

Modélisation, classification et raisonnement dans des réseaux d'influence : Le modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels

Modelling, classification and reasoning in influence networks: The cognitive map of conceptual graphs model

G. Aissaoui

D. Genest

S. Loiseau

LERIA – Université d'Angers

2, Boulevard Lavoisier - 49045 Angers cedex 1
{aissaoui,genest,loiseau}@info.univ-angers.fr

Résumé

Le modèle des cartes cognitives 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, grâce à des opérations de propagation d'influence. Techniquement notre nouveau modèle est une extension du modèle des cartes cognitives auquel nous intégrons la partie représentation des connaissances et l'opération de projection du modèle des graphes conceptuels.

Ainsi, tout d'abord, une ontologie est utilisée et chaque notion est définie par un graphe conceptuel : ceci offre une représentation précise, simple et graphique des notions. Ensuite, le modèle présenté permet de classer les notions : ceci facilite l'exploitation des connaissances car l'utilisateur peut visualiser simplement les notions qui partagent des caractéristiques communes. Enfin, grâce à la définition de chaque notion sous la forme d'un graphe, le modèle offre la possibilité d'utiliser une requête qui calcule automatiquement la classe des notions sémantiquement liées à la requête. Le calcul des classes, dû à l'opération de projection, peut être combiné avec les opérations de propagation d'influences, et fournir ainsi une aide à la prise de décision plus efficace.

Mots Clef

Influence, cartes cognitives, graphes conceptuels, aide à la décision.

Abstract

The cognitive map model enables a user to visualize the influences between notions. These influence links help a user to make a choice between alternatives to reach a goal. Our new model extends the cognitive map model, because we add knowledge representation by means of conceptual graphs.

An ontology is defined and each notion is precisely and graphically defined by a conceptual graph. Our model allows classifying notions. Such a classification can be used to visualize semantically linked notions. Classes can be automatically computed using a query graph and the projection operation.

Keywords

Influence, cognitive maps, conceptual graphs, decision support system.

1 Introduction

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 différentes 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 connaître leurs conséquences. C'est dans ce type d'approche que se situe notre contribution, l'interaction étant basée sur des cartes qui permettent d'appréhender globalement des informations avant de porter l'attention sur les parties intéressantes de celles-ci.

L'intérêt de représentations sous forme de carte pour l'aide à la décision n'est pas nouveau. Le modèle des

cartes cognitives [3] est un modèle étudié en sciences cognitives et sciences politiques. Il permet de représenter graphiquement des connaissances [11]. Tolman [15] 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 [2] 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 [8]. La cartographie cognitive permet de clarifier une idée confuse car elle modélise une représentation et agit sur cette représentation en la structurant. Ensuite, les cartes cognitives sont souvent utilisées comme média pour la communication entre personnes [7]. L'élaboration d'une carte cognitive facilite la transmission d'idées entre plusieurs décideurs et devient alors un outil de communication. Enfin, les cartes cognitives sont utilisées pour l'aide à la prise de décision [8]. 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 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 (représenté par un état), peut utiliser le mécanisme de propagation pour connaître l'influence de chacune des alternatives sur l'objectif. Les cartes cognitives sont donc un outil simple pour représenter et raisonner sur des réseaux d'influence.

Une première 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. Une seconde faiblesse du modèle est l'absence de structuration des états, qui fait que des liens entre états, autres que ceux d'influence, ne peuvent être ni exprimés ni en conséquence utilisés. Ainsi, tout repose sur l'utilisateur dans le choix des alternatives qu'il veut envisager. Ceci est particulièrement pénalisant lors de l'usage de grandes cartes, dans lesquelles l'utilisateur risque de se perdre.

Une solution permettant de pallier à ces problèmes est de représenter plus précisément chaque état.

Différents modèles permettent de représenter de façon précise des connaissances et définissent des opérations d'interrogation sur les connaissances représentées pour retrouver des connaissances logiquement liées entre elles. Parmi eux, nous avons sélectionné le modèle des *graphes conceptuels* [14] [5] car il s'agit d'un modèle de représentation graphique de connaissances qui est ainsi homogène avec l'objectif visuel des cartes cognitives. Un graphe conceptuel est un graphe composé de sommets *concepts* représentant des entités et de sommets *relations* représentant des relations entre ces entités. Un tel graphe est défini sur une structure appelée *support* permettant de spécifier et organiser en hiérarchie le vocabulaire de base utilisable aussi bien pour les sommets concepts que pour les sommets relations. Le support correspond à une représentation de l'ontologie du domaine. Par ailleurs, une opération formelle d'inférence, appelée *projection*, permet de rechercher des graphes qui sont sémantiquement liés entre eux.

