



**HAL**  
open science

# Modèles de cartes cognitives étendues aux notions de contexte et d'échelle

Lionel Chauvin

► **To cite this version:**

Lionel Chauvin. Modèles de cartes cognitives étendues aux notions de contexte et d'échelle. Informatique [cs]. Université d'Angers, 2010. Français. NNT : . tel-00585259

**HAL Id: tel-00585259**

**<https://theses.hal.science/tel-00585259v1>**

Submitted on 12 Apr 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# MODÈLES DE CARTES COGNITIVES ÉTENDUES AUX NOTIONS DE CONTEXTE ET D'ÉCHELLE

## THÈSE DE DOCTORAT

Spécialité : Informatique

### ÉCOLE DOCTORALE STIM

« SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES MATÉRIAUX »

Présentée et soutenue publiquement

Le 17 septembre 2010

À Angers

Par **Lionel Chauvin**

#### Devant le jury ci-dessous :

<i>Président :</i>	Suzanne PINSON,	Professeur à l'Université Paris-Dauphine
<i>Rapporteurs :</i>	Salem BENFERHAT,	Professeur à l'Université d'Artois
	Gaëlle CALVARY,	Professeur à l'Université de Grenoble
<i>Examineur :</i>	Jin-Kao HAO,	Professeur à l'Université d'Angers
<i>Directeur de thèse :</i>	Stéphane LOISEAU,	Professeur à l'Université d'Angers
<i>Co-encadrant de thèse :</i>	David GENEST,	Maître de conférences à l'Université d'Angers



Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à Gaelle CALVARY, professeur à Grenoble INP-Ensimag et à Salem BENFERHAT, professeur à l'Université d'Artois, qui m'ont fait l'honneur d'être rapporteurs de cette thèse.

Ma gratitude s'adresse également à Suzanne PINSON professeur à l'Université Paris-Dauphine, qui a présidé le jury de thèse, et à Jin-Kao HAO, professeur à l'Université d'Angers, qui a bien voulu faire partie du jury.

Mes reconnaissances les plus intenses à Stéphane LOISEAU, professeur à l'université d'Angers et à David GENEST, maître de conférences à l'université d'Angers. Je leur suis particulièrement reconnaissant de leurs disponibilités et de leur aide dans l'élaboration de cette thèse.

Je remercie mes amis doctorants ou jeunes docteurs – Benoît DA MOTA, Daniel PORUMBEL, Stéphane NGOMA, Nadarajen VEERAPEN, Fabien CHHEL, Thomas RAIMBAULT, Amandine DUFFOUX, Vincent DERRIEN, Adrien GOËFFON, et ceux que j'ai forcément oublié de citer – pour les bons moments passés en leur compagnie.

Un souvenir particulier pour Julien ROBET qui nous a quitté.

Je remercie aussi les membres du LERIA et du département informatique d'Angers pour leur convivialité.

Je remercie toute ma famille pour son soutien.



# Sommaire

<b>Introduction générale</b>	<b>5</b>
<b>1 La cartographie sémantique</b>	<b>11</b>
1.1 Les cartes mentales et les cartes conceptuelles . . . . .	13
1.1.1 Les cartes mentales . . . . .	13
1.1.2 Les cartes conceptuelles . . . . .	14
1.2 Cartes cognitives : nature et construction . . . . .	17
1.2.1 Nature des concepts et des liens . . . . .	18
1.2.2 Méthodes de construction . . . . .	23
1.3 Les cartes cognitives classiques . . . . .	27
<b>2 Les cartes cognitives ontologiques</b>	<b>31</b>
2.1 Ontologie . . . . .	32
2.2 Le modèle . . . . .	34
2.3 L'influence propagée . . . . .	37
2.4 L'influence ontologique . . . . .	39
2.5 Paramétrage . . . . .	41
<b>3 Vue de cartes cognitives ontologiques</b>	<b>47</b>
3.1 Échelle . . . . .	48
3.2 Vue pour une échelle . . . . .	51
3.3 Vue pour un ensemble de concepts sélectionnés . . . . .	53
3.4 Vue pour un profil . . . . .	55
3.5 Vue de l'influence . . . . .	56
<b>4 Les cartes cognitives contextuelles</b>	<b>61</b>
4.1 Le modèle des cartes cognitives contextuelles . . . . .	62
4.2 Exploitation d'une carte cognitive contextuelle . . . . .	66

---

<b>5</b>	<b>Système</b>	<b>75</b>
5.1	Organisation des programmes SCCC et SCCO . . . . .	76
5.1.1	SCCC . . . . .	76
5.1.2	SCCO . . . . .	77
5.2	Algorithme de calcul de l'influence . . . . .	79
5.3	Stockage des cartes . . . . .	83
5.3.1	Cartes cognitives classiques . . . . .	83
5.3.2	Cartes cognitives de graphes conceptuels . . . . .	85
5.3.3	Cartes cognitives contextuelles . . . . .	88
5.3.4	Cartes cognitives ontologiques . . . . .	91
5.4	Cas d'utilisations . . . . .	94
5.4.1	Carte cognitive . . . . .	95
5.4.2	Carte cognitive contextuelle . . . . .	100
5.4.3	Carte cognitive de graphes conceptuels . . . . .	105
5.4.4	Carte cognitive ontologique . . . . .	106
	<b>Conclusion générale</b>	<b>111</b>
	<b>Annexe</b>	<b>113</b>
A	Les cartes cognitives floues . . . . .	114
B	Les cartes cognitives floues dynamiques . . . . .	118
	<b>Liste des figures</b>	<b>121</b>
	<b>Liste des tableaux</b>	<b>125</b>
	<b>Références bibliographiques</b>	<b>125</b>
	<b>Liste des publications personnelles</b>	<b>135</b>
	<b>Résumé</b>	<b>138</b>

# Introduction générale

## Problématique

L'Intelligence Artificielle (IA) est un domaine de recherche qui vise à doter la machine de capacités lui permettant d'effectuer des tâches ou des activités dites intelligentes. « Les recherches en IA tendent à rendre la machine capable d'acquérir de l'information, de raisonner sur une situation statique ou dynamique, de résoudre des problèmes combinatoires, de faire un diagnostic, de proposer une décision, un plan d'actions, d'expliquer et de communiquer les conclusions qu'elle obtient, de comprendre un texte ou un dialogue en langage naturel, de résumer, d'apprendre, de découvrir » [IRIT, 2001]. Des méthodes génériques ont été conçues pour rendre la machine capable de s'adapter à ces tâches. Ces méthodes trouvent leurs applications dans de nombreux domaines. Après la seconde guerre mondiale, Turing, considéré comme le père fondateur de l'informatique a fait l'hypothèse qu'« à la fin du siècle on pourra parler de machines pensantes sans craindre d'être contredit ». Le XX<sup>e</sup> siècle est passé et les machines sont encore loin de posséder les capacités de penser d'un être humain. La recherche en IA a souvent pris comme objectif de fournir une intelligence autonome qui serait le moteur des raisonnements et qui laisserait à l'humain la seule tâche d'accepter ou de vérifier les solutions. Au lieu de chercher à rendre la machine capable de faire des raisonnements autonomes, de nouveaux travaux adressent une problématique qui tend à rendre la machine capable d'aider l'humain à penser. Ceci ne signifie pas obligatoirement l'aider à résoudre directement le problème, mais proposer des solutions pour l'aider à comprendre et à s'interroger, à expliquer, à raisonner voire à décider. Le sujet de notre thèse se situe dans cette problématique.

Notre travail est à mi-chemin entre l'intelligence artificielle et l'interaction humain machine. Pour aider efficacement l'humain à penser et pour permettre à la machine d'effectuer des raisonnements, il faut un langage commun qui soit aisé à comprendre par l'humain et qui soit manipulable par la machine. Le modèle des graphes est une base très utilisée en informatique pour manipuler des informations. Ce modèle a aussi l'intérêt d'être directement représentable visuellement ce qui le

rend aisé à comprendre par l'humain. La citation « Une image vaut mille mots » est souvent utilisée pour justifier l'intérêt de ce modèle. Il est donc un bon candidat pour un tel langage commun. De nombreuses variantes du modèle des graphes portant de la connaissance ont été proposées dans la littérature. On peut citer le modèle des graphes conceptuels (*conceptual graphs*), des cartes mentales (*mind maps*), des cartes conceptuelles (*concept maps*) et des cartes cognitives (*cognitive maps*) ; ces trois types de cartes peuvent être regroupés sous l'expression de cartes sémantiques. Nous avons choisi dans cette thèse d'utiliser principalement le modèle des cartes cognitives et accessoirement le modèle des graphes conceptuels.

Une *carte cognitive* permet de représenter des systèmes complexes contenant un grand nombre de facteurs qui interagissent. Une carte cognitive est un graphe orienté étiqueté dont les sommets représentent des *concepts* (l'étiquette d'un sommet est le nom du concept) et dont les arcs représentent les *influences* entre ces concepts (l'étiquette d'un arc est une valeur qui qualifie l'effet de l'influence). Les cartes cognitives sont considérées comme des réseaux d'influence au même titre que les réseaux bayésiens [Kjaerulff et Madsen, 2008]. Les cartes cognitives ont de nombreuses applications dans des domaines de recherche variés. En psychologie, les cartes cognitives ont été, par exemple, utilisées afin de comprendre les mécanismes d'apprentissage [Tolman, 1948]. En écologie, elles servent, par exemple, à étudier des écosystèmes [Celik *et al.*, 2005]. En gestion, elles ont été utilisées, par exemple, afin d'améliorer les principes organisationnels [Cossette, 1989]. En politique, elles ont été utilisées, par exemple, pour comprendre et résoudre des conflits [Axelrod, 1976]. En informatique, elles ont été utilisées comme un outil de simulation [Kosko, 1986] ou dans des systèmes multi-agents [Chaib-draa, 2002]. Dans le cadre de ces études, les chercheurs utilisent les cartes cognitives pour appréhender le savoir de différents experts interrogés. Les cartes cognitives servent aussi à présenter de manière synthétique ce savoir. L'analyse des cartes aide à prendre des décisions. L'outil d'analyse le plus important dans le modèle des cartes cognitives est le mécanisme de raisonnement nommé *propagation*, il s'applique entre deux concepts de la carte qui ne sont pas nécessairement reliés de façon directe. La propagation calcule une influence dite « propagée ». L'influence propagée est calculée en fonction des chemins composés d'une suite d'influences qui relient ces deux concepts, ainsi qu'en fonction des valeurs associées aux influences de ces chemins. La propagation fournit ainsi une valeur qualifiant l'influence entre les deux concepts (figure 1). La propagation est l'unique mécanisme de raisonnement qui est proposé traditionnellement dans les modèles de cartes cognitives.

Notre thèse a pour objectif d'étendre le modèle des cartes cognitives et le mécanisme de raisonnement qui y est associé de sorte à répondre aux quatre critiques principales que l'on adresse aux cartes cognitives.



Figure 1 – Carte cognitive avec des valeurs d’influences « + » ou « - » : l’influence propagée, calculée de *fumer* à *essoufflement* est positive (de valeur « + »).

## Critiques et contributions

Premièrement, dans une carte cognitive, les concepts sont représentés à un niveau de connaissance figé par le concepteur de la carte. Lorsque le concepteur construit une carte, il n’est pas facile pour lui de trouver les concepts à mettre dans la carte. Lorsque l’utilisateur exploite une carte construite, lorsqu’il cherche un concept, il n’est pas facile pour lui de le trouver dans la carte. En effet, le concept qu’il cherche peut ne pas figurer dans la carte, bien que la carte contienne des informations pertinentes : d’une part, la carte peut contenir uniquement des sous concepts du concept cherché, par exemple si l’utilisateur cherche le concept de *véhicule*, ce concept peut être absent de la carte bien que les concepts de *voiture*, *camion* et *moto* soient présents ; d’autre part, un concept qui généralise le concept recherché peut être dans la carte, par exemple si l’utilisateur cherche le concept de *voiture*, ce concept peut être absent de la carte mais le concept de *véhicule* présent. Notre contribution va consister à associer à une carte une *ontologie* qui organise de façon hiérarchique les concepts. L’ontologie, utilisée comme un dictionnaire des données hiérarchiques, aide le concepteur à construire la carte et aide l’utilisateur dans la recherche des concepts de la carte qui l’intéressent. Deux travaux [Poignonec, 2006] [Jung *et al.*, 2003] avaient déjà proposé d’associer une ontologie à une carte cognitive ; le premier dans le but de fusionner deux cartes cognitives, le second dans le but de comparer des cartes cognitives en montrant leurs principales différences. Aucun travail n’a proposé d’exploiter l’ontologie comme un outil d’aide à la construction ou d’aide à l’exploitation d’une carte cognitive.

