Les cartes cognitives hiérarchiques

Lionel Chauvin, David Genest, Stéphane Loiseau

LERIA - Université d'Angers
2 boulevard Lavoisier 49045 Angers Cedex 01
{lionelc,genest,loiseau}@info.univ-angers.fr

Résumé. Une carte cognitive fournit une représentation graphique d'un réseau d'influence entre des concepts. Les cartes cognitives de dimensions importantes ont l'inconvénient d'être difficiles à appréhender, interpréter et exploiter. Cet article présente un modèle de cartes cognitives hiérarchiques permettant au concepteur d'effectuer des regroupements de concepts qui sont ensuite utilisés dans un mécanisme permettant à l'utilisateur d'obtenir des vues partielles et synthétiques d'une carte.

Introduction

Une base de données de grande taille est difficile à appréhender dans sa totalité. Pour palier ce problème, diverses techniques ont été créées afin de fournir des vues partielles ou d'effectuer des regroupements de données par thèmes. De façon similaire il est difficile de comprendre une base de connaissances. Plus une base de connaissance est grande, plus le nombre de connaissances utilisables afin d'effectuer une déduction est important. A partir d'un certain nombre l'humain ne peut plus évaluer toutes les connaissances mises en jeu dans une déduction. Il est donc nécessaire de diviser l'ensemble des étapes d'une déduction par paquets et de fournir à l'humain une évaluation de chaque paquet. Cette évaluation peut être imprécise mais facilite la compréhension en donnant l'idée générale. Pour notre étude nous nous intéressons à un modèle graphique de gestion de connaissances appelé cartes cognitives (Tolman, 1948).

Une carte cognitive représente un réseau d'*influences* entre *concepts*. Une influence est une relation de causalité entre deux concepts. L'effet de l'influence d'un concept sur un autre peut être représenté de manière numérique ou symbolique. Ce type de représentation fournit un bon support à la communication entre humains dans le but d'effectuer une analyse d'un système complexe. Les cartes cognitives ont été utilisées dans de nombreux domaines tels que la biologie (Tolman, 1948)(Touretzky et Redish, 1995), l'écologie (Celik et al., 2005)(Poignonec, 2006), la sociologie (Poignonec, 2006). Un mécanisme d'inférence des influences dans une carte cognitive peut être défini, ce qui en fait un outil d'aide à la décision. Ce type d'outils a été utilisé par exemple en politique et en économie (Axelrod, 1976)(Cossette, 1994). La représentation informatique d'une carte cognitive et la mise en oeuvre d'un calcul automatique de l'inférence est relativement simple.

L'objectif de ce travail est de faciliter la compréhension et l'exploitation de cartes cognitives de grandes tailles. Pour cela nous présentons un modèle de cartes cognitives permettant à l'utilisateur d'obtenir des *vues partielles* et synthétiques d'une carte.

Les vues partielles sont calculées à l'aide de *regroupements de concepts* préalablement définis par le concepteur de la carte sous la forme d'une *hiérarchie*. Un regroupement de concepts est considéré comme une nouveau concept. Ce concept peut être choisi par l'utilisateur afin qu'il soit présent dans la vue partielle de la carte et ainsi remplacer l'ensemble des concepts qu'il regroupe. Lorsqu'il existe une influence entre deux concepts appartenant à deux regroupements différents et que les regroupements sont remplacés par leurs concepts correspondants, il est nécessaire d'ajouter une influence entre ces derniers dans la vue partielle. La représentation symbolique ou numérique de l'effet de cette influence doit fournir à l'utilisateur une idée de l'effet des influences qu'il existe entre des concepts de ces regroupements. Pour déterminer cet effet il est nécessaire de préalablement définir un *mécanisme d'inférence entre deux regroupements de concepts*. Ce mécanisme est inspiré d'un travail précédemment effectué (Genest et Loiseau, 2007) ainsi que de travaux ayant pour objectif de fusionner plusieurs cartes cognitives en utilisant des mécanismes de fusion de plusieurs influences en une seule (Axelrod, 1976)(Chaib-draa, 2002)(Fabiola Mata Avila, 2002)(Jung et al., 2003).

La première section de cet article présente un modèle standard de carte cognitive, dit modèle de carte cognitive simple et son mécanisme d'inférence permettant de l'exploiter. La seconde partie présente un mécanisme permettant à l'utilisateur d'interroger la carte afin de connaître l'influence d'un regroupement de concepts sur un autre. La troisième section présente notre modèle de carte cognitive hiérarchique s'appuyant sur une hiérarchie de concepts qui détermine des regroupements de concepts. La quatrième section fournit le mécanisme d'inférence adapté aux cartes cognitives hiérarchiques. La dernière section décrit un mécanisme de visualisation partielle d'une carte cognitive hiérarchique.