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. D'abord, 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 qui est le support. Ensuite, on peut calculer ou regrouper des classes d'états qui sont liés entre eux dans une *collection*. Ces classifications d'états peuvent être effectuées manuellement ou automatiquement grâce à l'opération de projection : un *graphe conceptuel requête* donne accès à la collection d'états qui lui sont sémantiquement liés. Ces classifications peuvent être utilisées comme une aide à la modélisation ou pour découvrir de nouveaux liens. Enfin, cette possibilité de classification peut se combiner avec le calcul d'influence entre états. Par exemple, il est possible de visualiser l'influence d'un état, au travers de sa collection d'états associés, sur les autres états ; ainsi les mécanismes de propagation et de projection se combinent.

Dans la partie 2, nous décrivons le modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels que nous proposons, et discutons des différences avec les deux modèles dont il est issu. La partie 3 décrit la notion de collection. Dans la partie 4, nous définissons les opérations permettant le raisonnement dans le modèle, et décrivons les apports de ces opérations.

2 Modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels

Dans cette partie nous présentons brièvement le modèle des graphes conceptuels que nous utilisons [13], puis nous définissons le modèle des cartes cognitives de

graphes conceptuels, et comparons les objets de ce nouveau modèle avec les modèles dont il est issu.

2.1 Graphes conceptuels

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*.

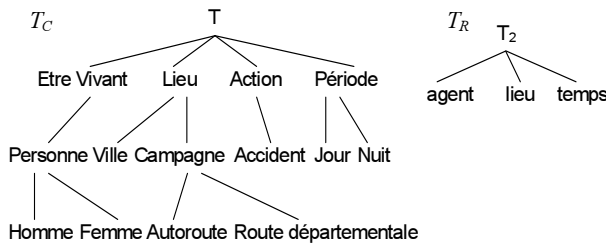


Figure 1 : Un support.

Un graphe conceptuel exprime un fait en utilisant le vocabulaire défini dans le support. C'est un graphe biparti, il comporte deux sortes de nœuds : les concepts et les relations. Ces nœuds sont étiquetés par des éléments du support.

Définition : graphe conceptuel

Un graphe conceptuel $G = (C_G, R_G, E_G, \text{étiqu}_G)$ 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*.
On note N_G l'ensemble des sommets : $N_G = C_G \cup R_G$.
- 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 .
- étiqu_G est une application qui à tout sommet de N_G et à toute arête de E_G associe une étiquette :
 si $r \in R_G$, $\text{étiqu}_G(r) \in T_R$;
 si $c \in C_G$, $\text{étiqu}_G(c) \in T_C$;
 si $e \in E_G$, $\text{étiqu}_G(e) \in N$.

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 .

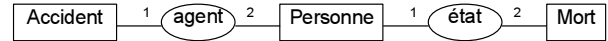


Figure 2 : Un graphe conceptuel.

La Figure 2 présente un graphe conceptuel défini sur le support décrit dans la Figure 1. Les sommets concepts sont représentés par des rectangles et les sommets relations par des ellipses. D'un sommet relation part autant d'arêtes que l'arité i de la relation. Celles-ci sont numérotées de 1 à i et représentent le lien vers l'argument correspondant de la relation. 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 graphes conceptuels 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.

2.2 Carte cognitive de graphes conceptuels

Une carte cognitive de graphes conceptuels [1] permet de représenter des relations d'influence entre différentes notions, appelées états, chacun de ces états étant défini par un graphe conceptuel.

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 $G = (C_G, R_G, E_G, \text{étiqu}_G)$ un graphe conceptuel 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 $X = (E_X, L_X, \text{étiqu}_X)$ où :

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

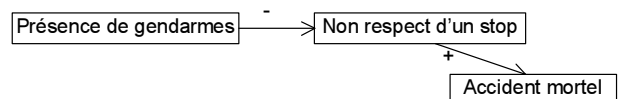


Figure 3 : Une carte cognitive de graphes conceptuels (graphes conceptuels masqués).

