes mentales visent un objectif de simplicité extrême et de liberté pour le créateur. Une carte mentale [2] représente des idées connectées à une idée centrale et organisées de façon radiale autour de celle-ci. La carte mentale de la figure 3 représente différentes causes d'accidents.

L'objectif ici n'est pas de fournir un modèle permettant le raisonnement, mais plutôt une aide à la compréhension individuelle ou collective d'un sujet donné, un outil de prise de note ou de brainstorming. Ces objectifs sont atteints grâce à l'extrême simplicité du modèle, elles sont utilisables par des non spécialistes, cependant cette simplicité fait que les

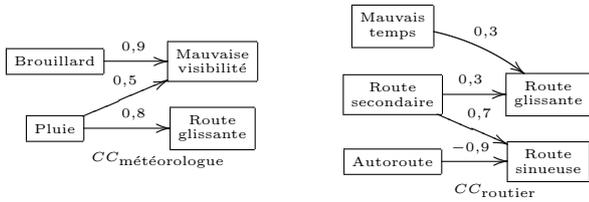


Figure 4: Deux cartes cognitives.

cartes sont construites par des humains, pour des humains : aucune opération de raisonnement ne peut être définie au sein du modèle.

Sur la plupart des critères de comparaison, tels que les contraintes de construction ou la présence d'opérations de raisonnement, on peut dire que les cartes mentales se situent à l'opposé des graphes conceptuels. Les cartes mentales sont donc bien adaptées comme support d'une réflexion d'un utilisateur ou d'un ensemble d'utilisateurs lors d'une réunion, là où les graphes conceptuels sont avant tout un modèle permettant le raisonnement. Dans la suite de l'article, nous étudions le modèle des cartes cognitives, qui tente de concilier une grande simplicité de création et de compréhension, associée à la présence d'une opération qui aide l'utilisateur à exploiter la carte.

2.3 Cartes cognitives

Une carte cognitive [13, 1] représente par un graphe les influences entre des concepts. Ce modèle a été utilisé dans plusieurs domaines tels que la biologie [13], la sociologie [11], l'écologie [3] ou la politique [9]. L'utilisation principale de ce modèle consiste en une aide à la prise de décision pour un utilisateur ou un groupe d'utilisateurs.

Formellement, une carte cognitive est un graphe orienté étiqueté dans lequel les nœuds du graphe sont étiquetés par des concepts, et les arcs représentent les influences. Ces arcs sont étiquetés par une valeur décrivant l'influence parmi un ensemble de valeurs préalablement fixé. Certains travaux proposent d'étiqueter les influences par $\{+, -\}$ [1], ou encore par un ensemble de symboles tels que $\{nul, faible, moyen, fort\}$ [6], ou enfin par un intervalle de valeurs tel que $[-1; 1]$ [7].

La figure 4 présente deux cartes cognitives définies sur l'intervalle de valeurs $[-1; 1]$. Ces cartes représentent des informations sur les conditions de circulation, par exemple, la *Pluie* entraîne souvent (ce qui est représenté par une influence forte de 0,8) une *Route glissante*. Une *Autoroute* est très rarement une *Route sinueuse* (influence de -0,9).

L'opération principale du modèle permet de calculer l'influence indirecte entre deux concepts de la carte en combinant les valeurs des influences qui forment les chemins entre ces deux concepts. Cette opération permet donc de visualiser certains liens entre concepts qui n'apparaissent pas immédiatement sur la carte, facilitant ainsi l'exploitation des connaissances, sans pour autant fournir un réel raisonnement : c'est toujours l'utilisateur qui prend une décision, au cours d'une interaction avec le système. Nous proposons d'étendre ce modèle afin de fournir un service supplémentaire utile pour les usages envisagés ici.

3. CARTES COGNITIVES ONTOLOGIQUES

Si les cartes sont faciles à comprendre lorsqu'elles

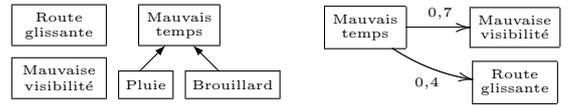


Figure 5: Une ontologie et une vue.

contiennent un petit nombre de concepts, ce n'est plus le cas lorsque le nombre de concepts devient élevé. Nous proposons un mécanisme qui construit à partir d'une carte cognitive des cartes plus simples, appelées vues, plus faciles à comprendre [4].