Deuxièmement, une carte cognitive contient souvent un grand nombre de concepts et d’influences, ce qui la rend complexe à appréhender pour l’humain. Cette difficulté de compréhension affaiblit la capacité de l’utilisateur à réfléchir sur le domaine représenté par la carte. Comme cette complexité est nécessaire pour exprimer les connaissances, notre contribution va consister à distinguer la carte initiale, complète et complexe, de cartes plus simples que pourra exploiter l’utilisateur. Nous allons ainsi fournir des mécanismes à l’utilisateur qui lui permettent de visualiser, à la demande, des *vues* simplifiées de la carte initiale. À notre connaissance, aucun travail n’a proposé une telle approche des cartes cognitives.

Troisièmement, à une carte géographique est généralement associée une échelle qui permet d’évaluer le niveau de détail des informations représentées. Cette idée d’échelle n’existe pas dans le modèle des cartes cognitives. Notre contribution va

être de proposer une notion d'*échelle symbolique* de sorte à sélectionner le niveau de détail de la carte que l'on veut voir. Pour cela, nous proposons d'utiliser l'ontologie associée à la carte comme une échelle dans laquelle on sélectionne des concepts, plus ou moins généraux que l'on souhaite voir apparaître dans une vue.

Quatrièmement, une carte cognitive est conçue pour être utilisée par différentes personnes. Il serait intéressant de pouvoir adapter la carte à l'utilisateur. Notre contribution va consister à proposer des mécanismes qui fournissent à l'utilisateur une carte adaptée à ses savoirs. D'une part, nous allons ainsi proposer de fournir, par le biais d'une échelle un *profil* de l'utilisateur. Lors d'une session, l'adaptation de la carte à l'utilisateur se fera ainsi via une vue construite à partir de cette échelle. D'autre part, nous proposons d'utiliser des graphes conceptuels pour décrire l'utilité de chaque influence dans une carte cognitive. Une carte cognitive incluant cette possibilité s'appellera une carte cognitive contextuelle. On pourra utiliser un graphe conceptuel décrivant les utilisations attendues par l'utilisateur, pour sélectionner dans la carte les seules influences qui l'intéressent.

## Mise en œuvre des contributions

Nous appelons le modèle des *cartes cognitives classiques*, le noyau commun de la plupart des variantes des modèles des cartes cognitives de la littérature : des concepts, des influences entre concepts, des valeurs qualifiant l'effet des influences, un mécanisme de calcul de propagation de l'influence entre toute paire de concepts. Notre travail a donné lieu à la proposition de deux systèmes fondés sur des extensions du modèle des cartes cognitives classiques.

Le premier système s'appelle SCCO (Système de Cartes Cognitives Ontologiques). Une carte *cognitive ontologique* est définie en associant une ontologie à une carte cognitive. Une ontologie est un ensemble de concepts partiellement ordonné par une relation de spécialisation. Les concepts les plus spécialisés d'une ontologie sont dits des *concepts élémentaires*. Les concepts figurant dans la carte cognitive sont exactement les concepts élémentaires de l'ontologie.

En plus du mécanisme de propagation du modèle des cartes cognitives classiques, est proposé un mécanisme de calcul de l'*influence ontologique* qui calcule une valeur d'influence entre n'importe quelle paire de concepts de l'ontologie. Ce calcul utilise l'agrégation des résultats de la propagation des influences entre toutes les paires de concepts élémentaires spécialisant chacun l'un des deux concepts de l'ontologie sur lequel le calcul s'applique.

Une vue d'une carte cognitive ontologique va être une carte cognitive construite non pas sur les seuls concepts élémentaires de la carte, mais essentiellement sur des concepts sélectionnés par l'utilisateur dans l'ontologie. Lorsqu'un concept figure

dans une vue, tous les concepts plus spécialisés que celui-ci, donc en particulier les concepts élémentaires plus spécialisés, n'y figurent pas. Une vue est donc une généralisation d'une carte cognitive ontologique ; elle a la plupart du temps moins de concepts que la carte cognitive ontologique initiale. Les concepts sélectionnés par l'utilisateur apparaissent dans la vue. Il faut noter que l'influence ontologique va être utilisée pour calculer une vue, en fournissant les influences et leurs valeurs entre les concepts de la vue.

Une échelle ontologique est un ensemble de concepts de l'ontologie. À partir d'une échelle, une vue peut être générée qui contient exactement les concepts de l'échelle. Un ensemble de concepts n'est pas forcément une échelle : des propriétés caractérisent les sous ensembles d'une ontologie qui sont des échelles. L'échelle s'avère la clef pour fournir des vues. À partir de concepts sélectionnés par un utilisateur, une échelle est associée à cet utilisateur et permet d'obtenir la vue adaptée. De même, de nombreux autres usages de la notion d'échelle et de vue sont proposés dans cette thèse : la vue pour un profil d'utilisateur qui permet de fournir pour tout utilisateur une vue qui lui est adaptée par défaut, la vue d'une influence propagée etc.

Le second système s'appelle SCCC (Système de Cartes Cognitives Contextuelles). Une carte cognitive contextuelle est une carte cognitive classique étendue par des graphes conceptuels. Un graphe conceptuel est utilisé pour décrire le contexte dans lequel une influence fait sens. À partir d'un contexte d'utilisation défini par un utilisateur sous la forme d'un graphe conceptuel, une carte cognitive est calculée de sorte à ne contenir que les influences dont le contexte correspond au contexte d'utilisation.

## Annnonce du plan

Cette thèse est composée de cinq chapitres.

Le chapitre 1 est un court état de l'art de la cartographie sémantique. Ce chapitre présente d'abord les modèles de carte mentale et de carte conceptuelle. Il s'intéresse ensuite au modèle des cartes cognitives en discutant de la nature et des liens de telles cartes et en proposant de définir un modèle de cartes cognitives classique utilisant uniquement des influences positive (+) et négative (-).

Les chapitres 2, 3 et 4 forment le cœur de notre thèse et présentent l'ensemble de nos contributions.

Les chapitres 2 et 3 peuvent être lus ensemble. Le chapitre 4 peut être lu indépendamment des autres.

Les chapitres 2 et 3 présentent le modèle des cartes cognitives ontologiques et son exploitation par l'usage de vue et d'échelle. Ce modèle a été opérationnalisé dans SCCO. Le chapitre 2 présente le modèle des cartes cognitives ontologiques : définition

d'une ontologie, du modèle de carte cognitive ontologique, des influences propagées et ontologiques. Nous y montrons aussi comment notre modèle peut s'adapter à la plupart des ensembles de valeurs qualifiant les influences.

Le chapitre 3 présente les notions d'échelle et de vues, notamment la vue déterminée par des concepts sélectionnés dans l'ontologie, la vue pour un profil d'utilisateur, la vue d'une influence propagée.

Le chapitre 4 présente notre modèle de cartes cognitives contextuelles. Ce modèle a été opérationnalisé dans SCCC. Ce chapitre présente une définition des modèles de cartes cognitives contextuelles et rappelle le modèle des graphes conceptuels.

Le chapitre 5 présente les prototypes qui mettent en œuvre les différents modèles étudiés : SCCO et SCCC.

Notre conclusion résume nos contributions et discute des perspectives de notre travail.

# Chapitre 1

## La cartographie sémantique

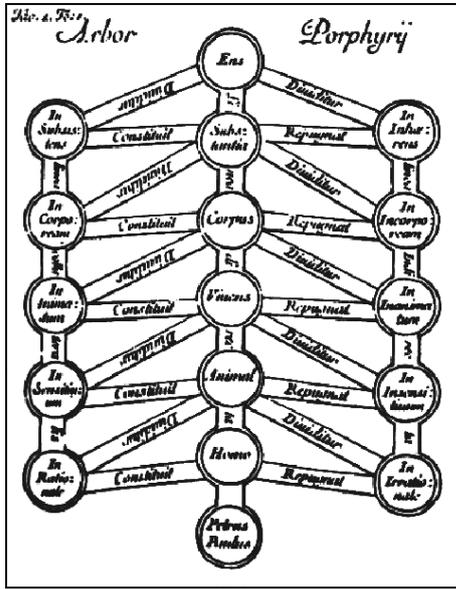
### Introduction

Depuis toujours, l'homme utilise des représentations graphiques afin de communiquer des connaissances aussi bien abstraites que concrètes. Dans l'antiquité, Porphyre de Tyr (234-305, Liban) a écrit une préface aux *Catégories* d'Aristote dans laquelle il vulgarise la pensée d'Aristote à l'aide d'une sorte d'arbre. Cette représentation graphique, illustrée par la figure 1.1 que nous commentons par ce qui suit, est construite sur trois colonnes et contient une succession de genres ou d'espèces, par exemple *Animal rationnel*. Le nœud le plus bas de la colonne centrale représente l'espèce dite spécialissime. Cette espèce est celle que l'auteur souhaite catégoriser, par exemple l'*Homme*. Le nœud le plus haut de la colonne centrale représente le genre suprême qui est indivisible, par exemple la *Substance*. Les colonnes de chaque côté de la colonne centrale contiennent des nœuds représentant des différences, par exemple le *Rationnel* est opposé à l'*Irrationnel*. Les différences sont reliées aux espèces et genres de la colonne centrale afin de les décrire, par exemple l'*Homme* est un *Animal rationnel* qui est *Mortel* et non *Immortel*. La dichotomie successive des genres, effectuée à l'aide des différences jusqu'à atteindre le genre suprême, décrit comment l'espèce spécialissime est catégorisée.

Au moyen âge, un philosophe et apologiste chrétien du nom de Raymond Lulle a développé une représentation graphique arborescente qui s'affranchit de la démarche logique de catégorisation d'Aristote. « *L'Arbre des sciences*<sup>1</sup> (figure 1.2) visualise les principes organisateurs de la pensée de Lulle, dont l'exposé a été initialement rédigé en 1295 : les dix-huit racines de l'arbre sont d'une part les neuf principes divins ou principes absolus qui structurent le réel (bonté, grandeur, éternité, puissance,

---

1. « L'arbre des sciences de Raymond Lulle ». Tous les savoirs du monde : Encyclopédies et bibliothèques, de Sumer au XXIe siècle. Paris : Bibliothèque Nationale de France (Dossiers pédagogiques). <http://classes.bnf.fr/dossism/gc185-23.htm>



(a)

Différences	Espèces/Genres	Différences
	Substance	
Corporel	Corps	Incorporel
Animé	Être vivant	Inanimé
Sensible	Animal	Insensible
Rationnel	Animal rationnel	Irrationnel
Mortel	Homme	Immortel
	(b)	

Figure 1.1 – Arbre de Porphyre.

sagesse, volonté, vertu, vérité, gloire) et d'autre part les neuf principes logiques ou principes relatifs qui structurent la connaissance (différence, concordance et contrariété; commencement, milieu et fin; supériorité, égalité et infériorité) ».

Bien évidemment, de nombreux autres travaux ayant pour objet de représenter, catégoriser, organiser des connaissances ont été proposés au XX<sup>e</sup> siècle. Parmi ceux-ci, depuis les années 60, on retrouve les différents travaux issus originellement de la psychologie, qui proposent de représenter graphiquement les connaissances. On peut les regrouper sous le terme de *cartes sémantiques* car ils se réfèrent tous à l'idée de carte dans leur titre : *cartes mentales*, *cartes conceptuelles*, *cartes cognitives*. On peut distinguer d'un côté les cartes mentales et les cartes conceptuelles qui ont pour unique objectif de représenter des connaissances, des cartes cognitives qui ont aussi pour but d'*inférer* des résultats. Ceci explique l'intérêt que nous avons porté aux cartes cognitives dans cette thèse.

De nombreux travaux sur les cartes cognitives ont été effectués en psychologie, en sciences de l'organisation, en informatique. Les sujets étudiés, les sources d'informations et les objectifs de ces travaux varient. De nombreuses discussions ont eu lieu sur la *nature* des concepts et des liens, et différentes approches décrivent comment *construire* de telles cartes. Une formalisation assez simple des cartes cognitives est possible. Ces cartes cognitives que nous appelons cartes cognitives classiques sont la base de nombreux travaux. Depuis une trentaine d'années, plusieurs autres modèles s'inspirant des travaux d'IA sur les logiques floues, ont proposé d'étendre les cartes

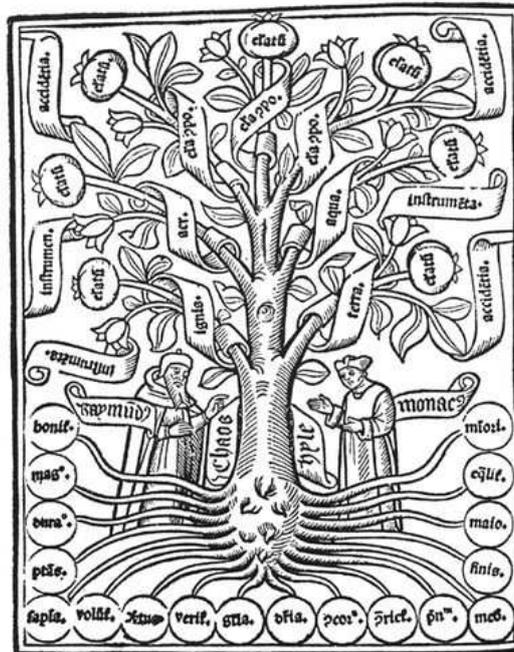


Figure 1.2 – L’arbre des sciences, Raymond Lulle. Copie de l’ouvrage de 1515 à Lyon par J. Pillehotte en 1635.

cognitives classiques de sorte qu’elles intègrent des concepts flous : il s’agit des *cartes cognitives floues*.