Par soucis de simplicité, on suppose qu'il n'y a pas deux nœuds de la carte étiquetés par le même état, on appellera donc « 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 graphes conceptuels dans laquelle les graphes conceptuels ont été masqués. La partie droite de la carte peut être interprétée de la façon suivante : « 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 graphe conceptuel définissant l'état sélectionné est affiché. C'est ce que l'on appelle le *zoom* sur les états. Ce *zoom* permet d'accéder facilement aux graphes conceptuels, 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 différents états. La Figure 4 présente un exemple de carte cognitive de graphes conceptuels, après un *zoom* : sur une route mouillée, le risque d'accident mortel est plus grand.

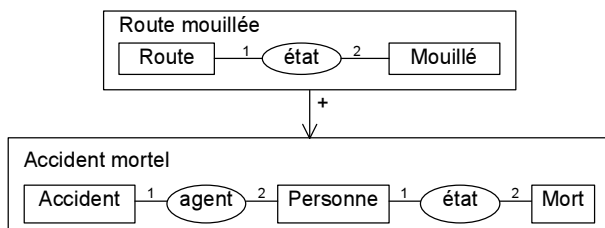


Figure 4 : Une carte cognitive de graphes conceptuels (zoom).

2.3 Comparaison avec les graphes conceptuels et les cartes cognitives

La représentation graphique d'une carte cognitive de graphes conceptuels évoque un graphe conceptuel emboîté [6]. Rappelons qu'un graphe conceptuel emboîté est un graphe conceptuel dans lequel l'étiquette des sommets concepts peut contenir, en plus d'un type, un graphe conceptuel. Une carte cognitive de graphes conceptuels peut donc être vue comme un graphe conceptuel emboîté : chaque état peut être représenté par un sommet concept, dans lequel serait emboîté le graphe conceptuel de définition de l'état, et les liens d'influence de la carte peuvent être représentés par des sommets relations, de différents types selon le type de l'influence. Cependant, d'une part, dans le cas de graphes conceptuels emboîtés, les sommets concepts du graphe sont liés par des sommets relations ordinaires. D'autre part, les étiquettes des états sont indépendantes du support pour des raisons de souplesse (une carte cognitive simple est aussi une carte cognitive de graphes

conceptuels utilisée avec un support vide et des graphes vides). Ici, les états sont liés par des liens d'influence qui ont un sens et un usage différent des sommets relations, comme nous le verrons dans la section 4, qui décrit les opérations.

Le modèle proposé ici diffère de celui des cartes cognitives en enrichissant la représentation des états à l'aide de graphes conceptuels. Pour définir une carte cognitive de graphes conceptuels, il faut évidemment construire un support auparavant. Mais l'effort de construction du support, qui est inutile avec des cartes cognitives simples, est récompensé : le manque de structure que nous avons reproché au modèle des cartes cognitives, est alors compensé par celui des graphes conceptuels. Les états sont clairement définis au travers de graphes conceptuels 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 graphe conceptuel, par exemple celui de la Figure 5, qui représente un conducteur en état d'ébriété. L'ambiguïté qui pouvait exister sur la signification de cet état est levée. Le modèle des graphes conceptuels étant doté d'une sémantique logique, il fournit une sémantique logique aux états et pas seulement une représentation graphique.

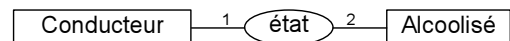


Figure 5 : Un graphe conceptuel pour l'état "alcool".

L'introduction de la structure de graphe conceptuel 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 pour définir ses états.

Comme pour les modèles dont il est issu, un des points forts du modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels, 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 positive (vert, ici étiquetés par « + ») permettent d'avoir 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.