1 Un modèle simple de cartes cognitives

Une carte cognitive simple est un graphe orienté dont les nœuds sont étiquetés par des concepts. Une concept est représenté par un texte. Un arc du graphe représente une influence, c'est à dire une relation de causalité possible entre deux concepts. Un arc porte un symbole caractérisant l'effet de l'influence qu'il représente. Typiquement une influence est positive ou négative.

Définition (Carte cognitive simple):
Soit S un ensemble de symboles.
Soit C un ensemble de concepts.
Une *carte cognitive simple* définie sur C et S, est un multigraphe orienté étiqueté $(V, \acute{e}tiq_V, I, \acute{e}tiq_I)$ où:

- V est un ensemble de nœuds.
- $\acute{e}tiq_V : V \mapsto C$ une fonction d'étiquetage bijective qui associe à un nœud de V un concept de C.
- $I \subseteq V \times V$ est un ensemble d'arcs appelés *influences*.
- $\acute{e}tiq_I : I \mapsto S$ une fonction d'étiquetage qui associe à une influence un symbole de S.

Exemple:
La carte cognitive de la figure 1 est définie sur un ensemble de symbole $S = \{+, -\}$. Cette

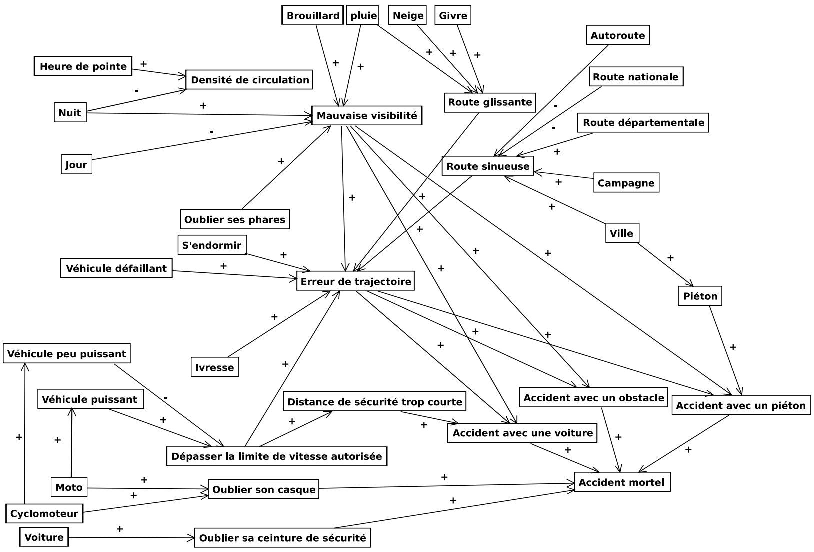

FIG. 1 – *Carte cognitive simple*

carte est inspirée d'une analyse des problèmes de sécurité routière. Une concept peut être considéré comme un évènement. Une influence positive entre deux concepts peut être interprétée de la manière suivante : "si le premier concept se produit alors il est probable que le second se produise". A l'inverse, une influence négative peut être interprété par : "si le premier concept se produit alors il est peu probable que le second se produise". Par exemple, si l'on considère les concepts *Ivresse* et *Erreur de trajectoire*, le fait d'être ivre augmente les risques d'effectuer des erreurs de trajectoire.

Un mécanisme de *propagation de l'influence* dans une carte cognitive permet de déterminer l'effet d'un concept sur un autre (Axelrod, 1976). L'influence propagée d'un concept sur un autre est calculée en fonction des chemins qu'il existe entre les nœuds étiquetés par ces concepts. On appelle ces chemins des *chemins d'influence*.

Définition (Chemin d'influence):
Soit $M = (V, étiq_V, I, étiq_I)$, une carte cognitive simple définie sur un ensemble de concepts C et un ensemble de symboles S.
Soit c_1, c_2 deux concepts de C. On appelle un *chemin d'influence* P entre c_1 et c_2 une liste de longueur k composée d'influences (u_i, v_i) de I telles que:

- $u_1 = étiq_V^{-1}(c_1)$.
- $v_k = étiq_V^{-1}(c_2)$.
- $\forall i \in [1 \dots k-1], v_i = u_{i+1}$.

Exemple:
Sur la carte cognitive simple de la figure 1, $((étiq_V^{-1}(\textit{Autoroute}), étiq_V^{-1}(\textit{Route sinueuse})),$ $(étiq_V^{-1}(\textit{Route sinueuse}), étiq_V^{-1}(\textit{Erreur de trajectoire}))$ est un chemin d'influence entre *Auto-*

route et *Erreur de trajectoire*.