Dans la section 1.1 nous présentons les cartes mentales et les cartes conceptuelles. Dans la section 1.2 nous discutons de la nature des concepts et des liens présents dans une carte cognitive et comment une telle carte peut être construite. Dans la section 1.3 nous présentons le modèle de cartes cognitives classiques. Une étude incomplète des cartes cognitives floues est présente en annexe.

## 1.1 Les cartes mentales et les cartes conceptuelles

### 1.1.1 Les cartes mentales

Une *carte mentale*<sup>2</sup> est une représentation graphique qui représente des idées connectées à une idée centrale et organisées de manière radiale autour de celle-ci.

---

2. Synonyme : carte heuristique, schéma heuristique, arbre à idée, topogramme. En anglais : Mind maps, Webs, Mind webs, Webbing.

La carte mentale de la figure 1.3<sup>3</sup> illustre le thème des cartes mentales.

Une carte mentale aide à la compréhension individuelle ou collective d'un sujet donné. Une carte mentale a des applications dans une situation éducative ou de business. Une carte mentale peut être utilisée par un individu comme un outil de prise de note et favorise ainsi la mémorisation. Une carte mentale peut être utilisée dans un groupe comme un outil de brainstorming et sa souplesse de construction favorise la prise de parole spontanée et la confrontation d'idées. Dans les années 70, le psychologue anglais Tony Buzan a utilisé les cartes mentales sans les nommer comme telles dans des cours diffusés sur la chaîne BBC. Selon Buzan[Buzan et Buzan, 2003], « une carte mentale est une manifestation de la pensée irradiante et par conséquent une fonction naturelle de l'esprit. C'est une technique graphique efficace qui fournit un moyen universel de libérer le potentiel du cerveau. »

Une carte mentale peut être dessinée par un individu sur une simple feuille de papier avec des feutres, ou des crayons de couleurs. Dans le cas d'une construction collective, une carte peut être dessinée sur un tableau noir. Une carte mentale peut aussi être dessinée à l'aide d'un logiciel destiné à cet effet. Une carte mentale manuscrite est construite en décrivant d'abord une idée au centre de la page. Des idées secondaires sont ensuite ajoutées autour de l'idée centrale et reliées à celle-ci. Des idées tertiaires sont connectées aux idées secondaires et ainsi de suite. La structure radiale et arborescente d'une carte mentale exprime implicitement un ordre de priorité entre les idées par rapport à l'idée centrale. Plusieurs techniques facilitent la construction et l'exploitation d'une carte. Buzan déconseille l'utilisation de plusieurs mots pour exprimer une idée car selon lui le cerveau a plus de difficultés à trouver des idées associées simultanément à plusieurs mots que pour un seul. En revanche l'utilisation d'images augmente le pouvoir d'expression de la carte et facilite la mémorisation des idées. Utiliser les mots "Qui ? ", "Quoi ? ", "Quand ? ", "Ou ? ", "Comment ? ", "Pourquoi ? " comme idées de départ peut aider à la construction de la carte mentale. Buzan conseille aussi l'utilisation de lignes courbes pour connecter les idées car elles paraissent plus naturelles que des lignes droites et rigides. Les branches sont plus faciles à différencier si elles sont colorées différemment et si elles sont tracées avec plus d'épaisseur au centre qu'à l'extérieur. Plusieurs idées d'une branche peuvent être regroupées en les entourant.

### 1.1.2 Les cartes conceptuelles

Une *carte conceptuelle*<sup>4</sup> une représentation d'un ensemble de concepts reliés sémantiquement entre eux. Une carte conceptuelle a pour objectif d'organiser le savoir

---

3. traduction d'une carte mentale présente sur le site [http://www.12manage.com/methods\\_mind\\_mapping.html](http://www.12manage.com/methods_mind_mapping.html)

4. Synonymes : Schéma conceptuel. En anglais : Concept map

## 1.1 Les cartes mentales et les cartes conceptuelles

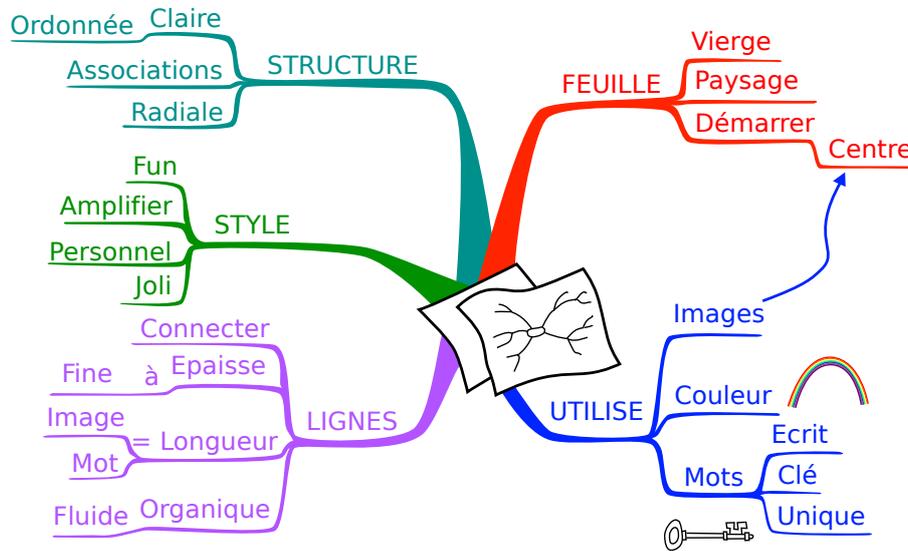


Figure 1.3 – Carte mentale sur le thème des cartes mentales.

d'un domaine. Une carte conceptuelle aide à structurer la pensée et facilite l'apprentissage du savoir scientifique. La carte conceptuelle de la figure 1.4 illustre le domaine des cartes conceptuelles (cette figure est une traduction d'une carte conceptuelle présente dans [Novak et Cañas, 2006]).

Le concept dit “frame” est placé en haut de la page et délimite le sujet de la carte. Les concepts sont connectés par des flèches étiquetées sous la forme d'une hiérarchie dirigée vers le bas de la page. Les concepts sont généralement encadrés par des rectangles et le lien de relation est représenté par une flèche entre deux concepts. La sémantique d'une relation entre deux concepts s'appuie sur le terme associé au lien. Le lien de relation peut être lu comme une phrase.

Les cartes conceptuelles ont été initialement développées par Novak [Novak et Gowin, 1984] au cours de ses recherches menées en 1972 à l'université de Cornell. Ces recherches portaient sur l'étude de l'évolution du savoir scientifique des enfants. Au cours de cette étude, les chercheurs ont transcrit plusieurs interviews d'enfants et il leur a été difficile d'identifier les changements importants de leur compréhension des concepts scientifiques. Cette étude faisait l'hypothèse que l'apprentissage fonctionne grâce à l'assimilation de nouveaux concepts et propositions au sein de la structure cognitive de l'apprenant. Les cartes conceptuelles sont nées de la nécessité de trouver une meilleure façon de représenter la compréhension des concepts par les enfants.

La méthodologie de construction d'une bonne carte conceptuelle est présentée en détail dans [Novak et Cañas, 2006]. Lorsqu'une personne souhaite apprendre à concevoir une carte conceptuelle, elle doit commencer par une carte représentant un domaine pour lequel il est familier. La structure d'une carte conceptuelle est



révisions.

## 1.2 Cartes cognitives : nature et construction

Le terme « carte cognitive » est employé pour la première fois par Tolman [Tolman, 1948] dans le cadre de recherches sur la psychologie animale. L'objectif de Tolman était de comprendre les mécanismes d'apprentissage. Tolman a mis en évidence que des rats placés en situation d'apprentissage dans un labyrinthe construisent une représentation mentale de celui-ci<sup>5</sup>. Tolman emploie ainsi le terme « carte cognitive » pour désigner une représentation de l'espace stockée dans le cerveau. Il met en évidence que cette carte détermine le comportement de l'animal<sup>6</sup>. Tolman n'a pas fourni de représentation concrète d'une carte cognitive, cependant il soutenait l'idée que le cerveau humain contient des cartes dédiées à d'autres tâches que le repérage dans l'espace et que ces cartes déterminent notre comportement.

La première formalisation des cartes cognitives est introduite par Axelrod [Axelrod, 1976], un chercheur en science politique. Axelrod étudie la compréhension d'un individu à propos d'un domaine particulier ou d'un problème. Pour cela, il met au point une représentation graphique qu'il nomme « carte cognitive » permettant d'exprimer les croyances de l'individu<sup>7</sup>. Les cartes cognitives d'Axelrod ne se limitent pas à un environnement spatial mais à des croyances sur des phénomènes du monde réel. À l'origine le terme « carte cognitive » désignait indistinctement le contenu de la pensée et la représentation graphique issue de celle-ci. Cette ambiguïté a été levée [Doyle et Ford, 1999] et une carte cognitive est aujourd'hui considérée par la plupart des chercheurs comme une représentation graphique qui n'a pas la prétention de représenter la pensée. La carte cognitive décrivant un problème aide à prévoir le comportement de l'individu qui l'a construite s'il était confronté à ce problème. Axelrod propose un mécanisme d'inférence qui permet d'évaluer l'influence entre deux concepts d'une carte. Ce mécanisme aide à évaluer différentes alternatives, à découvrir des effets non prévus et à concevoir des scénarios permettant de résoudre le problème. Les cartes cognitives peuvent donc être utilisées comme un outil d'aide à la prise de décision.

---

5. « *we believe that in the course of learning something like a field map [ is ] established in that rat's brain* » [Tolman, 1948]

6. « *they had acquired a cognitive map to the effect that food was to the left and water to the right* » « *it is the tentative map, indicating routes and paths and environmental relationships, which finally determines what responses, if any, the animal will finally release.* » [Tolman, 1948]

7. « *A cognitive map is a specific way of representing a person's assertions about some limited domain, such as a policy problem* » [Axelrod, 1976]

Des chercheurs en sciences de l'organisation ont développé diverses méthodologies de construction et d'analyse de cartes cognitives ([Huff, 1990], [Eden *et al.*, 1983], [Cossette, 1989] etc.). Les chercheurs ont élaboré des méthodes permettant de construire des cartes cognitives dites collectives qui ne représentent plus les croyances d'un seul individu, mais d'un système social complet [Bougon *et al.*, 1977][Eden, 1993]. De telles cartes permettent d'expliquer des phénomènes liés à des comportements de groupe comme par exemple une crise économique. En plus d'un outil de collecte des croyances, les cartes cognitives sont devenues un outil pédagogique qui aide à orienter la pensée afin de découvrir les subtilités d'un problème. En effet, pour Eden [Eden *et al.*, 1983] une carte cognitive n'est pas une carte de la cognition, mais « une carte aidant la cognition ». En parallèle, Kosko [Kosko, 1986] propose une nouvelle formalisation des cartes cognitives d'Axelrod basées sur la théorie des ensembles flous. Cette formalisation appelée carte cognitive floue facilite l'acquisition des connaissances et améliore les mécanismes d'inférence mis au point par Axelrod. Les cartes cognitives floues deviennent alors un outil suffisamment puissant permettant d'analyser des phénomènes complexes tels que les facteurs influençant les capacités physiologiques de patients diabétiques [Taber, 1991], l'analyse de circuits électriques [Styblinski et Meyer, 1988], les facteurs influençant la viscosité de fluides [Banini et Bearman, 1998]. Les mécanismes d'inférences sont repensés afin de voir l'évolution au cours du temps de valeurs associées aux concepts de la carte. Les cartes cognitives floues deviennent un outil de simulation. [Miao *et al.*, 1999][Park et Kim, 1995][Carvalho et Tomé, 1999] et proposent ainsi des cartes cognitives floues dynamiques. Par la suite les mécanismes d'inférences ont été affinés afin d'utiliser des cartes cognitives pour piloter des agents d'un monde virtuel [Dickerson et Kosko, 1994][Chaib-draa, 2002][Avila, 2002][Truck, 2002].

La figure 1.5 présente de manière schématique l'évolution des travaux sur les cartes cognitives.