Pour cela nous associons à la carte cognitive une ontologie qui organise les concepts avec une relation de spécialisation.

DÉFINITION 1 (ONTOLOGIE). Une ontologie (C, \preceq) est une ensemble de concepts C partiellement ordonné par une relation \preceq . On note $<$ la relation d'ordre partiel strict associée à \preceq .

La partie gauche de la figure 5 représente une ontologie exprimant les relations entre les concepts de la carte $CC_{météorologue}$.

DÉFINITION 2. Soit $C' \subseteq C$. On appelle l'ensemble des concepts maximum de C' : $max(C') = \{c \in C' \mid \nexists c' \in C', c < c'\}$. On appelle l'ensemble des concepts minimum de C' : $min(C') = \{c \in C' \mid \nexists c' \in C', c' < c\}$. Les concepts de $min(C)$ sont appelés concepts élémentaires de C .

Une fois l'ontologie définie, la carte cognitive peut être construite en utilisant les concepts élémentaires de l'ontologie.

DÉFINITION 3 (CARTE COGNITIVE ONTOLOGIQUE). Une carte cognitive ontologique CO définie sur l'ontologie (C, \preceq) et un ensemble de valeurs I est une association de (C, \preceq) et d'une carte cognitive définie sur $min(C)$ et I .

L'association formée de la carte $CC_{météorologue}$ (figure 4) et de l'ontologie de la figure 5 est une carte cognitive ontologique.

Une échelle est un sous-ensemble de concepts d'une ontologie, choisi par l'utilisateur pour obtenir une vue. Les concepts de l'échelle sont les concepts qui apparaîtront dans la vue. Mais une échelle n'est pas un ensemble quelconque, nous imposons deux propriétés sur une échelle. Tout d'abord, tous les concepts d'une échelle sont incomparables entre eux, cela évite de représenter deux fois le même concept dans l'échelle (et donc dans la vue) : une fois par lui-même et une fois par le concept qui le généralise. Deuxièmement, tous les concepts élémentaires de l'ontologie doivent être présents dans l'échelle, soit directement, soit par la présence d'un concept plus général. De cette façon, la vue est une simplification de la carte initiale, dans laquelle les connaissances initiales ont pu être simplifiées, par généralisation, en regroupant plusieurs concepts élémentaires par un concept plus général, sans qu'il y ait suppression complète de parties de la carte initiale.

L'ensemble $E = \{Mauvais temps, Mauvaise visibilité, Route glissante\}$ est une échelle de l'ontologie de la figure 5. Une fois l'échelle déterminée, nous proposons un mécanisme qui calcule les influences entre les concepts de l'échelle à partir des influences figurant dans la carte initiale. L'idée de ce

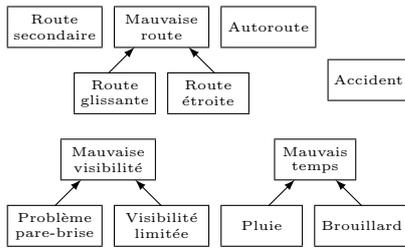


Figure 6: Une ontologie.

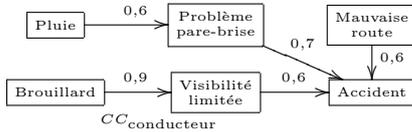


Figure 7: Carte cognitive du conducteur.

calcul est de combiner les influences entre les concepts élémentaires des concepts de l'échelle. Plus de détails sur ce mécanisme peuvent être trouvés dans [4]. La partie droite de la figure 5 est la vue obtenue pour l'échelle E sur la carte $CC_{météorologue}$.

Chaque utilisateur du système peut alors être représenté par une échelle qui lui est spécifique et qui représente le niveau de détail qui est adapté à ses compétences. Ainsi, un utilisateur peu expert disposera d'une échelle contenant un grand nombre de concepts élevés dans l'ontologie : la vue qui sera calculée pour lui sera alors de petite taille. Au contraire, un expert choisira dans son échelle des concepts très spécialisés de certaines parties de l'ontologie et le système lui fournira alors une carte cognitive très détaillée sur ces aspects.