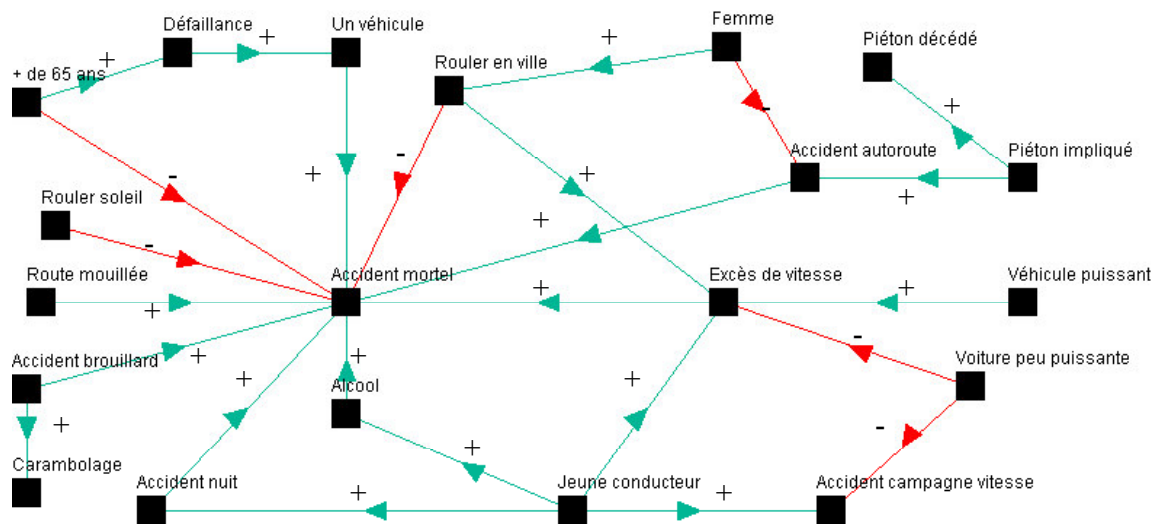


Figure 6 : Vue générale d'une carte cognitive de graphes conceptuels.

3 Sélection d'états dans une carte

Regrouper dans une classe les états qui partagent certaines caractéristiques communes peut faciliter l'exploitation de la carte. Un utilisateur peut ainsi créer une classe contenant tous les états qui l'intéressent ou le concernent. Par exemple, créer une classe contenant les états qui concernent des accidents à partir de la carte cognitive de la Figure 6 permet à l'utilisateur de la carte d'accéder instantanément à tous ces états pour analyser les états qui ont une influence sur les accidents. Dans cet exemple, la classe est construite en sélectionnant des états à partir de leurs intitulés. Dans cette partie nous décrivons comment ces classes d'états, appelées *collections*, peuvent être construites, manuellement, ou automatiquement par sélection des états à l'aide de l'opération de projection des graphes conceptuels.

3.1 Collection d'états

Définition : collection d'états

Une *collection d'états* F d'une carte cognitive de graphes conceptuels $X = (E_X, L_X, \text{étiqu}_X)$ est un sous-ensemble de l'ensemble des états de X : $F \subseteq E_X$. Un *intitulé* peut lui être associé, ce qui permet de nommer une collection.

Ce mécanisme permet une exploitation simple d'une carte cognitive, car l'utilisateur n'a pas à chercher dans la carte les états qui correspondent à un certain critère puisque le concepteur de la carte a établi la collection correspondante. Par exemple, une collection intitulée « accidents » peut être créée manuellement par le concepteur de la carte et contenir tous les états où il est question d'accidents. L'utilisateur peut alors sélectionner une collection parmi celles établies par le concepteur, et demander à voir apparaître en souligné tous les états de cette collection. Toutefois, dans bien des cas, la collection regroupe des états qui sont liés sémantiquement. Les

définitions des états, fournies dans le modèle sous forme de graphes, peuvent être exploitées pour construire automatiquement une classification. Par exemple, la collection intitulée « accidents » pourrait regrouper tous les états qui contiennent un sommet concept de type « Accident » (ou une spécialisation de ce type) dans leur graphe de définition. Dans un tel calcul automatique, un état « Carambolage », défini par un graphe qui contient un sommet de type « Accident », ne serait pas oublié, alors que, manuellement, l'utilisateur risque de construire une collection intitulée « accidents » ne comportant que les états « Accident mortel », « Accident autoroute », « Accident campagne vitesse », « Accident brouillard » et « Accident nuit » (Figure 6).

Une collection peut toutefois être construite manuellement par l'utilisateur, même si la construction d'une telle collection dans une grande carte peut être fastidieuse. En plus d'une perte de temps cela a un autre inconvénient. En effet, si l'utilisateur d'une carte n'est pas le concepteur de la carte, il peut ne pas comprendre la signification de certains intitulés d'états et être obligé de zoomer sur certains états pour savoir s'ils font partie de sa recherche. Pire encore, il peut passer à côté d'états intéressants. On pourrait alors envisager de calculer automatiquement à partir d'un graphe conceptuel « requête » tous les états qui sont définis par un graphe conceptuel qui « répond » à la requête.