Nous proposons en 1.2.1 de discuter des notions de concepts et de liens. Nous présenterons ensuite en 1.2.2 des principes de construction de telles cartes.

### 1.2.1 Nature des concepts et des liens

Il existe une grande diversité de modèles de cartes cognitives faisant appel à des concepts et des liens de natures différentes. Ces modèles ont néanmoins pour point commun de s'appuyer sur la théorie des graphes pour formaliser les croyances des individus. Une carte cognitive est composée de deux sortes d'éléments : des concepts et des liens directionnels entre ces concepts, ce qui est formalisé par un graphe contenant des sommets étiquetés et des arcs étiquetés entre les sommets.

Les concepts sont les éléments de base de la structure d'une carte cognitive. Un concept est formalisé dans le graphe par un sommet étiqueté par un mot ou une

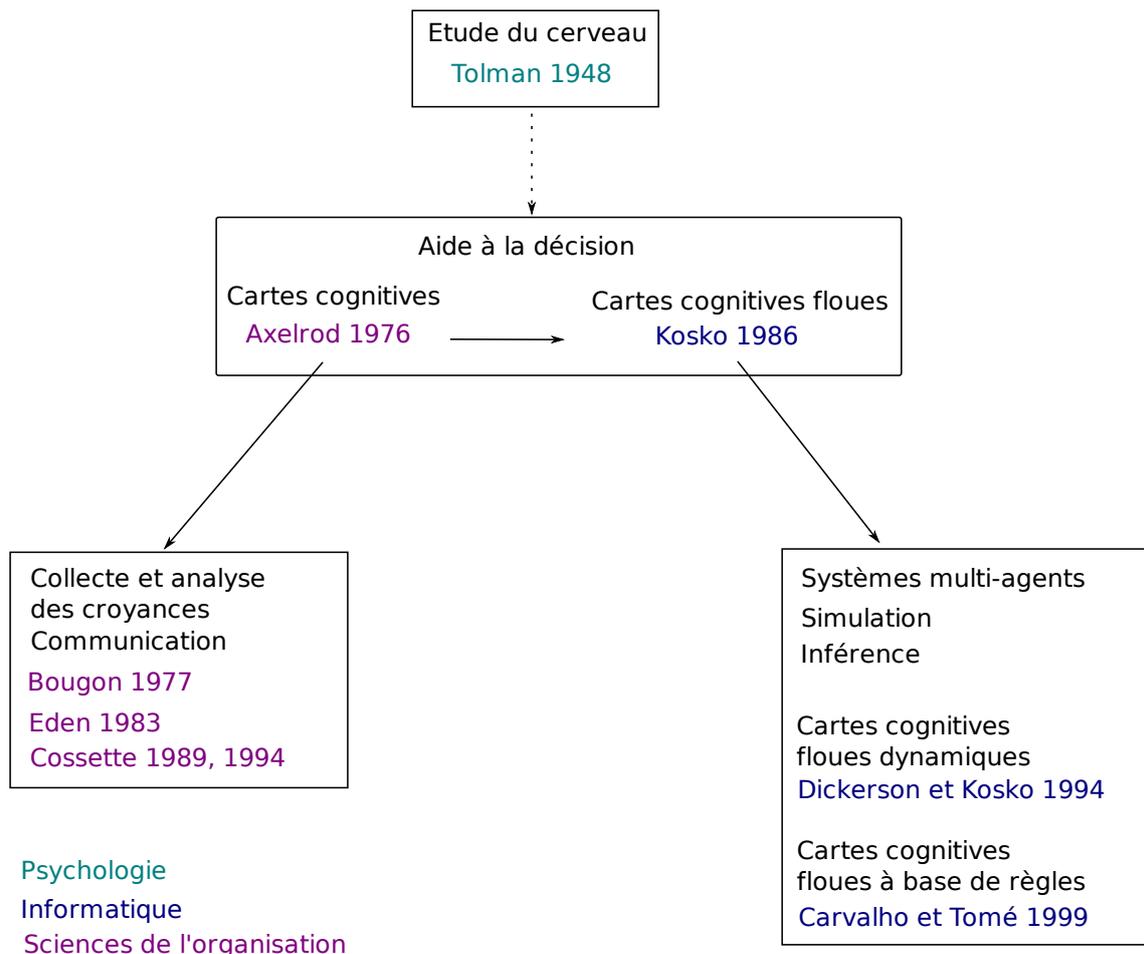


Figure 1.5 – Évolution des travaux sur les cartes cognitives.

phrase décrivant ce concept. L'étiquette d'un sommet peut être interprétée de plusieurs manières, elle peut aussi bien représenter la présence du concept que le niveau de celui-ci. Par exemple, le sommet étiqueté *bénéfice* pourra selon les cas être interprété comme la présence de bénéfice ou comme une quantité de bénéfice. Des liens seront établis entre les concepts, c'est en fonction de ces liens que l'interprétation la plus adaptée pourra être choisie. Cette souplesse dans les interprétations explique pourquoi les chercheurs emploient selon les études des termes différents tels que *variable*, *événement*, *état* au lieu de concept. Il est à noter qu'une carte ne peut contenir deux sommets portant la même étiquette. Une étiquette décrit un concept mais aussi implicitement son contraire. Ce contraire implicite apparaît dans le cas où des concepts sont reliés par un lien de polarité négative.

L'objectif d'une carte cognitive est de représenter des croyances sur la manière dont les concepts s'influencent. Les liens entre concepts sont donc importants car ils définissent la structure de la carte. Axelrod [Axelrod, 1976] définit les liens d'une carte cognitive comme des relations d'influences. Cette notion d'influence est imprécise, certains travaux préfèrent définir les liens comme des relations de causalité [Hume, 1739]. *fumer cause le cancer du poumon* est un exemple de lien de causalité entre le concept *fumer* et le concept *cancer du poumon*. Les cartes cognitives contenant des liens de causalité sont appelées des cartes causales [Bougon *et al.*, 1977].

On peut noter qu'une relation de causalité n'est pas équivalente à une implication logique [Kosko, 1986] car la contraposée n'est pas vérifiée. Par exemple, *ne pas avoir de cancer du poumon cause que l'on ne fume pas* n'est pas vrai, en revanche, *ne pas fumer tend à causer de ne pas avoir de cancer du poumon*.

Cossette considère qu'un lien de causalité est un cas particulier de lien d'influence qui devrait exprimer une relation mécanique, par exemple *le rendement entraine la croissance* [Allard-Poesi, 1996]. Cossette remarque qu'il existe des liens d'influence différents des liens de causalité qui expriment des relations de moyen à fin, par exemple *le rendement permet la croissance* [Allard-Poesi, 1996]. Une relation de moyen à fin exprime une intention du constructeur. Cossette montre que les méthodes de construction de cartes cognitives ne permettent pas de distinguer ces deux types de liens et suggère qu'il faudrait développer d'autres méthodologies pour faire cette distinction. Cossette préfère donc employer le terme de carte d'influence. Une carte d'influence représente de la manière des croyances sur des phénomènes du monde réel que des croyances vis à vis des actions que l'individu pourrait effectuer sur ces phénomènes. Par exemple, *la baisse des prix augmente le volume de mes ventes* sera représenté de la même manière que *je baisse mes prix pour augmenter mon volume de vente*, c'est à dire par un lien d'influence entre *prix* et *volume de vente*.

Un lien peut être caractérisé, selon les travaux, par un ensemble de caractéristiques. Nous avons recensé les attributs suivants : la direction, la polarité, la force,

la probabilité, le temps de latence et la certitude. Les modèles de cartes cognitives n'exploitent pas l'ensemble de ces attributs mais seulement une partie adaptée au domaine d'application de ces modèles. Dans ce qui suit nous présenterons ces caractéristiques en les illustrant.

### ■ La direction

Une carte cognitive contient en général des liens unidirectionnels entre concepts. Dans une carte cognitive, un lien unidirectionnel est dirigé du concept-cause vers le concept-effet.

#### Exemple 1.1

Par exemple, un lien dirigé du concept *pêche* vers le concept *poisson* signifie que la *pêche* a une influence sur les *poissons* (voir figure 1.6).



Figure 1.6 – Direction d'une influence.

Un lien bidirectionnel est parfois utilisé afin de symboliser une influence mutuelle de deux concepts. Un tel lien est équivalent à deux liens unidirectionnels et est représenté graphiquement par un trait fléché aux deux extrémités. Des liens adirectionnels ne sont généralement pas employés, ils peuvent toutefois représenter des liens de similarité entre deux concepts. Un lien adirectionnel est représenté par un trait simple.

### ■ La polarité

La plupart des modèles de cartes cognitives associent une polarité aux liens. Un lien est soit positif soit négatif. La polarité d'un lien peut être déterminée en (se) posant la question suivante : *La cause a-t-elle un effet positif ou négatif sur l'effet ?*

#### Exemple 1.2

Par exemple, un lien négatif entre le concept *pêche* et le concept *poisson* est interprété comme le fait que *la pêche influence négativement les poissons* (voir figure 1.7). En considérant les concepts *pêche* et *poisson* comme des variables, *augmenter la pêche diminue la quantité de poisson*. La plupart des modèles considèrent aussi que *diminuer la pêche augmente la quantité de poisson* et tirent profit de cette symétrie dans leurs mécanismes d'exploitations.



Figure 1.7 – Polarité d'une influence.

La représentation graphique de la polarité varie selon les études. Un lien positif est représenté par une flèche simple, parfois étiquetée par un symbole +. Selon les études, un lien négatif est représenté par une flèche étiquetée par un symbole -, par une flèche en pointillé ou par une flèche dont l'extrémité est différente pour la différencier des liens positifs.

### ■ La force

La force d'un lien entre deux concepts décrit dans quelle proportion évolue le concept-effet par rapport au concept-cause. La force d'un lien peut être déterminée en (se) posant la question suivante : *Dans quelle mesure la cause provoque une augmentation de l'effet ?* La force est représentée par un élément appartenant à un ensemble ordonné. Par exemple, certains modèles de carte cognitive représentent la force par un réel compris entre 0 et 1, d'autres par un entier entre 1 et 5, ou encore une valeur symbolique de l'ensemble { *faiblement, moyennement, beaucoup, énormément* }.

#### Exemple 1.3

Par exemple, un lien de force *beaucoup* entre le concept *pêche* et le concept *poisson* peut être interprété comme *augmenter la pêche diminue beaucoup la quantité de poisson* (voir figure 1.8).

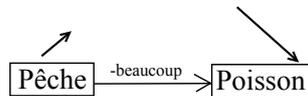


Figure 1.8 – Force d'une influence.

### ■ La probabilité

Certains modèles caractérisent un lien par une valeur de probabilité. La valeur de probabilité d'un lien peut être déterminée en (se) posant la question suivante : *Quelle est la probabilité que l'effet se produise si la cause se produit ?*

#### Exemple 1.4

Par exemple une influence négative de probabilité de 0.66 entre le concept *pêche* et le concept *poisson* signifierait que deux fois sur trois, la pêche diminue la quantité de poisson (voir figure 1.9).

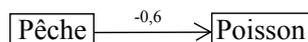


Figure 1.9 – Probabilité d'une influence.

Un humain peut confondre la valeur de probabilité avec la valeur de force [Hume, 1739]. On peut noter l'étude de Gopnik et Glymour [Gopnik *et al.*, 2004] qui fait le rapprochement entre les cartes cognitives et les réseaux bayésiens qui sont dans la littérature tout deux considérés comme des réseaux d'influence.

### ■ Le temps de latence

Le temps de latence d'un lien peut être déterminé en (se) posant la question suivante : *Quelle est la durée nécessaire pour que l'effet se produise une fois que la cause s'est produite ?*

Cette valeur est particulièrement intéressante si la carte est utilisée pour effectuer une simulation, cependant cette valeur est difficile à déterminer. « Par exemple, certaines personnes interrogées ont estimé que l'impact d'un dépotoir sur la pollution chimique des rivières situées à proximité ne pouvait avoir lieu qu'en période de pluie. Ceci illustre une limite de cette approche temporelle au niveau de la cartographie cognitive » [Poignonec, 2006].

Cette valeur peut être mesurée en demandant une durée en minute, heure, etc. ou en utilisant une échelle symbolique *immédiatement*, *à court terme*, *à moyen terme*, *à long terme*, *à très long terme*.

### ■ La certitude

Une valeur de certitude peut être associée à un lien ou à une des caractéristiques précédentes. Cette valeur peut être utile lorsque plusieurs cartes sont fusionnées car elle permet de faire un choix entre deux liens contradictoires.

## 1.2.2 Méthodes de construction

Une carte cognitive doit être la plus proche possible de la perception du ou des individus vis à vis du domaine étudié. Pour atteindre cet objectif, des méthodologies de construction adaptées à différentes situations d'acquisition ont été élaborées.