Afin de connaître l'effet d'un concept sur un autre il est nécessaire de déterminer l'ensemble des chemins d'influences entre ces concepts. Il faut ensuite évaluer l'influence propagée par chaque chemin d'influence. Pour cela il est nécessaire de cumuler les symboles de chaque influence présente dans un chemin d'influence. Classiquement l'ensemble des symboles utilisés pour décrire l'effet d'une influence est $\{+,-\}$. Nous nous limitons dorénavant à ces symboles afin de pouvoir fournir des mécanismes de calculs qui les utilisent.

Définition (Influence propagée dans un chemin d'influence):
Soit $M = (V, étiq_V, I, étiq_I)$, une carte cognitive simple définie sur un ensemble de concepts C et l'ensemble de symboles $\{+,-\}$.
L'*influence propagée dans un chemin d'influence* P est définie de la façon suivante:

$$\mathcal{I}_P(P) = \bigwedge_{(v,v') de P} étiq_I((v,v'))$$

avec $\bigwedge$ est une application définie sur $\{+,-\} \times \{+,-\} \mapsto \{+,-\}$ représentée par la matrice:

$\bigwedge$	+	-
+	+	-
-	-	+

Exemple:
L'influence propagée dans le seul chemin d'influence entre *Autoroute* et *Erreur de trajectoire* est négative.
$\mathcal{I}_P(\text{Autoroute}, \text{Erreur de trajectoire}) = étiq_I((étiq_V^{-1}(\text{Autoroute}), étiq_V^{-1}(\text{Route sinueuse}))) \wedge étiq_I((étiq_V^{-1}(\text{Route sinueuse}), étiq_V^{-1}(\text{Erreur de trajectoire}))) = + \wedge - = -$

On remarque que l'ensemble des chemins d'influence entre deux notions peut être de dimension infinie car la carte cognitive peut contenir des cycles. Nous definirons donc l'influence propagée entre deux concepts à l'aide d'un sous-ensemble fini de cet ensemble. Ce sous-ensemble est appelé l'ensemble des chemins d'influence minimaux.

Définition (Chemin d'influence minimal):
Soit $M = (V, étiq_V, I, étiq_I)$, une carte cognitive simple définie sur un ensemble de concepts C et un ensemble de symboles S.
Soit P un chemin d'influence entre deux concepts c_1 et c_2 de C.
P est un *chemin d'influence minimal* si et seulement si il n'existe pas de chemin d'influence P' entre c_1 et c_2 tel que P est une sous-liste de P'.
On note P_{c_1,c_2} l'ensemble des chemins d'influence minimaux entre c_1 et c_2.

Le mécanisme de propagation de l'influence entre deux concepts effectue des comparaisons des influences propagées dans les différents chemins d'influence minimaux existants entre ces deux concepts. La valeur retournée par ce mécanisme peut être positive (notée +), négative (-), nulle (0) ou ambiguë (?). Cette valeur est positive (respectivement négative) quand tous les chemins d'influence minimaux entre ces concepts ont une influence propagée positive (respectivement négative). Cette valeur est nulle quand il n'y a pas de chemin d'influence minimal entre ces concepts. Cette valeur est ambiguë lorsque deux chemins d'influences minimaux ont une influence propagée de symboles différents.

Définition (Propagation de l'influence entre deux concepts):
Soit $M = (V, étiq_V, I, étiq_I)$, une carte cognitive simple définie sur un ensemble de concepts C et l'ensemble de symboles $\{+, -\}$.
Soit c_u, c_v deux concepts de C.
L'*influence propagée* entre c_u et c_v est définie de la façon suivante:

$$\mathcal{I}(c_u, c_v) = 0 \; si \;\; P_{c_u,c_v} = \emptyset$$

$$\mathcal{I}(c_u, c_v) = \bigvee_{P \in P_{c_u,c_v}} \mathcal{I}_P(P) \; si \;\; P_{c_u,c_v} \neq \emptyset$$

où $\bigvee$ est une application définie sur $\{+, -, ?\} \times \{+, -, ?\} \mapsto \{+, -, ?\}$ représentée par la matrice:

$\bigvee$	+	-	?
+	+	?	?
-	?	-	?
?	?	?	?