4. FUSION DE CARTES COGNITIVES

Nous proposons une extension du modèle précédent qui est adaptée dans le contexte d'une décision devant être prise en tenant compte des connaissances exprimées par différentes personnes, chacune de ces personnes étant un expert dans son domaine. La première différence consiste à autoriser les auteurs de cartes à employer n'importe quel concept de l'ontologie. Un auteur utilisera probablement des concepts spécialisés pour son domaine d'expertise et des concepts plus généraux dans les autres domaines. Notre proposition consiste à partir d'un ensemble de cartes cognitives créées par ces experts et à fusionner cet ensemble en une carte faisant la synthèse des connaissances représentées. Ce résultat, appelé carte synthétisée, n'a pas pour but de représenter l'intégralité des connaissances des cartes initiales, cette somme de connaissances pouvant d'ailleurs être incohérente. Il s'agit plutôt de proposer une synthèse permettant à chacun d'appréhender globalement les connaissances de tous les participants. Nous définissons pour cela un ordre sur les auteurs des cartes, cet ordre étant utilisé pour faire apparaître prioritairement dans la carte synthétisée les connaissances des auteurs les plus hauts selon cette relation d'ordre.

En considérant les cartes $CC_{météorologue}$ créée par un météorologue, $CC_{routier}$ (figure 4) par un routier et $CC_{conducteur}$ (figure 7) par un conducteur, toutes définies sur l'ontologie de la figure 6 et l'ordre $Routier > Conducteur > Météorologue$, nous produisons la carte synthétisée de la figure 8.

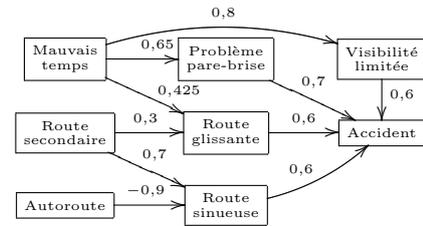


Figure 8: Carte synthétisée.

5. CONCLUSION

Le modèle que nous présentons ici est destiné à être utilisé comme une aide à la prise de décision, qu'elle soit individuelle ou collective. Il ne cherche pas à proposer une représentation la plus précise possible des connaissances et par conséquent ne dispose pas d'opérations permettant un raisonnement très poussé, au contraire d'autres modèles du domaine de l'IA. Par contre, en fournissant une représentation simple à appréhender par tous et en fournissant différentes visualisations sur les connaissances représentées, il favorise la participation de tous les acteurs impliqués dans la prise de décision. Bien que le principe de fusion de cartes a déjà amené des retours d'expérience [11], notre approche visant à améliorer cette fusion ainsi que le mécanisme de vue n'ont pas pu être testées par des utilisateurs pour la résolution d'un problème bien précis.

6. REFERENCES

- [1] R. Axelrod. *Structure of decision : the cognitive maps of political elites*. Princeton University Press, 1976.
- [2] T. Buzan and B. Buzan. *The Mind Map Book*. BBC Active, May 2003.
- [3] F. D. Celik, U. Ozesmi, and A. Akdogan. Participatory ecosystem management planning at tuzla lake (turkey) using fuzzy cognitive mapping. *eprint arXiv :q-bio/0510015*, Oct. 2005.
- [4] L. Chauvin, D. Genest, and S. Loiseau. Ontological cognitive map. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 18(5) :697–716, 2009.
- [5] M. Chein and M.-L. Mugnier. *Graph-based Knowledge Representation*. Springer, 2008.
- [6] J. A. Dickerson and B. Kosko. Virtual worlds as fuzzy cognitive maps. *Presence*, 3(2) :73–89, 1994.
- [7] B. Kosko. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machines Studies*, 24 :65–75, 1986.
- [8] F. Lehmann, editor. *Semantic Networks in Artificial Intelligence*. Pergamon Press, 1992.
- [9] A. Levi and P. E. Tetlock. A cognitive analysis of japan's 1941 decision for war. *The Journal of Conflict Resolution*, 24(2) :195–211, Jun 1980.
- [10] J. Pearl. *Causality : Models, Reasoning and Inference*. Cambridge University Press, 2009.
- [11] D. Poignonec. *Cartographie cognitive/ontologie dans la compréhension d'un écosystème*. PhD thesis, ENSA Rennes France, 2006.
- [12] J. F. Sowa. *Conceptual Structures : Information Processing in Mind and Machine*. Addison Wesley, 1984.
- [13] E. C. Tolman. Cognitive maps in rats and men. *The Psychological Review*, 55(4) :189–208, 1948.