Nous avons recensé les situations d'acquisition suivantes :

- Le chercheur construit lui-même la carte à l'aide de documents.
- Le chercheur construit lui-même la carte en questionnant un individu au cours d'entretiens.
- Le chercheur demande à un individu de construire une carte au cours d'entretiens.
- Le chercheur demande à plusieurs individus, au cours d'entretiens individuels, de construire chacun une carte portant sur le même thème. Le chercheur effectue ensuite une analyse des cartes afin d'éventuellement fusionner les cartes obtenues en une seule.

### ■ Construction par le chercheur à l'aide de documents

Afin de construire une carte, le chercheur peut s'appuyer sur des retranscriptions d'entretiens, de réunions [Axelrod, 1976], des rapports d'activités, des plans stratégiques [Elhinger, 1995] [Fahey et Narayanan, 1989] [Huff, 1990]. Une méthodologie générale consiste à parcourir le document et recenser les liens d'influence sous la forme de triplets cause/liens/effet. Les triplets similaires font l'objet d'opérations de fusion. Les concepts représentant des causes ou des effets similaires sont aussi fusionnés. L'ensemble des concepts et des liens obtenus sont enfin représentés sous forme graphique. Nous avons suivi cette méthodologie générale et nous avons établi une carte cognitive (figure 1.10) à partir d'une interview de Mme Lagarde parue dans le journal « Le Monde ». Des méthodologies de construction plus précises ont été développées. Par exemple, Eden[Eden, 1993] s'appuie sur la théorie des construits personnels de Kelly[Kelly, 1955] pour concevoir sa méthodologie. Cette théorie suggère que l'individu analyse son environnement dans l'objectif de prédire comment celui-ci évoluera et de décider comment il pourra intervenir pour l'orienter dans la direction qu'il préfère. Eden propose de découper d'abord le document en plusieurs concepts représentés par des phrases d'une dizaine de mots qui gardent le vocabulaire d'origine. Ces concepts sont connectés pour représenter le document sous une forme graphique. Cette forme permet de révéler une structure dans le problème décrit par le document, une structure qui n'est pas facile à percevoir sous la forme d'un texte linéaire. Deux phrases peuvent être traitées comme un seul concept si la signification de l'une contraste avec celle de l'autre, c'est à dire lorsque le contraste permet de mieux comprendre le sens du concept. Les différents concepts sont connectés les uns aux autres par des liens d'influences de manière à former une carte cognitive dont la structure est une hiérarchie de moyens et de fins. Les concepts étant décrits avec des phrases sous forme déclarative, par exemple *Service centralisé plutôt que dans des bureaux locaux*, la carte doit être retravaillée afin d'obtenir une représentation plus dynamique du problème. Par exemple, le concept précédent peut influencer négativement la *représentativité locale* qui lui-même influence positivement le *niveau de service*. Eden propose de diviser la hiérarchie en trois parties. La partie du bas contient des concepts ayant le statut d'options potentielles, celle du milieu contient le développement des options en différentes directions stratégiques et celle du haut contient les objectifs finaux.

### ■ Construction par le chercheur au cours d'entretiens avec un individu

Le chercheur peut enregistrer directement les paroles de l'individu puis les analyser à l'aide de la méthode précédente[Cossette, 1989] ou bien construire la carte de manière interactive en dialoguant avec l'individu [Laukkanen, 1989] [Laukkanen, 1992] [Eden *et al.*, 1983] [Eden, 1988] [Cossette, 1994].

Le chercheur, au cours d'un entretien, invite l'individu à parler du thème étudié. Le chercheur sélectionne une dizaine de concepts puis demande à l'individu quelles sont les causes et conséquences de ces concepts. Le chercheur récolte de nouveaux

Christine Lagarde : "Je crois à une reprise graduelle"

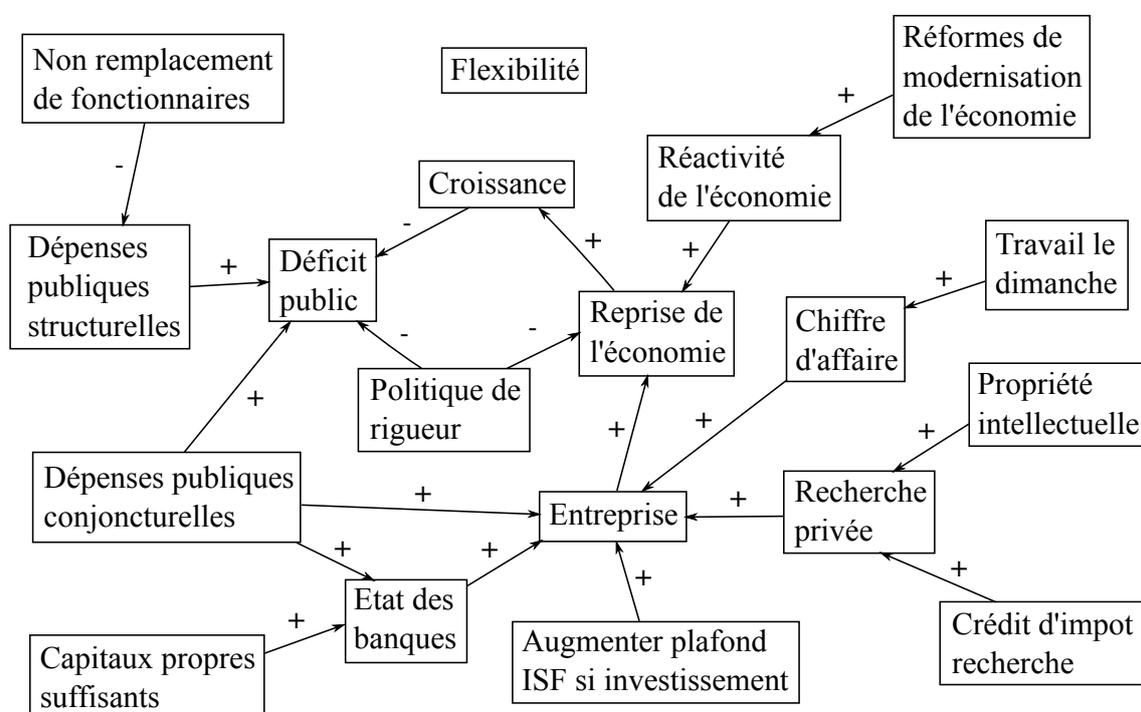


Figure 1.10 – Carte cognitive construite à partir d'un entretien de Mme Lagarde par le journal Le Monde 11/05/09.

concepts et les liens entre ceux-ci. Le chercheur recommence alors avec les nouveaux concepts jusqu'à ce que l'individu n'arrive plus à dégager de nouveaux concepts ou liens importants. Une fois la carte définie, le chercheur peut effectuer un entretien de validation avec l'individu.

### ■ Construction de la carte par l'individu

Afin d'éviter de mauvaises interprétations des propos de l'individu, le chercheur peut lui demander de construire la carte. En contrepartie, il est nécessaire de vérifier que l'individu a compris la méthodologie de construction.

La méthode dite d'auto-questionnement [Bougon, 1983] consiste à demander à l'individu d'émettre un ensemble de concepts en rapport avec le thème étudié. Le chercheur demande à l'individu de trier les concepts par ordre d'importance perçue. Le chercheur demande à l'individu de tracer des liens entre les dix concepts les plus importants.

La méthode de questionnement systématique [Cossette, 1994] ressemble à la méthode de construction des cartes mentales. Un concept central est placé au milieu du support. Le chercheur demande à l'individu d'ajouter les concepts influençant ou influencés par le concept central. Le chercheur demande à l'individu d'ajouter les concepts influençant ou influencés par les concepts ajoutés, et ce, jusqu'à ce que l'individu n'arrive plus à dégager de nouveaux concepts ou liens importants. L'individu peut modifier les concepts et les liens de la carte au cours de la construction afin de faire coller au mieux la représentation graphique à sa représentation mentale [Carley et Palmquist, 1992] [Ozesmi, 1999].

### ■ Construction de cartes cognitives par un ensemble d'individus

La cartographie cognitive peut être utilisée comme un outil permettant au chercheur de déterminer la perception ou les différences de perception d'un ensemble d'individus sur un problème particulier. Les méthodologies précédentes peuvent être utilisées mais elles ont l'inconvénient de fournir des cartes difficilement comparables entre elles.

Une méthode dite structurée consiste à fournir aux individus un ensemble de concepts préalablement sélectionnés pour ce problème à partir de documents ou d'entretiens préliminaires [Ford et Hegarty, 1984]. Les individus tracent alors des liens d'influences entre ces concepts. La collecte des liens peut être facilitée en présentant à l'individu une matrice croisant l'ensemble de ces concepts (matrice d'adjacence) [Markóczy et Goldberg, 1995] [Ford et Hegarty, 1984]. Une telle matrice simplifie la collecte car l'individu n'a pas besoin d'écrire les concepts de la carte et de les organiser de manière à éviter le croisement des arcs. En revanche l'aspect didactique et la perception de l'enchaînement des concepts sont diminués par rapport à une représentation graphique. Imposer les concepts facilite la comparaison entre plusieurs cartes mais introduit un biais dans l'acquisition de la perception des

individus. Pour atténuer ce biais, Marckoczy et Golberg proposent de fournir un ensemble conséquent de concepts et laissent les individus choisir un sous ensemble qui leur paraît pertinent. Les concepts peuvent être préalablement organisés [Poinonec, 2006] dans une hiérarchie ce qui peut faciliter la comparaison ou la fusion des cartes individuelles.

### 1.3 Les cartes cognitives classiques

Nous présentons maintenant ce que nous appelons le modèle des cartes cognitives classiques. Il fournit une formalisation des cartes cognitives de plusieurs travaux du domaine. Nous utiliserons ce modèle pour les propositions de nos travaux de thèse dans les chapitres suivants. Beaucoup de travaux, fondés sur ce modèle, incluent des mécanismes de propagation d'influence qui permettent de calculer l'effet d'un concept sur un autre concept. Nous présentons donc les mécanismes en 1.3.2 que nous utiliserons aussi dans les chapitres ultérieurs. Plusieurs travaux exploitent les cartes de sorte à les comparer pour faire apparaître les ressemblances et dissemblances. Nous montrons en 1.3.3 la mesure de similarité de Markoczy et Golberg [Markóczy et Goldberg, 1995] très utilisée à cette fin.

Une carte cognitive classique est un graphe orienté étiqueté dont les sommets représentent des concepts et les arcs représentent des influences entre concepts. L'influence entre deux concepts est polarisée, c'est à dire qu'un concept peut influencer un autre concept de deux façons différentes, de façon positive ou négative. La polarité de l'influence est symétrique. Une influence positive entre un concept A et un concept B signifie que lorsque A augmente, B augmente (figure 1.11(a)) et que lorsque A diminue, B diminue (figure 1.11(b)). À l'inverse, une influence négative entre A et B signifie que lorsque A augmente (figure 1.11(c)), B diminue et que lorsque A diminue B augmente (figure 1.11(d)).

#### Définition 1.1 (Carte cognitive)

Soit  $C$  un ensemble de concepts.

Une *carte cognitive* définie sur  $C$ , est un graphe orienté étiqueté  $(V, \text{étiq}_V, A, \text{étiq}_A)$  où :

- $V$  est un ensemble de nœuds.
- $\text{étiq}_V : V \rightarrow C$  une fonction d'étiquetage bijective qui associe à un nœud de  $V$  un concept de  $C$ .
- $A \subseteq V \times V$  est un ensemble d'arcs appelés *influences*.
- $\text{étiq}_A : A \rightarrow \{-, +\}$  une fonction d'étiquetage qui associe à une influence une valeur de polarité positive ou négative.

Axelrod [Axelrod, 1976] code le graphe à l'aide d'une matrice d'adjacence contenant les valeurs 0, +1 et -1. La valeur 0 entre deux concepts signifie qu'il n'y a pas

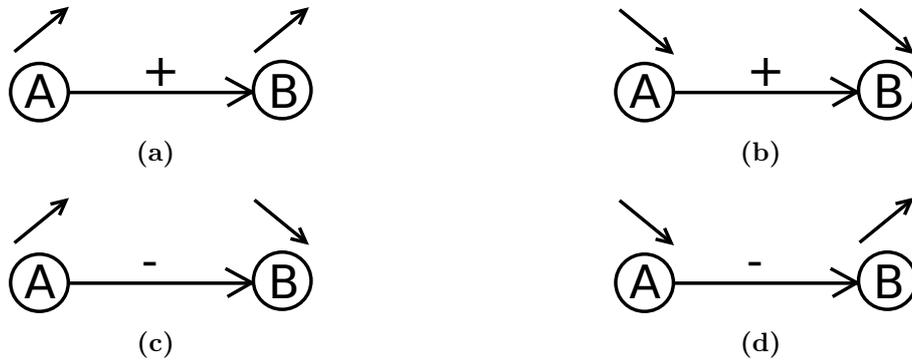


Figure 1.11 – Description d'une influence.

d'arc entre les deux concepts, +1 correspond à une influence positive, -1 correspond à une influence négative. La figure 1.12(a) fournit un exemple d'une telle carte ainsi que sa matrice associée figure 1.12(b).