Exemple:
Sur la carte de la figure 1, le concept *Jour* influence *Accident avec un obstacle* par deux chemins. Le *Jour* influence négativement *Mauvaise visibilité* qui influence positivement *Accident avec un obstacle*. Par ce chemin, le *Jour* influence négativement *Accident avec un obstacle*. Par un autre, le *Jour* influence négativement *Mauvaise visibilité* qui influence positivement les risques de faire une *Erreur de trajectoire* qui influence positivement *Accident avec un obstacle*. Par ce chemin le *Jour* influence aussi négativement *Accident avec un obstacle*. Les résultats de l'influence propagée par ces deux chemins nous permettent de déduire que circuler pendant le *Jour* influence négativement les risques d'avoir un *Accident avec un obstacle*.

$$\mathcal{I} = (- \wedge +) \vee (- \wedge + \wedge +) = - \vee - = -$$

De nombreux travaux formalisent des mécanismes de propagation dans des cartes cognitives. Certains travaux représentent une carte cognitive sous la forme d'une matrice d'adjacence(Fabiola Mata Avila, 2002). Le mécanisme de propagation étant effectué à l'aide d'opérations matricielles. Définir ainsi le mécanisme de propagation a l'avantage de fournir une évolution du système au cours du temps. D'autres travaux quantifient de manière différente les influences. Leur principal objectif étant de lever automatiquement les ambiguités obtenues au cours de la propagation de l'influence. Ces travaux s'appuient souvent sur la logique floue(Zadeh, 1965) et définissent des cartes cognitives floues (Kosko, 1992)(Taber, 1991)(Perusich, 1996) où les influences sont pondérées par des valeurs numériques allant de -1 à 1. Des modèles de cartes cognitives floues(Carvalho et Tomé, 1999) plus complexes associent des règles de logique floue pour chaque concept de la carte. Ces travaux sont intéressants pour la conception d'outils capables d'effectuer des raisonnements de façon autonome mais les résultats fournis étant plus difficiles à interpréter par l'utilisateur, nous avons choisi de garder un formalisme plus simple.

2 Mécanisme d'inférence entre deux regroupements de concepts

On souhaite pouvoir interroger une carte cognitive simple afin de connaître l'influence d'un ensemble de concepts sur un autre ensemble de concepts. Nous définissons donc un regroupement de concepts comme étant un sous-ensemble des concepts.

Définition (Regroupement de concepts):
Soit C un ensemble de concepts.
Un *regroupement de concepts* est un sous-ensemble de concepts de C.

Exemple:
Les concepts *Brouillard*, *Pluie*, *Neige*, *Givre* forment un regroupement de concepts (figure 1) appelé *Mauvais temps*.

Définissons un mécanisme d'influence entre deux regroupements de concepts C_1 et C_2. L'influence entre C_1 et C_2 est nulle (notée 0) lorsqu'il n'y a pas de chemins d'influence entre un concept de C_1 et un concept de C_2. Elle est positive, notée $+$ (resp. négative, notée $-$), lorsque chaque concept de C_1 influence positivement (resp. négativement) tous les concepts de C_2. Elle est "positive ou nulle", noté $\oplus$ (resp. "négative ou nulle", notée $\ominus$), lorsque un concept de C_1 n'influence pas un concept de C_2 et qu'un concept de C_1 influence positivement (resp. négativement) un concept de C_2 mais aucun concept de C_1 influence négativement (resp. positivement) un concept de C_2. Elle est ambiguë, notée ?, lorsqu'un concept de C_1 influence positivement (ou de manière ambiguë) un concept de C_2 et un concept de C_1 influence négativement (ou de manière ambiguë) un concept de C_2.

Définition (Propagation de l'influence entre deux regroupements de concepts):
Soit $M = (V, étiq_V, I, étiq_I)$, une carte cognitive simple définie sur un ensemble de concepts C et l'ensemble de symboles $\{+, -\}$.
Soit C_1,C_2 deux regroupements de concepts.
La *propagation de l'influence entre deux regroupements* est l'application $\mathcal{I}_C$ définie sur $C \times C \mapsto \{0, +, -, \oplus, \ominus, ?\}$ telle que:

$$\mathcal{I}_C(C_1, C_2) = \bigodot_{\forall c_1 \in C_1, \forall c_2 \in C_2} \mathcal{I}(c_1, c_2)$$

avec $\bigodot$ une application de $\{0, +, -, \oplus, \ominus, ?\} \times \{0, +, -, \oplus, \ominus, ?\}$ dans $\{0, +, -, \oplus, \ominus, ?\}$ définie ainsi:

$\odot$	+	-	0	$\oplus$	$\ominus$	?
+	+	?	$\oplus$	$\oplus$	?	?
-	?	-	$\ominus$	?	$\ominus$	?
0	$\oplus$	$\ominus$	0	$\oplus$	$\ominus$	?
$\oplus$	$\oplus$	?	$\oplus$	$\oplus$	?	?
$\ominus$	?	$\ominus$	$\ominus$	?	$\ominus$	?
?	?	?	?	?	?	?

Exemple:
Appelons *Mauvaises conditions de circulation* le regroupement de concepts de la carte cognitive (figure 1) contenant *Densité de circulation*, *Mauvaise visibilité*, *Route glissante*, *Route sinueuse*. L'influence propagée entre *Mauvais temps* et *Mauvaises conditions de circulation* est positive ou nulle ($\oplus$).