3.2 Détermination automatique d'une collection

La détermination automatique d'une collection va s'effectuer à partir d'un graphe : tous les états de la carte dont la définition est une spécialisation du graphe fait partie de la collection.

Pour cela, nous utilisons l'opération principale du modèle des graphes conceptuels : la projection [13]. De façon intuitive, un graphe G se projette dans un graphe H si

l'information représentée par G est incluse dans H , ce qui correspond exactement à l'usage envisagé ici.

Définition : projection

Une *projection* d'un graphe $G = (C_G, R_G, E_G, \text{étiqu}_G)$ dans un graphe $H = (C_H, R_H, E_H, \text{étiqu}_H)$ est une application $\Pi : N_G \rightarrow N_H$, telle que :

1. les arêtes et les étiquettes des arêtes sont conservées : pour toute arête rc de E_G , $\Pi(r)\Pi(c)$ est une arête de E_H et $\text{étiqu}_G(rc) = \text{étiqu}_H(\Pi(r)\Pi(c))$;
2. les étiquettes des sommets peuvent être diminuées : pour tout n de N_G , $\text{étiqu}_H(\Pi(n)) \leq \text{étiqu}_G(n)$.

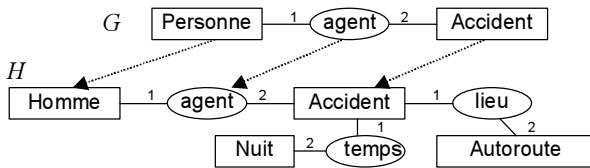


Figure 7 : une projection (en pointillés).

La projection peut être utilisée pour interroger des connaissances représentées par des graphes. La Figure 7 présente une projection d'un graphe « personne agent d'un accident » sur un graphe « un homme a eu un accident de nuit sur une autoroute ». Si le graphe H est considéré comme un fait, et G une question (« existe-t-il une personne ayant eu un accident ? »), l'existence d'une projection de G dans H permet de répondre par l'affirmative à la question. Notons que la projection fait intervenir les connaissances représentées dans le support sous la forme de liens « sorte de » : ainsi, le sommet étiqueté *Personne* se projette sur le sommet étiqueté *Homme* car « un Homme est une sorte de Personne » (cf. Figure 1).

Définition : collection d'un graphe requête

La *collection d'un graphe requête* G défini sur un support S dans une carte cognitive de graphes conceptuels $X = (E_X, L_X, \text{étiqu}_X)$ définie sur le même support, est la collection formée des nœuds $e \in E_X$ étiquetés par (i_e, G_e) tels qu'il existe une projection de G dans G_e .

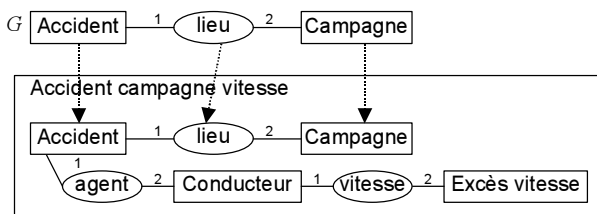


Figure 8 : Calcul de la collection d'un graphe requête.

La Figure 8 montre un exemple d'utilisation d'un graphe requête. En créant le graphe requête G représentant un « accident à la campagne », il est possible d'interroger simplement la carte pour déterminer tous les états qui concernent des accidents à la campagne. Par exemple, G

se projette dans le graphe associé à l'état « accident campagne vitesse » de la carte, comme l'illustre la figure. L'état « accident campagne vitesse » appartient donc à la collection du graphe requête. Par extension, il est possible de calculer la *collection d'un état requête*, à partir d'un état de la carte. Cette collection est calculée en considérant le graphe de définition de l'état comme graphe requête. Ainsi, choisir un état requête e étiqueté par un graphe G est équivalent à choisir tous les états qui sont étiquetés par des graphes qui représentent des faits plus spécialisés que G . On les choisit certes, mais sans être obligé de les spécifier explicitement, grâce à l'utilisation de la projection.