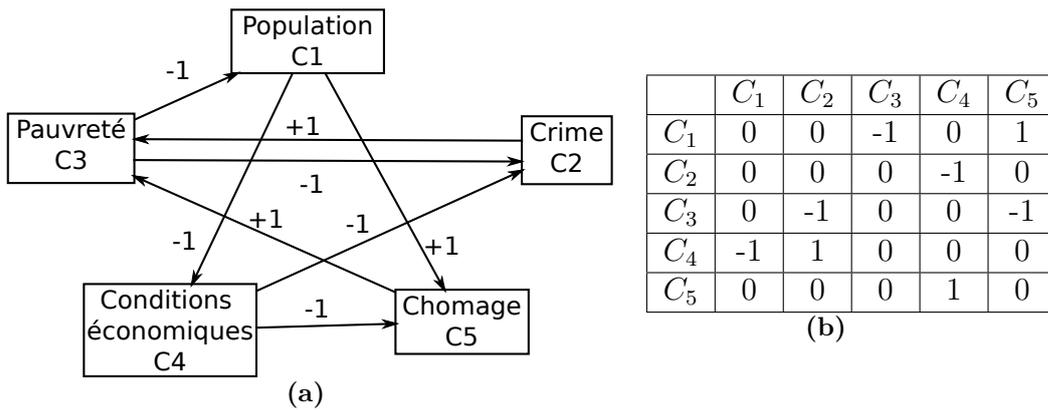


Figure 1.12 – Exemple de carte cognitive (a) et de la matrice d'adjacence associée (b) [Kandasamy, 2003].

## Conclusion

De nombreux travaux dans des domaines aussi variés que la psychologie cognitive, les sciences de l'organisation et l'informatique ont été présentés en se référant à l'idée de cartes visuelles organisant des connaissances. La grande diversité des approches liées aux domaines fait qu'il est difficile de les caractériser formellement. Les travaux en informatique se référant à ce type de cartes ont l'intérêt de se reposer sur un modèle formel de cartes sémantiques avec des propriétés de mécanisme d'inférence.

### 1.3 Les cartes cognitives classiques

	Carte conceptuelle	Carte mentale	Carte cognitive
Structure	Réseau	Arborescence partant d'une idée centrale	Réseau
Contenu	Cartographie de l'univers réel d'un ou plusieurs concepts	Reflet personnel de la pensée	Reflet personnel de la compréhension des influences entre concepts d'un problème
Caractéristique des liens	Liens étiquetés : emphase sur les connexions sémantiques entre les concepts	Relations non spécifiées entre les idées	Liens d'influence
Sens de lecture	Du haut vers le bas	Du centre vers l'extérieur	Sens de lecture variable
Niveau de complexité	Complexité moyenne à élevée	Complexité faible	Complexité moyenne
Règle de représentation	Règles formelles et strictes	Règles peu formalisées	Règles peu formalisées
Difficulté de construction	Difficile (plusieurs relations)	Facile (pas de relation)	Facile (peu de relations)
Difficulté de mémorisation	Difficile (réseau, concepts + relations)	Facile (arbre)	Difficile (réseau)
Difficulté de compréhension	Compréhension aisée par d'autres personnes	Compréhension problématique : tendance à fournir une vision personnelle.	Compréhension problématique : tendance à fournir une vision personnelle.

Figure 1.13 – Comparatif entre les cartes conceptuelles, les cartes mentales et les cartes cognitives.

La figure 1.13 propose un tableau récapitulatif des différences entre les cartes conceptuelles, les cartes mentales et les cartes cognitives. Nous présenterons dans les parties suivantes nos travaux qui s'appuient sur les cartes cognitives classiques présentées dans la section 1.3.

# Chapitre 2

## Les cartes cognitives ontologiques

### Introduction

Nous présentons dans ce chapitre un nouveau modèle appelé *carte cognitive ontologique* (CCO) définie en *associant* une carte cognitive à une ontologie qui organise sémantiquement les concepts.

L'ontologie aide le concepteur à trouver les concepts pertinents pour construire la carte. De plus elle aide l'utilisateur à comprendre les concepts de la carte. Techniquement dans ce travail nous définissons une *ontologie* comme un ensemble de concepts partiellement ordonné par une relation de spécialisation. Les concepts les plus spécialisés de l'ontologie sont appelés les *concepts élémentaires* : ce sont les seuls concepts représentés dans la carte cognitive associée.

Nous proposons un mécanisme d'inférence appelé *influence ontologique* qui fournit une solution pour calculer l'influence entre n'importe quelle paire de concepts de l'ontologie. L'influence ontologique entre deux concepts d'une ontologie est déterminée en agrégeant les influences entre toutes les paires de concepts élémentaires qui sont des spécialisations de la paire de concepts initiale. Ces influences entre deux concepts élémentaires sont appelées des *influences propagées*. Dans le chapitre suivant, l'influence ontologique sera utilisée pour construire des vues.

Ce chapitre est organisé comme suit. La section 2.1 introduit la notion d'ontologie. La section 2.2 décrit le modèle de carte cognitive ontologique. La section 2.3 présente l'influence propagée. La section 2.4 présente l'influence ontologique. La section 2.5 présente comment l'approche peut être adaptée pour différents ensembles de valeurs.<sup>1</sup>

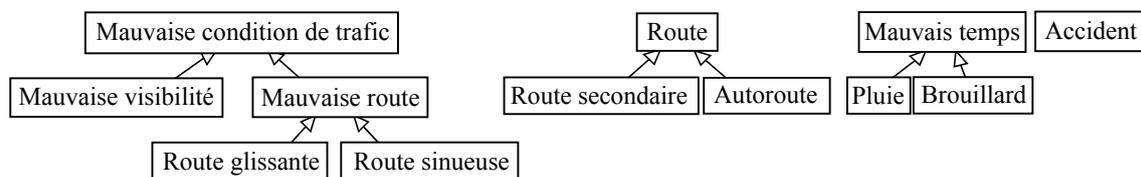
---

1. Notons que quelques définitions de ce chapitre sont des redites de celles du chapitre précédent qui présente le modèle classique des cartes cognitives. Ces redites sont effectuées afin de permettre une lecture indépendante de ce chapitre.

## 2.1 Ontologie

Il n'existe pas de définition communément admise d'une « ontologie ». [Gruber, 2008], [Guarino et Giaretta, 1995], fournissent de bonnes introductions à cette notion. Le terme « ontologie » est un mot que l'informatique a emprunté à la philosophie au début des années 1990. Ce mot tire son origine du grec, onto signifiant « étude » et logos le participe présent du verbe « être ». La métaphysique (meta signifie « après » ou « au-delà ») est l'étude des Choses après la physique, c'est-à-dire après leurs études par la physique, l'Ontologie en est une branche. L'Ontologie correspond, selon Aristote, aux « Discours sur l'être en tant qu'être ». Dans son traité « Catégories » [Aristote, 350 av JC], Aristote indique la nécessité de bien distinguer le sens des mots, et précise que les termes d'une proposition (c'est-à-dire une expression) n'ont de sens qu'une fois liés entre eux. En effet, dans une « expression sans liaison », aucun de ses termes, en lui-même et par lui-même, n'affirme ni ne nie, c'est-à-dire qu'une telle expression n'est ni vraie ni fausse. Aristote définit une liste de dix catégories, comme étant les genres les plus généraux de l'être : essence, quantifié, qualifié, relatif, quelque part, à un moment, se trouver dans une position, avoir, agir, pâtir. À cette liste s'ajoutent les opposés, les contraires, l'antérieur, le simultané et la mobilité.

L'ontologie prend un tout autre sens en informatique, où le terme désigne un ensemble structuré de savoirs dans un domaine de connaissance particulier. Le sens du terme ontologie s'approche alors de celui donné par Emmanuel Kant [Kant, 1997], qui critique les « Catégories » d'Aristote en définissant une ontologie comme suit : « Ontology is a pure doctrine of elements of all our a priori cognitions ». C'est-à-dire que l'ontologie n'est plus l'étude d'une catégorisation universelle de toutes choses, mais une conception de l'esprit portant uniquement sur un domaine donné. En Intelligence Artificielle, une définition communément admise d'ontologie est énoncée dans [Gruber, 1993] (révisée dans [Gruber, 2008]) puis précisée dans [Studer *et al.*, 1998] : « spécification explicite et formelle d'une conceptualisation partagée » (traduction de [Bousquet, 1995]). Une spécification explicite signifie que les concepts de l'ontologie et les contraintes liées à leurs usages sont définis de façon explicite. Ceci permet de pallier des problèmes de terminologie et de sémantique. Cette spécification explicite devient formelle quand elle est interprétable par un ordinateur. L'intérêt essentiel d'une ontologie tient dans le fait qu'il s'agisse avant tout d'une conceptualisation et que celle-ci est partagée, c'est-à-dire qu'elle capture une connaissance consensuelle. Des langages de spécification ont été développés pour construire des ontologies. Ces langages sont habituellement des généralisations des langages de frame et sont souvent basés sur la logique du premier ordre ou sur les logiques de description. Dans le cadre des travaux sur le Web sémantique, le W3C a mis en place en 2002 un groupe de travail dédié au développement de langages standards pour modéliser des ontologies utilisables et échangeables sur le Web. S'inspirant de langages précédents

Figure 2.1 – L'ontologie  $O1$ .

comme DAML+OIL et des fondements théoriques des logiques de description, ce groupe a publié en 2004 une recommandation définissant le langage OWL (Web Ontology Language)[Dean *et al.*, 2004], fondé sur le standard RDF et utilise une syntaxe XML. Plus expressif que son prédécesseur RDFS, OWL a rapidement pris une place prépondérante dans le paysage des ontologies et est désormais le langage le plus utilisé.

Dans notre travail nous utilisons la notion d'ontologie de manière simple puisque nous définissons une ontologie comme un ensemble de concepts partiellement ordonné par une relation de spécialisation<sup>2</sup>. On utilise donc une relation permettant d'ordonner les concepts. Cette formalisation est facile à comprendre et utiliser. La relation d'ordre entre deux concepts peut être lue comme « est une sorte de ».

### Définition 2.1 (ontologie)

Une *ontologie*  $(C, \preceq)$  est un ensemble de concepts  $C$  partiellement ordonné par une relation  $\preceq$ .

On note  $\prec$  la relation d'ordre partiel strict associée à  $\preceq$ .

### Exemple 2.1

La figure 2.1 montre l'ontologie  $O1$ . Un ensemble partiellement ordonné peut être représenté graphiquement par un diagramme de Hasse [Skiena, 1990]. Ici une *Route sinueuse* est une sorte de *Mauvaise route*. On peut donc noter  $Route\ sinueuse \preceq Mauvaise\ route$ . *Route sinueuse* et *Accident* sont incomparables, l'ordre sur cet ensemble est donc partiel.

Il y a dans une ontologie plusieurs sortes de concepts selon leur place dans la relation d'ordre. Pour un sous ensemble de concepts d'une ontologie, les concepts minimum (resp. maximum) sont les concepts pour lesquels il n'y a pas de concept plus petit (resp. plus grand) dans le sous ensemble.

### Définition 2.2 (Concepts maximum)

2. In the simplest case, an ontology describes a hierarchy of concepts related by subsumption relationships [Guarino et Giaretta, 1995]

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Soit  $C' \subseteq C$ . On appelle l'ensemble des *concepts maximum* de  $C'$  :  $max(C') = \{c \in C' \mid \nexists c' \in C', c \prec c'\}$ .

**Exemple 2.2**

Soit  $C_1$  l'ensemble de concepts issus de  $O1$  suivant :  $\{Route, Route\ secondaire, Autoroute\}$ . L'ensemble des concepts maximum de  $C_1$ , noté  $max(C_1)$ , est  $\{Route\}$ .

**Définition 2.3 (Concepts minimum)**

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Soit  $C' \subseteq C$ . On appelle l'ensemble des *concepts minimum* de  $C'$  :  $min(C') = \{c \in C' \mid \nexists c' \in C', c' \prec c\}$ .

**Exemple 2.3**

L'ensemble des concepts minimum de  $C_1$ , noté  $min(C_1)$ , est  $\{Route\ secondaire, Autoroute\}$ .

Les plus petits concepts d'une ontologie sont dits élémentaires. Les concepts élémentaires vont jouer un rôle particulier dans la définition d'une carte cognitive ontologique.

**Définition 2.4 (Concepts élémentaires)**

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Les concepts de  $min(C)$  sont appelés des *concepts élémentaires*.