3 Hiérarchie et carte cognitive

On souhaite permettre à l'expert qui conçoit la carte de prédéfinir des regroupements de concepts qui ont un sens à être ensemble. Ces regroupements prédéfinis facilitent l'emploi par l'utilisateur du mécanisme de propagation entre deux regroupements de concepts. Nous considérons ici que les seuls concepts qui peuvent être regroupés ensemble sont ceux qui sont une spécialisation de la même chose. Nous proposons de définir un regroupement de concepts comme un nouveau concept appelé par le nom choisi. Ce concept peut être à son tour groupé avec d'autres concepts. Nous considérons ici qu'un concept est regroupé par un autre concept signifie que le premier est une spécialisation du second. L'ensemble des concepts forme alors un ensemble partiellement ordonné par une relation de spécialisation. Nous appelons *hiérarchie* cet ensemble partiellement ordonné de concepts.

Définition (Hiérarchie):
Une *hiérarchie* est un ensemble de concepts C muni d'une relation d'ordre partiel notée $\preceq$. Cette relation d'ordre est une relation de spécialisation.

Exemple:
La figure 2 est un diagramme de Hasse (Skiena, 1990) représentant l'ensemble partiellement ordonné des concepts. Un diagramme de Hasse est un graphe acyclique orienté qui ne contient pas d'arc de transitivité. Les arcs dans la hiérarchie symbolisent des relations de spécialisation. Par exemple, *Ville* et *Lieu* sont reliés car une *Ville* est une sorte de *Lieu*.

Un ensemble partiellement ordonné par une relation contient des éléments minimum, c'est à dire des éléments pour lesquels il n'existe pas d'éléments inférieurs. Nous appelons les éléments minimum d'une hiérarchie des *concepts-minimum*.

Définition (Ensemble des concepts-minimum d'une hiérarchie):
Soit $(C, \preceq)$ une hiérarchie de concepts. On appelle l'ensemble des *concepts-minimum* le sous ensemble des concepts de C défini de la façon suivante:
$Min(C) = \{c \in C \mid \forall\, c' \in C\ tq\ c' \preceq c, c' = c\}$

Exemple:
Les concepts-minimum de la hiérarchie de la figure 2 sont ceux utilisés dans la carte cognitive simple de la figure 1.

Une carte cognitive hiérarchique est une carte cognitive simple pour laquelle des regroupements de concepts ont été prédéfinis par le concepteur.

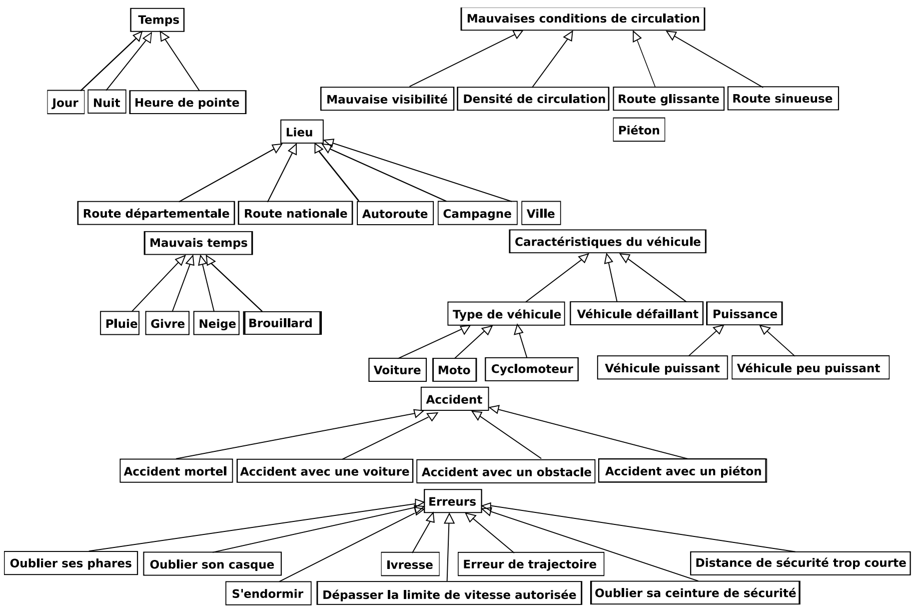

FIG. 2 – *Hiérarchie de concepts*

Définition (Carte cognitive hiérarchique):
Soit $(C, \preceq)$ une hiérarchie de concepts. Soit S un ensemble de symboles.
Une carte cognitive simple définie sur $Min(C)$, S est une *carte cognitive hiérarchique* définie sur $(C, \preceq)$, S.