4 Exploitation

Outre la sémantique associée à chaque état par un graphe conceptuel, un des points forts de ce nouveau modèle réside dans le raisonnement qu'il autorise. En effet, il permet la définition d'un mode de raisonnement intégrant à la fois les techniques d'inférence du modèle des graphes conceptuels et celles du modèle des cartes cognitives. Plus précisément, nous allons nous intéresser à la façon de faire de notre modèle un outil d'aide à la prise de décision permettant certains traitements impossibles avec les cartes cognitives simples.

4.1 Propagation d'influence

Revenons sur la carte de la Figure 3 : en interprétant la carte, on peut déduire, de façon intuitive, que la présence des forces de gendarmerie diminue le risque d'accident mortel. 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 [3] [4]. Nous l'étendons ici pour prendre en compte la notion de collection.

L'effet que produit un état sur un autre est fonction des chemins qui existent dans la carte entre ces deux états, et des étiquettes portées par les liens qui composent ces chemins. Cet effet peut être positif (noté +), négatif (-), nul (0) ou ambigu (?). 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. On parle d'ambiguïté lorsqu'il y a au moins un conflit, c'est à dire quand on fait la somme d'une influence positive et d'une influence négative.

Définition : influence

L'influence I de X est une application de $E_X \times E_X$ dans $\{+, -, 0, ?\}$ telle que

$$I(e_i, e_j) = \bigoplus_{H \in H_{i,j}} \bigotimes_{k \in [1, |H|-1]} I_1(h_k, h_{k+1})$$

$H_{i,j}$ étant l'ensemble des chemins ayant pour origine e_i et extrémité e_j . Chacun de ces chemins étant de la forme $H = (h_1, \dots, h_n)$ avec $n=|H|$.

I_1 étant une application de $E_X \times E_X$ dans $\{+, -, 0\}$ telle que $I_1(e_i, e_j) = \text{étiquette}(l)$ si il existe un $l = (e_i, e_j)$ dans L_X et 0 sinon.

$\oplus$ et $\otimes$ étant des applications de $\{+, -, 0, ?\} \times \{+, -, 0, ?\}$ dans $\{+, -, 0, ?\}$ définies ainsi :

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

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

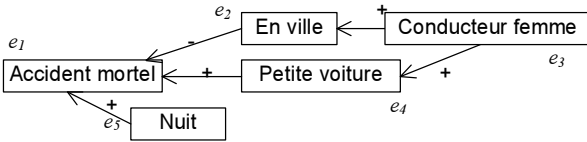


Figure 9 : Une carte cognitive.

Le calcul de l'influence 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 9 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 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 : $I(e_5, e_1) = I_1(e_5, e_1) = +$. On peut en déduire qu'il y a plus de risques d'accidents mortels la nuit. Calculons maintenant l'influence de « conducteur femme » (e_3) sur « accident mortel » (e_1) : Il y a deux chemins entre ces deux états : $I(e_3, e_1) = (I_1(e_3, e_2) \otimes I_1(e_2, e_1)) \oplus (I_1(e_3, e_4) \otimes I_1(e_4, e_1)) = (+ \otimes -) \oplus (+ \otimes +) = ?$. L'influence est donc ambiguë, ce qui signifie qu'il y a à la fois une influence positive et une influence négative.

4.2 Influence et collections

Le mécanisme de propagation d'influence présenté ci-dessus permet de calculer l'influence d'un état sur un autre. Pour l'aide à la prise de décision, un utilisateur préfère souvent sélectionner un ou plusieurs états *choix* $e_1, e_2, \dots, e_m$, correspondant aux alternatives qu'il envisage et un état *cible* e_j , correspondant à l'objectif

qu'il s'est fixé. Le système doit alors déterminer l'influence de ces différents choix sur la cible : l'influence de chaque état choix sur l'état cible peut alors être utilisée pour renseigner l'utilisateur. Si $I(e_x, e_j) = +$, 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 9, on peut choisir « accident mortel » comme cible et « nuit » et « conducteur femme » comme choix. Le calcul des influences donné en exemple plus haut permet de déduire que les conducteurs de nuit peuvent être ciblés dans la campagne ($I(e_5, e_1) = +$), mais le système ne donne aucun conseil sur les conductrices ($I(e_3, e_1) = ?$).