**Exemple 2.4**

$min(O1) = \{Mauvaise\ visibilité, Route\ glissante, Route\ sinueuse, Route\ secondaire, Autoroute, Pluie, Brouillard, Accident\}$  est l'ensemble des concepts élémentaires de l'ontologie  $O1$  de la figure 2.1.

## 2.2 Le modèle

Nous définissons une carte cognitive ontologique comme l'association d'une carte cognitive et d'une ontologie. Comme dit en introduction, cette idée d'associer une ontologie aux cartes cognitives n'est pas nouvelle. Les travaux de [Jung *et al.*, 2003] et de [Poignonec, 2006] associent une ontologie à des cartes cognitives, nous allons donc les décrire dans les deux paragraphes qui suivent. Ils utilisent tous deux une ontologie comme un outil de mesure de similarité entre concepts dans le but de comparer ou fusionner un ensemble de cartes.

[Jung *et al.*, 2003] définit une ontologie comme un arbre de concepts. Il définit une carte cognitive ontologique comme une carte dont chaque concept est défini dans l'ontologie. L'objectif de Jung est de pouvoir déterminer l'effet d'un concept

d'une carte sur un concept d'une autre carte représentant un domaine différent, les deux cartes ontologiques étant établies sur une ontologie commune. Jung propose une opération d'« augmentation » qui connecte des cartes différentes entre elles par leurs concepts communs. Cette opération trouve, grâce à l'ontologie, des concepts qui sont sémantiquement équivalents alors qu'ils sont dans des cartes différentes, et utilise ces concepts comme des passerelles entre les cartes. Cette opération exploite des fonctions d'appartenance définies dans l'ontologie entre des concepts fils et leur concept parent. Cette opération permet de révéler des influences non prévues par les concepteurs des cartes. Jung propose aussi une opération d'« extension » (resp. de « contraction ») sur les cartes qui spécialise (resp. généralise) leurs concepts et adaptent les influences. Dans ce travail, un exemple exploitant trois cartes définies sur la même ontologie est fourni. Une carte représente les croyances d'un livreur, une autre carte représente les croyances d'un météorologiste et une dernière carte représente les croyances d'un commerçant. Les cartes du livreur et du commerçant partagent en commun le concept de *bonne livraison*. Les cartes du livreur et du météorologiste ne partagent pas de concept mais celle du livreur contient le concept *mauvais temps* et celle du météorologiste contient des concepts qui sont dans l'ontologie des fils du concept *mauvais temps*, par exemple *orage*. Les cartes du livreur et du commerçant sont augmentées, c'est à dire rassemblés au sein d'une seule carte et connectés par leur concept commun *bonne livraison*. Le concept *mauvais temps* est étendu et remplacé par ses concepts fils présents dans la carte du météorologiste. En propageant des influences dans la carte augmentée, l'auteur déduit que lorsqu'il y a de l'*orage* (carte du météorologiste), la *fraicheur des produits* (carte du commerçant) est influencée principalement par le *trafic routier* (carte du livreur) et que l'*âge des stocks* (carte du commerçant) est influencé principalement par le *mauvais temps* (carte du livreur).

[Poignonec, 2006] a construit une ontologie au cours de son étude sur l'écosystème récifo-lagonaire de Nouvelle-Calédonie. Il a demandé à différents acteurs de l'île de construire des cartes cognitives afin de déterminer leur perception de l'environnement. Ces cartes construites sans ontologie ont été saisies sur ordinateur. C'est au cours de cette saisie que l'ontologie a été construite manuellement avec les concepts rencontrés dans les cartes. La notion de rang ontologique d'un concept est définie comme la profondeur dans l'arbre/ontologie. Une mesure de similarité s'appuyant sur la mesure de Markóczy et Goldberg [Markóczy et Goldberg, 1995] et exploitant l'ontologie a été proposée. Les cartes sont d'abord désagrégées au dernier rang ontologique, c'est à dire que chaque concept qui n'est pas du dernier rang, i.e. élémentaire, est remplacé par ses descendants du dernier rang et les influences reliées à ce concept sont dupliquées. Les cartes sont ensuite ré-agrégées à un rang ontologique choisi, c'est à dire que les concepts qui sont les descendants d'un concept du rang choisi sont remplacés par ce concept et les influences sont fusionnées. Enfin la mesure de similarité de Markóczy et Goldberg est calculée entre chaque paire de

carte ré-agrégée. Ceci permet ainsi de voir si plusieurs cartes se ressemblent et ainsi d'en déduire des groupes d'acteurs qui semblent avoir la même perception de leur environnement. Cette identification des groupes d'acteurs est le but de ce travail, l'entreprise finançant la thèse ayant pour objectif de faire une communication ciblée par groupe.

Contrairement aux deux approches précédentes, dans notre travail, nous ne considérons pas plusieurs cartes mais une seule. Nous verrons dans ce chapitre que l'ontologie va pouvoir être utilisée pour calculer des influences entre n'importe quelle paire de concepts de celle-ci.

Une carte cognitive ontologique est pour nous l'association d'une ontologie et d'une carte cognitive. Nous avons vu dans le chapitre précédent qu'une carte cognitive est un graphe orienté dont les nœuds sont étiquetés par des concepts. Un concept est un texte. Un arc est étiqueté par une valeur qui décrit l'effet de l'influence. La définition suivante est la même que celle introduite précédemment sauf qu'ici l'ensemble des valeurs  $I$  n'est pas fixé.

**Définition 2.5 (Carte cognitive)**

Soit  $I$  un ensemble de valeurs. Soit  $C$  un ensemble de concepts. Une *carte cognitive* définie sur  $C$  et  $I$ , est un graphe orienté étiqueté  $(V, \text{étiq}_V, A, \text{étiq}_A)$  où :

- $V$  est un ensemble de nœuds,
- $\text{étiq}_V : V \rightarrow C$  est une fonction bijective étiquetant un nœud de  $V$  avec un concept de  $C$ ,
- $A \subseteq V \times V$  est un ensemble d'arcs appelés *influences*,
- $\text{étiq}_A : A \rightarrow I$  est une fonction étiquetant une influence avec une valeur de  $I$ .

**Exemple 2.5**

*CC1* (figure 2.2) est définie sur  $I = [-1; +1]$  où  $+1$  (resp.  $-1$ ) est l'influence totalement positive (resp. l'influence totalement négative). Par exemple, si on considère les concepts *Pluie* et *Route glissante*, cela signifie que circuler dans la pluie (*Pluie*) influence les risques pour la route d'être glissante (*Route glissante*) à 0.2.

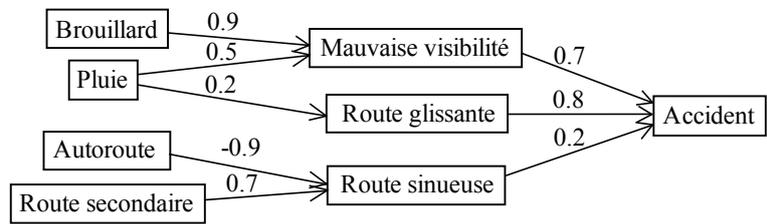


Figure 2.2 – Carte cognitive *CC1*.

Une carte cognitive ontologique est pour nous l'association d'une ontologie et d'une carte cognitive dans laquelle les concepts utilisés ne sont que des concepts

élémentaires de l'ontologie.

**Définition 2.6 (Carte cognitive ontologique)**

Une *carte cognitive ontologique* définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ , est l'association de  $(C, \preceq)$  à une carte cognitive définie sur  $\min(C)$  et  $I$ .

**Exemple 2.6**

*OCC1* est la carte cognitive ontologique construite en associant l'ontologie *O1* (figure 2.1) à la carte cognitive *CC1* (figure 2.2). Cette carte est définie pour  $I = [-1; +1]$ . On voit que les concepts de la carte sont les concepts élémentaires de l'ontologie.

## 2.3 L'influence propagée

Une carte cognitive n'est pas uniquement un outil de représentation. Une carte cognitive aide à comprendre les causes et les conséquences d'un facteur du problème représenté. En observant les chemins présents dans une carte, il est possible d'évaluer l'effet d'un concept sur un autre même s'ils ne sont pas liés directement pour une influence. Les modèles de cartes cognitives définissent généralement un mécanisme qui automatise cette opération et permet ainsi de révéler à l'utilisateur des influences qui ne sont pas facilement perceptibles au premier abord. Nous appelons ce mécanisme la *propagation de l'influence*. L'influence propagée d'un concept sur un autre est calculée en fonction des *chemins d'influence* qui existent entre les nœuds étiquetés par ces concepts. L'influence propagée est calculée pour chaque chemin d'influence et les résultats obtenus sont agrégés.

Un chemin dans la théorie des graphes est habituellement représenté par une liste de sommets. Pour correspondre à notre vision du mécanisme de propagation, nous définissons un chemin d'influence comme une liste d'arcs. Les définitions 2.7 et 2.8 sont identiques à celles fournies au chapitre 1 qui présente le modèle des cartes cognitives classiques.

**Définition 2.7 (Chemin d'influence)**

Soit  $(V, \text{étiq}_V, A, \text{étiq}_A)$  une carte cognitive définie sur un ensemble de concepts  $C$  et un ensemble de valeurs  $I$ . Soit  $c_1, c_2$  deux concepts de  $C$ . On appelle un *chemin d'influence* de  $c_1$  à  $c_2$  une séquence (de longueur  $k$ ) d'influences  $(u_i, v_i) \in A$  tel que  $u_1 = \text{étiq}_V^{-1}(c_1)$  et  $v_k = \text{étiq}_V^{-1}(c_2)$  et  $\forall i \in [1..k - 1], v_i = u_{i+1}$ .

**Exemple 2.7**

Dans la carte *CC1* (figure 2.2), il y a deux chemins d'influence ( $p_1$  et  $p_2$ ) entre *Pluie* et *Accident* :

$$\begin{aligned}
 p_1 &= ((\text{étiq}^{-1}(\text{Pluie}), \text{étiq}^{-1}(\text{Mauvaise visibilité})), \\
 &(\text{étiq}^{-1}(\text{Mauvaise visibilité}), \text{étiq}^{-1}(\text{Accident}))). \\
 p_2 &= ((\text{étiq}^{-1}(\text{Pluie}), \text{étiq}^{-1}(\text{Route glissante})), \\
 &(\text{étiq}^{-1}(\text{Route glissante}), \text{étiq}^{-1}(\text{Accident}))).
 \end{aligned}$$

Une carte cognitive peut contenir des cycles. On remarque donc qu'il peut exister un nombre infini de chemins dans une carte. Afin de manipuler un ensemble fini, nous définissons un type de chemin que nous appelons chemin d'influence minimal. Seuls les chemins minimaux seront utilisés dans le calcul de l'influence propagée.

**Définition 2.8 (Chemin d'influence minimal)**

Soit  $(V, \text{étiq}_V, A, \text{étiq}_A)$  une carte cognitive définie sur un ensemble de concepts  $C$  et un ensemble de valeurs  $I$ . Soit  $c_1, c_2$  deux concepts de  $C$ .

- Un chemin d'influence  $P$  du concept  $c_1$  au concept  $c_2$  est *minimal* ssi il n'existe pas un chemin d'influence  $P'$  de  $c_1$  à  $c_2$  tel que  $P'$  est une sous séquence de  $P$ .
- On note  $\mathcal{P}_{c_1, c_2}$  l'ensemble des chemins d'influence minimaux de  $c_1$  à  $c_2$ .

**Exemple 2.8**

Le chemin d'influence  $p_1$  entre *Pluie* et *Accident* passe par *Pluie*, *Mauvaise visibilité*, *Accident*. Le chemin d'influence  $p_2$  entre *Pluie* et *Accident* passe par *Pluie*, *Route glissante*, *Accident*. Ces deux chemins sont des chemins d'influence minimaux.

**Propriété 2.1**

Tout chemin d'une carte cognitive sans cycle est minimal.

L'influence propagée pour un chemin d'influence est calculée en cumulant toutes les valeurs des influences sur le chemin. Les définitions des opérateurs de calcul 2.9, 2.10, 2.12 sont fournies pour l'ensemble de valeurs  $I = [-1; +1]$ . Dans le chapitre précédent, le modèle de cartes cognitives classiques était défini sur  $I = \{-, +\}$ . Dans ce chapitre nous définissons des cartes ontologiques sur  $I = [-1; +1]$  qui est plus générale : -1 signifie que l'influence est totalement négative, +1 signifie que l'influence est totalement positive. Les valeurs comprises entre -1 et +1 signifient que l'influence est plus ou moins négative ou positive. La section 2.5 montre comment modifier ces opérateurs avec l'ensemble de valeurs fourni et pour d'autres ensembles de valeurs. Pour  $I = [-1; +1]$ , nous définissons l'influence propagée pour un chemin d'influence comme le produit des valeurs portées par les influences du chemin.