Exemple:
La carte cognitive simple de la figure 1 devient une carte cognitive hiérarchique définie sur la hiérarchie de la figure 2. Les nœuds de cette carte cognitive hiérarchique sont étiquetés par les concepts-minimum de cette hiérarchie.

4 Mécanisme d'inférence dans une carte cognitive hiérarchique

Définissons un mécanisme d'inférence permettant à l'utilisateur d'interroger une carte cognitive hiérarchique afin de déterminer l'influence entre deux concepts de n'importe quel type, que ce soit des concepts-minimum ou non. Ce mécanisme d'inférence entre deux concepts c et c' détermine dans un premier temps deux regroupements de concepts-minimum : le regroupement de concepts-minimum qui sont inférieurs ou égaux à c et le regroupement de concepts-minimum qui sont inférieurs ou égaux à c'.

Définition (Ensemble des concepts-minimum inférieurs ou égaux à un concept):
Soit $(C, \preceq)$ une hiérarchie de concepts. L'*ensemble des concepts-minimum inférieurs ou égaux à un concept c* de C est $\{c' \in Min(C) | c' \preceq c\}$. On note cet ensemble $MinInf(c)$.

Exemple:
Déterminons l'ensemble des concepts-minimum inférieurs ou égaux à *Brouillard* :
$MinInf$(*Brouillard*) $= \{$*Brouillard*$\}$ et l'ensemble des concepts-minimum inférieurs ou égaux à *Mauvaises conditions de circulation* :
$MinInf$(*Mauvaises conditions de circulation*) $= \{$*Mauvaise visibilité*, *Densité de circulation*, *Route glissante*, *Route sinueuse*$\}$

Une fois que les deux regroupements de concepts-minimum sont déterminés, le mécanisme d'inférence dans une carte cognitive hiérarchique calcule l'influence entre ces deux regroupements de concepts à l'aide du mécanisme d'inférence entre deux regroupements vu précédemment.

Définition (Mécanisme d'inférence dans une carte cognitive hiérarchique):
Soit $H = (V, étiq_V, I, étiq_I)$ une carte cognitive hiérarchique définie sur une hiérarchie $(C, \preceq)$ et l'ensemble de symboles $\{+, -\}$.
L'*inférence dans une carte cognitive hiérarchique* H est une application définie sur $C \times C \mapsto \{0, +, -, \oplus, \ominus, ?\}$ telle que : $\mathcal{I}_H(c_1, c_2) = \mathcal{I}_C(MinInf(c_1), MinInf(c_2))$.

Exemple:
Calculons l'influence entre *Brouillard* et *Mauvaises conditions de circulation*. L'influence entre le regroupement de concepts $MinInf$(*Brouillard*) et le regroupement $MinInf$(*Mauvaises conditions decirculation*) est positive ou nulle car il existe un influence positive entre *Brouillard* et *Mauvaise visibilité* et il n'y a pas d'influence entre *Brouillard* et les autres concepts de $MinInf$(*Mauvaisesconditions de circulation*). L'influence entre *Brouillard* et *Mauvaises conditions de circulation* dans la carte cognitive hiérarchique est donc positive ou nulle ($\oplus$).

5 Mécanisme de visualisation partielle d'une carte cognitive hiérarchique

Cette section présente un mécanisme qui, à partir d'une carte cognitive hiérarchique et d'un ensemble de concepts sélectionnés par l'utilisateur dans la hiérarchie, calcule une carte cognitive simple représentant une vue synthétique du système. On appelle *vue partielle* la carte cognitive simple obtenue par ce mécanisme. La vue partielle est définie sur un sous-ensemble de concepts de la hiérarchie (pas seulement les concepts-minimum). Ces concepts sont reliés par des influences dont le symbole est déterminé utilisant le mécanisme d'inférence des cartes cognitives hiérarchiques. La vue partielle est une représentation synthétique du système, les influences qui la composent portent donc des symboles moins précis que ceux employés dans une carte cognitive classique. Les symboles que nous employons sont $+$, $-$, $\oplus$, $\ominus$ et ? (Axelrod, 1976)(Chaib-draa, 2002)(Fabiola Mata Avila, 2002).

Notation (Ensemble de concepts sélectionnés dans la hiérarchie):
Soit $H = (V, étiq_V, I, étiq_I)$ une carte cognitive hiérarchique définie sur $(C, \preceq)$ et S.
Notons C_s le sous ensemble des concepts de C sélectionnés par l'utilisateur.

L'ensemble des concepts de la vue partielle contient les concepts sélectionnés par l'utilisateur, les concepts-minimum qui ne sont pas strictement inférieurs aux concepts sélectionnés. Si un concept sélectionné est inférieur à une autre concept sélectionné, il ne fait pas parti de l'ensemble des concepts de la vue partielle.