Afin d'offrir une telle fonction qui ne limite pas les calculs à un couple état choix / état cible, la notion de collection d'états permet une avancée. Quand une collection est donnée comme choix, le système calcule les influences de tous les états de la collection sur la cible. Quand une collection est donnée comme cible, le système calcule les influences de l'état choix sur tous les états de la collection. Enfin, si une collection est donnée comme choix et une autre collection est donnée comme cible, toutes les influences entre un état de la collection choix et un état de la collection cible sont calculées. Plutôt que de construire manuellement une collection, l'utilisateur peut choisir de définir un graphe requête, ou partir d'un état pour demander le calcul de la collection du graphe associé. La collection correspondante est alors automatiquement calculée, et les influences sont présentées à l'utilisateur.

Nous avons développé un outil appelé « 3CG » [12] réalisé en Java et utilisant Swing pour l'interface graphique et Notio [10] pour les graphes conceptuels. 3CG s'articule autour d'une zone de consultation de la carte utilisée. Cet outil permet d'exploiter la carte à l'aide des mécanismes décrits ci-dessus. La Figure 10 montre les influences entre l'état choix « Femme » sur la collection intitulée « Accidents » obtenue par le graphe requête contenant un seul sommet concept étiqueté « Accident ».

Si les influences entre un état donné et tous les états d'une collection choix, calculée à partir d'un état requête sont de même nature, le système peut informer l'utilisateur que la notion représentée par l'état requête est influencée de cette façon par l'état choix. Dans l'exemple précédent, si le choix « Femme » a une influence négative sur tous les états de la collection « Accidents », le système peut informer l'utilisation de cette influence entre « Femme » et « Accidents ».

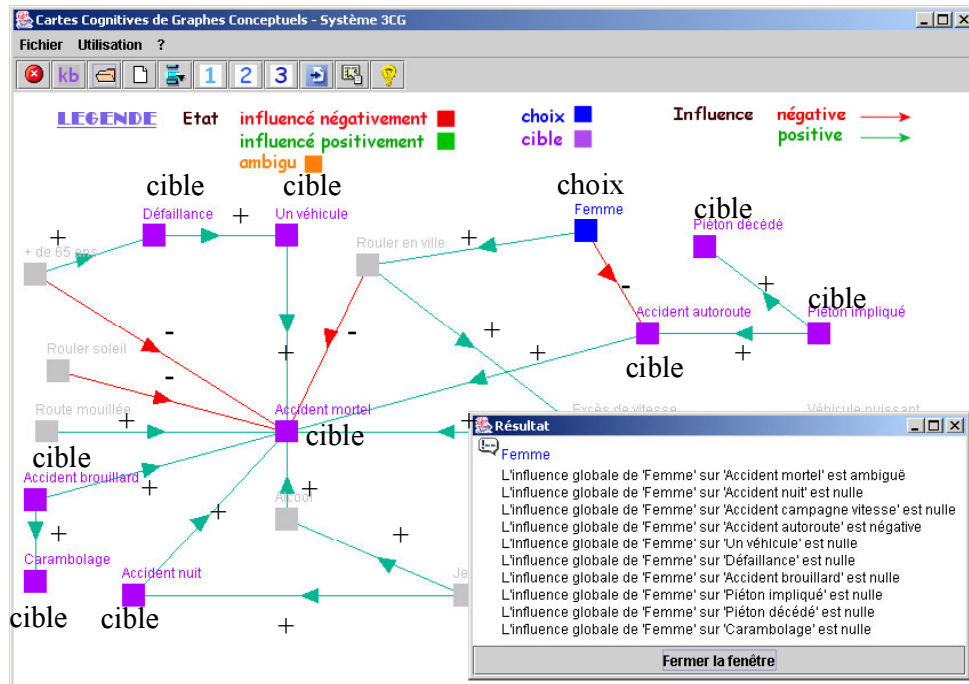


Figure 10 : Résultat du calcul des influences.

4 Conclusion

Le modèle présenté ici a deux atouts essentiels. Le premier concerne la représentation des connaissances qui combine les caractéristiques des graphes conceptuels [14] et des cartes cognitives [15]. D'abord, le support sur lequel est définie une carte permet une représentation des connaissances plus formelle, puisque chaque état y est défini à travers son graphe conceptuel associé. Ensuite, des regroupements d'états sémantiquement liés peuvent être calculés ou construits grâce au concept de collection. Enfin, des relations d'influence entre graphes conceptuels peuvent être représentées et exploitées par l'utilisateur. Notons que notre modèle peut être utilisé pour représenter des cartes cognitives simples, c'est à dire sans graphes conceptuels, pour des utilisations simples. Le deuxième avantage réside dans la façon de raisonner. L'opération de projection du modèle des graphes conceptuels est combinée avec les opérations de propagation d'influences du modèle des cartes cognitives. On obtient de cette façon un nouveau type d'inférence qui offre la possibilité de calculer une collection d'états. Il est alors possible de prendre en compte des ensembles d'états dans les opérations, plutôt que des états isolés. 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.