Définition (Ensemble de concepts d'une vue partielle):
Soit $(C, \preceq)$ une hiérarchie de concepts. Soit C_s l'ensemble des concepts sélectionnés par l'utilisateur.
Soit $StrictInf(c) = \{c' \in C | c' \preceq c \wedge c' \neq c\}$ l'ensemble des concepts strictement inférieurs à un concept.
L'*ensemble des concepts de la vue partielle* est défini tel que:
$ConceptsVue(C, C_s) = Min(C - \bigcup_{c \in C_s} StrictInf(c)\})$

Exemple:
Les concepts présentent dans la figure 3 sont les concepts obtenus lorsque l'utilisateur sélectionne les concepts : *Erreurs*, *Accident*, *Lieu*, *Puissance*, *Mauvaises conditions de circulation* et *Type de véhicule*

Une vue partielle d'une carte cognitive hiérarchique est une carte cognitive simple. L'ensemble des nœuds de la vue partielle sont étiquetés par des concepts de la hiérarchie déterminés en fonction des concepts sélectionnés dans la hiérarchie par l'utilisateur. Deux nœuds de la vue partielle v_1 et v_2 associés à deux concepts c_1 et c_2 sont reliés par une influence si dans la carte cognitive hiérarchique il existe une influence entre un nœud associé à un concept inférieur à c_1 et un nœud associé à un concept inférieur à c_2. Le symbole de cette influence est déterminé à l'aide du mécanisme d'inférence dans une carte cognitive hiérarchique appliqué aux concepts c_1 et c_2.

Définition (Vue partielle sur une carte cognitive hiérarchique):
Soit $H = (V, étiq_V, I, étiq_I)$ une carte cognitive hiérarchique définie sur une hiérarchie $(C, \preceq)$ et l'ensemble de symboles $\{+, -\}$.
Soit C_s l'ensemble des concepts sélectionnés par l'utilisateur.
Une *vue partielle* de H en fonction de C_s est la carte cognitive simple $(V_p, étiq_{Vp}, I_p, étiq_{Ip})$ définie sur $ConceptsVue(C, C_s)$ et $\{+, -, \oplus, \ominus, ?\}$ telle que:

- V_p est un ensemble de nœuds.
- $étiq_{Vp} : V_p \mapsto ConceptsVue(C, C_s)$ une fonction d'étiquetage bijective qui associe à un nœud de V_p un concept de $ConceptsVue(C, C_s)$.
- $I_p = \{(v_1, v_2) \in V_p \times V_p | \exists (v'_1, v'_2) \in I, étiq_V(v'_1) \preceq étiq_{Vp}(v_1) \wedge étiq_V(v'_2) \preceq étiq_{Vp}(v_2)\}$
- $étiq_{Ip} : I_p \mapsto \{+, -, \oplus, \ominus, ?\}$ une fonction d'étiquetage telle que:
  $étiq_{Ip}((c_1, c_2)) = \mathcal{I}_H(étiq_{Vp}^{-1}(c_1), étiq_{Vp}^{-1}(c_2))$.

Exemple:
La figure 3 représente la vue partielle obtenue lorsque l'utilisateur sélectionne les concepts : *Erreurs*, *Accident*, *Lieu*, *Puissance*, *Mauvaises conditions de circulation* et *Type de véhicule* Par exemple, il y a une influence dans la vue partielle entre les nœuds étiquetés par *Brouillard* et *Mauvaises conditions de circulation* car il existe dans la carte de la figure 1 une influence entre *Brouillard* et *Mauvaise Visibilité*. Le mécanisme d'inférence dans les cartes cognitives

hiérarchique permet de déduire que le symbole de l'influence entre les nœuds étiquetés par *Brouillard* et *Mauvaises conditions de circulation* est positif ou nul ($\oplus$).

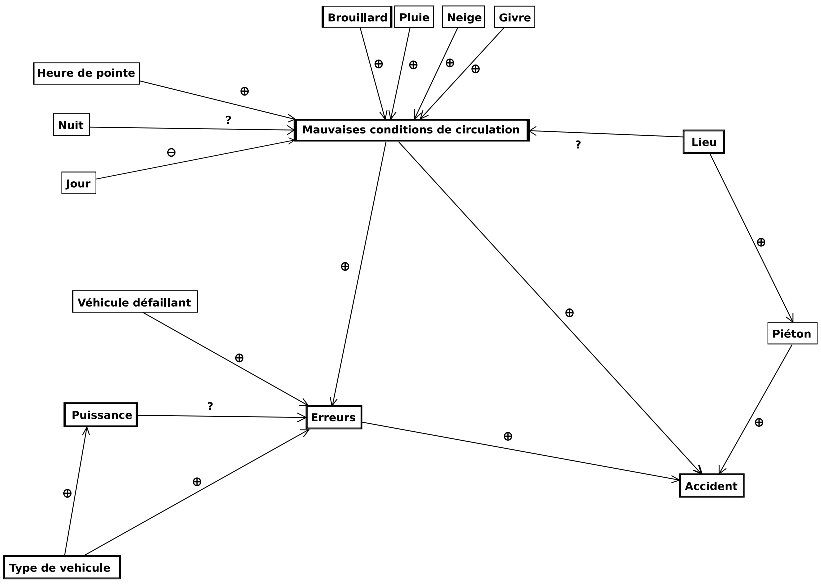

FIG. 3 – *Vue partielle*

6 Conclusion

Cet article présente un nouveau modèle de carte cognitive, dite hiérarchique, qui permet à un utilisateur d'obtenir une vue partielle et synthétique de celle-ci. Cet article présente d'abord un modèle simple de carte cognitive qui formalise les nombreux travaux portant sur les cartes cognitives. Un mécanisme d'inférence de l'influence entre deux concepts et un mécanisme d'inférence entre deux regroupements de concepts sont définis. Ensuite ce modèle est étendu en lui associant une hiérarchie. Une hiérarchie déterminée par le concepteur de la carte représente des regroupements de concepts dans une carte cognitive simple. Le mécanisme d'inférence de l'influence entre deux regroupements est utilisé afin de définir l'influence de n'importe quel concept de la hiérarchie sur un autre. Ces mécanismes ont permis de fournir à l'utilisateur une visualisation partielle d'une carte cognitive hiérarchique.

Nous avons développé un prototype[1] en java qui permet de construire et d'utiliser des cartes cognitives hiérarchiques. Les différents composants nécessaires à la visualisation des cartes sont implémentés en utilisant JGraph[2], une bibliothèque de visualisation de graphes. Les figures de cartes cognitives présentées dans cet article ont été obtenues à l'aide de ce prototype.

[1] téléchargeable au : `http://forge.info.univ-angers.fr/~lionelc/CCdeGCjava/`

[2] `http://www.jgraph.com`

Références

Axelrod, R. (1976). *Structure of decision : the cognitive maps of political elites*. New Jerse : Princeton University Press.

Carvalho, J. et J. Tomé (1999). Rule based fuzzy cognitive maps – qualitative systems dynamics.

Celik, F. D., U. Ozesmi, et A. Akdogan (2005). Participatory ecosystem management planning at tuzla lake (turkey) using fuzzy cognitive mapping. *eprint arXiv :q-bio/0510015*.

Chaib-draa, B. (2002). Causal maps : Theory, implemenation and pratical application in multiagent environnements. *Knowledge and Data Engineering 14*(6), 1–17.

Cossette, P. (1994). *Introduction, Cartes cognitives et organisations* (Cossette ed.). Les presses de l'université de Laval.

Fabiola Mata Avila, I. (2002). Raisonnement qualitatif dans les systèmes multiagents basé sur les cartes causales. Master's thesis, Université de Laval, Canada.

Genest, D. et S. Loiseau (2007). Modélisation, classification et propagation dans des réseaux d'influence. *Technique et Science Informatiques 26*(3-4), 471–496.

Jung, J. J., K.-Y. Jung, et G. Jo (2003). Ontological cognitive map for sharing knowledge between heterogeneous businesses. In *ISCIS*, pp. 91–98.

Kosko, B. (1992). *Neural networks and fuzzy systems : a dynamical systems approach to mahine intelligence*. Prentice-Hall, Engelwood Cliffs.

Perusich, K. (1996). Fuzzy cognitive maps for policy analysis. *10*, 369–373.

Poignonec, D. (2006). *Apport de la combinaison cartographie cognitive/ontologie dans la compréhension de la perception du fonctionnement d'un écosystème récifo-lagonaire de Nouvelle-Calédonie par les acteurs locaux.* Ph. D. thesis, ENSA Rennes France.

Skiena, S. (1990). *Implementing Discrete Mathematics : Combinatorics and Graph Theory with Mathematica.*, pp. 163, 169–170, 206–208. Addison-Wesley.

Taber, R. (1991). *Knowledge processing with fuzzy cognitive maps* (Expert Systems With Application ed.), Volume 2.

Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *The Psychological Review 55(4)*, 189–208.

Touretzky, D. et A. Redish (1995). Landmark arrays and the hippocampal cognitive map. *Current Trends in Connectionism*, 1–13.

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Info. & Ctl. 8*, 338–353.

Summary

A cognitive map model provides a graphical representation of an influence network between concepts. Large cognitive maps are difficult to understand and exploit. This paper introduce an extension of the cognitive map model that enables the designer to make groups of concepts that are used in a mechanism enabling the user to obtain overviews of the map.