Dans le cas de grandes cartes, il n'est pas rare d'obtenir des ambiguïtés, car dans le cas où il y a plusieurs

chemins entre deux états, il suffit que l'un d'entre eux ne représente pas la même influence que les autres pour que l'influence soit ambiguë. Une extension intéressante du modèle serait donc de prendre en compte ces problèmes d'ambiguïtés. Il est possible pour cela de s'inspirer de travaux menés en cartographie cognitive. Kosko a proposé en 1986 un modèle de carte cognitive où chaque lien est étiqueté par un nombre représentant sa force [9]. Adapter notre modèle pour prendre en compte ces influences pondérées permettrait d'améliorer l'aide à la prise de décision apportée par le modèle. Nous étudions actuellement un autre type d'extension du modèle, qui consiste à utiliser certaines particularités ou extensions du modèle des graphes conceptuels qui ne sont pas évoquées ici. Parmi elles, on peut citer les marqueurs individuels, qui permettent de représenter explicitement des individus dans les graphes, les graphes conceptuels emboîtés qui permettent de représenter une carte cognitive de graphes conceptuels entière comme un graphe conceptuel, les règles de graphes conceptuels et les liens de coréférence.

Bibliographie

- [1] G. Aissaoui, D. Genest et S. Loiseau. Le modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels : un modèle graphique d'aide à la prise de décision. *Actes des Secondes Journées Francophones Modèles Formels de l'Interaction (MFT'03)*, pages 243-248. Cépaduès éditions.

- [2] R. Axelrod. *Structure of decision : the cognitive maps of political elites*, 1976. Princeton University Press.
- [3] 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.
- [4] B. Chaib-draa. Causal maps : Theory, implementation and practical applications in multiagent environments. Dans *IEEE Transaction On Knowledge and Data Engineering*, 2001.
- [5] M. Chein et M.-L. Mugnier. Conceptual Graphs: Fundamental Notions. Dans *Revue d'Intelligence Artificielle*, volume 6, numéro 4, pages 365-406, 1992.
- [6] M. Chein, M.-L. Mugnier et G. Simonet. Nested Graphs: A Graph-based Knowledge Representation Model with FOL Semantics, *Proceedings of the 6th International Conference "Principles of Knowledge Representation and Reasoning" (KR'98)*, pages 524-534. Morgan Kaufmann Publishers, 1998.
- [7] C. Eden. Cognitive mapping. Dans *European Journal of Operational Research* vol. 36, 1988.
- [8] A. Huff et M. Fiol. Maps for managers : where are we? where do we go from here? Dans *Journal of Management Studies* vol. 29, 1992.
- [9] B. Kosko. Fuzzy cognitive maps. Dans *International Journal of Man-Machines Studies* vol. 25, 1986.
- [10] J. Linders et F. Southey. Notio, a Java API for Developing CG Tools. Dans *Proceedings of the 7th International Conference on Conceptual Structures (ICCS'99)*. Lecture Notes in AI, volume 1640, pages 262-271. Springer, 1999.
- [11] J.A. Louça. Cartographie cognitive, réflexion stratégique et interaction distribuée. Doctorat de Paris IX-Dauphine, 2000.
- [12] E. Mahier. *Cartes cognitives de graphes conceptuels – un modèle graphique d'aide à la prise de décision*. Mémoire de DEA, DEA Informatique d'Angers 2002.
- [13] M.L. Mugnier et M. Chein. Représenter des connaissances et raisonner avec des graphes. Dans *Revue d'intelligence artificielle*, volume 10, numéro 1, pages 7-56. 1996.
- [14] J. F. Sowa. *Conceptual Structures : Information Processing in Mind and Machine*. Addison Wesley, 1984.
- [15] E. Tolman. Cognitive maps in rats and men. Dans *Psychological Review* volume 55, 1948.