**Définition 2.9 (Influence propagée pour un chemin d'influence)**

Soit  $(V, \text{étiq}_V, A, \text{étiq}_A)$  une carte cognitive définie sur un ensemble de concepts  $C$  et l'ensemble de valeurs  $I = [-1; +1]$ . L'influence propagée pour un chemin d'influence

$P$  est :

$$\mathcal{IP}(P) = \prod_{(v,v') \text{ de } P} \text{étiq}_A((v, v'))$$

**Exemple 2.9**

L'influence propagée dans le chemin d'influence  $p_1$  est :  $\mathcal{IP}(p_1) = 0.5 \times 0.7 = 0.35$ .  
 L'influence propagée dans le chemin d'influence  $p_2$  est :  $\mathcal{IP}(p_2) = 0.2 \times 0.8 = 0.16$ .  
 Ces deux nombres positifs montrent bien que la pluie est toujours un facteur aggravant d'accident.

L'influence propagée entre deux concepts est la moyenne des influences propagées de chaque chemin d'influence minimal existant entre ces concepts.

**Définition 2.10 (Influence propagée entre deux concepts)**

Soit  $(V, \text{étiq}_V, A, \text{étiq}_A)$  une carte cognitive définie sur un ensemble de concepts  $C$  et l'ensemble de valeurs  $I = [-1; +1]$ . L'influence propagée entre deux concepts est une fonction  $\mathcal{I}$  définie sur  $C \times C \rightarrow I$  telle que :

$$\mathcal{I}(c_1, c_2) = \begin{cases} \frac{\sum_{P \in \mathcal{P}_{c_1, c_2}} \mathcal{IP}(P)}{\text{card}(\mathcal{P}_{c_1, c_2})} & \text{si } \mathcal{P}_{c_1, c_2} \neq \emptyset \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

**Exemple 2.10**

L'influence propagée entre le concept *Pluie* et le concept *Accident* est la moyenne des influences propagées dans  $p_1$  et  $p_2$  :  $\mathcal{I}(\text{Pluie}, \text{Accident}) = (\mathcal{IP}(p_1) + \mathcal{IP}(p_2))/2 = (0.35 + 0.16)/2 = 0.255$ .

## 2.4 L'influence ontologique

L'influence ontologique permet à l'utilisateur d'interroger une carte cognitive ontologique de façon à déterminer l'influence entre n'importe quelle paire de concepts de l'ontologie. L'influence ontologique est calculée à l'aide de l'influence propagée définie dans la section précédente. Les influences dans une carte cognitive ontologique ne sont définies qu'entre des concepts élémentaires. Le mécanisme d'influence ontologique calcule donc d'abord deux sous ensembles de concepts élémentaires qui spécialisent les deux concepts choisis. Les influences propagées sont ensuite calculées pour chaque paire de concepts élémentaires de ces ensembles. Enfin les différentes influences propagées sont agrégées. Le résultat obtenu est l'influence ontologique.

Commençons par définir l'ensemble des concepts élémentaires qui spécialisent un concept.

**Définition 2.11 (Concepts élémentaires pour un concept)**

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Soit  $c$  un concept de  $C$ . On appelle l'ensemble de *concepts élémentaires pour un concept  $c$* , le sous ensemble de  $C$  défini comme suit :

$$elemPour(c) = \{c' \in min(C) \mid c' \preceq c\}$$

**Exemple 2.11**

L'ensemble des concepts élémentaires pour le concept *Mauvais temps* est :

$$elemPour(Mauvais\ temps) = \{Brouillard, Pluie\}.$$

De la même manière, l'ensemble des concepts élémentaires pour le concept *Mauvaise condition de trafic* est :

$$elemPour(Mauvaise\ condition\ de\ trafic) = \{Mauvaise\ visibilité, Route\ sinueuse, Route\ glissante\}.$$

L'influence ontologique entre deux concepts  $c_1$  et  $c_2$  est une agrégation des valeurs des influences propagées entre les concepts élémentaires pour  $c_1$  et les concepts élémentaires pour  $c_2$ . Lorsque la carte cognitive ontologique est définie sur  $I = [-1; +1]$ , l'influence ontologique est un intervalle entre la valeur minimale et la valeur maximale.

**Définition 2.12 (Influence ontologique entre deux concepts)**

Soit une carte cognitive ontologique définie sur  $(C, \preceq)$  et  $I = [-1; +1]$ . L'*influence ontologique entre deux concepts  $c_1, c_2$  de  $C$*  est une fonction  $\mathcal{I}_O$  définie sur  $C \times C \rightarrow I \times I$  telle que :

$$\mathcal{I}_O(c_1, c_2) = \left[ \begin{array}{cc} \min_{\substack{c'_1 \in elemPour(c_1) \\ c'_2 \in elemPour(c_2)}} \mathcal{I}(c'_1, c'_2), & \max_{\substack{c'_1 \in elemPour(c_1) \\ c'_2 \in elemPour(c_2)}} \mathcal{I}(c'_1, c'_2) \end{array} \right]$$

**Exemple 2.12**

Calculons l'influence ontologique entre le concept *Mauvais temps* et le concept *Mauvaise condition de trafic*. Commençons par calculer l'ensemble des concepts élémentaires pour *Mauvais temps* (noté  $A$ ) et pour *Mauvaise condition de trafic* (noté  $B$ ) :

$$A = elemPour(Mauvais\ temps) = \{Brouillard, Pluie\}$$

$$B = elemPour(Mauvaise\ condition\ de\ trafic) = \{Mauvaise\ visibilité, Route\ glissante, Route\ sinueuse\}$$

Déterminons ensuite l'influence propagée entre chaque concept de  $A$  et chaque concept de  $B$  :

$$\mathcal{I}(Brouillard, Mauvaise\ visibilité) = 0, 9.$$

$$\mathcal{I}(Brouillard, Route\ glissante) = 0.$$

$\mathcal{I}(\text{Brouillard}, \text{Route sinueuse}) = 0.$

$\mathcal{I}(\text{Pluie}, \text{Mauvaise visibilité}) = 0, 5.$

$\mathcal{I}(\text{Pluie}, \text{Route glissante}) = 0, 2.$

$\mathcal{I}(\text{Pluie}, \text{Route sinueuse}) = 0.$

L'influence propagée entre un concept qui spécialise *Mauvais temps* et un concept qui spécialise *Mauvaise condition de trafic* est au minimum 0 et au maximum 0.9.

$\mathcal{I}_O(\text{Mauvais temps}, \text{Mauvaise condition de trafic}) = [0; 0.9].$

## 2.5 Paramétrage

De nombreuses variantes des cartes cognitives sont définies sur des ensembles de valeurs  $I$  différents de  $[-1; +1]$  comme les cartes cognitives classiques vues dans le chapitre 1 (section 1.3) définies sur  $\{+, -\}$ . Dans cette section, nous proposons une adaptation des principales définitions de ce chapitre afin d'utiliser des cartes cognitives ontologiques définies sur cet ensemble de valeurs.

L'ensemble des valeurs  $I$  étant différent, le calcul de l'influence propagée dans un chemin ne peut pas faire intervenir un produit et une moyenne comme dans les définitions 2.9 et 2.10. Cette influence propagée est définie à l'aide d'un opérateur adapté à l'ensemble  $\{+, -\}$ .

### Définition 2.13 (Influence propagée dans un chemin d'une carte cognitive classique)

Soit  $(V, \text{étiqu}_V, A, \text{étiqu}_A)$  une carte cognitive définie sur un ensemble de concepts  $C$  et l'ensemble de valeurs  $I = \{+, -\}$ .

L'influence propagée dans un chemin  $P$  est définie de la façon suivante :

$$\mathcal{IP}(P) = \bigwedge_{(v,v') \text{ de } P} \text{étiqu}_I((v, v'))$$

avec  $\bigwedge$  est une application définie sur  $I \times I \mapsto I$  représentée par la matrice :

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

### Exemple 2.13

Dans la carte cognitive classique de la figure 2.3,  $\mathcal{I}((\text{Fatigue}, \text{Risque d'accident})) = - \wedge - = +.$

L'influence propagée d'un concept sur un autre est nulle (notée 0) s'il n'existe pas de chemins entre ces concepts. Elle est positive lorsque les influences propagées

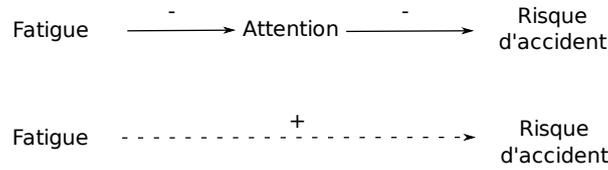


Figure 2.3 – Exemple de propagation de l’influence dans un chemin

dans tous les chemins existant entre ces concepts sont positives (notée +). Elle est négative quand toutes influences propagées sont négatives (notée -). Lorsqu’au moins deux chemins dont l’influence propagée est de polarité différente, il n’est pas possible de déterminer si l’influence propagée entre les deux concepts est positive ou négative. Il n’est pas non plus possible de savoir si les chemins se compensent auquel cas l’influence propagée serait nulle. Dans ce cas là, l’influence propagée entre les deux concepts est dite ambiguë (notée ?).

**Définition 2.14 (Influence propagée entre deux concepts d’une carte cognitive classique)**

Soit  $(V, étiqu_V, A, étiqu_A)$  une carte cognitive définie sur un ensemble de concepts  $C$  et l’ensemble de valeurs  $I = \{+, -\}$ .

Soit  $c_1, c_2$  deux concepts de  $C$ .

L’influence propagée entre deux concepts entre  $c_1$  et  $c_2$  est définie de la façon suivante :

$$\mathcal{I}(c_1, c_2) = 0 \text{ si } \mathcal{P}_{c_1, c_2} = \emptyset$$

$$\mathcal{I}(c_1, c_2) = \bigvee_{P \in \mathcal{P}_{c_1, c_2}} \mathcal{IP}(P) \text{ si } \mathcal{P}_{c_1, c_2} \neq \emptyset$$

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

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

**Exemple 2.14**

Dans la carte cognitive classique de la figure 2.3,  $\mathcal{I}(\text{Phares pendant la journée}, \text{Risque d'Accident}) = (+ \wedge -) \vee (+ \wedge +) = ?$ .

**Remarque**

Ce mécanisme a l’inconvénient de donner des résultats souvent ambigus.

Adaptons notre mécanisme d’influence ontologique à une carte cognitive ontologique (définition 2.12) définie sur cet ensemble de valeurs. Nous proposons d’ajouter

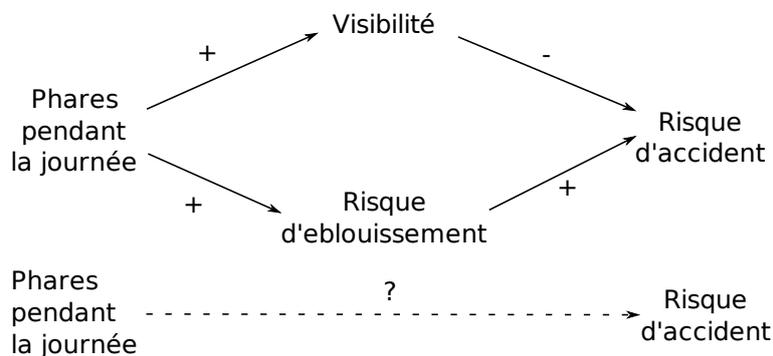


Figure 2.4 – Exemple d’influence propagée entre deux concepts

deux symboles  $\oplus$  et  $\ominus$ . Le premier signifiant qu’une influence est positive ou nulle. Le second signifiant qu’une influence est négative ou nulle. Ces nouveaux symboles simplifient la lecture du résultat de l’influence ontologique.

**Définition 2.15 (Influence ontologique entre deux concepts d’une carte cognitive classique)**

Soit  $(V, étiqu_V, A, étiqu_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur  $(C, \preceq)$  et  $I = \{+, -\}$  L’influence ontologique entre deux concepts de  $C$  est une fonction  $\mathcal{I}_O$  définie sur  $C \times C \mapsto \{0, +, -, \oplus, \ominus, ?\}$  telle que :

$$\mathcal{I}_O(c_1, c_2) = \bigodot_{\substack{c'_1 \in elemPour(c_1) \\ c'_2 \in elemPour(c_2)}} \mathcal{I}(c'_1, c'_2)$$

avec  $\bigodot$  définie par la matrice suivante :

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

**Exemple 2.15**

La carte cognitive ontologique  $CC2$  (figure 2.5) est la même carte que  $CC1$  mais étiquetée par + et -. Calculons l’influence ontologique entre le concept *Mauvais temps* et le concept *Mauvaise condition de trafic*.  $\mathcal{I}(\text{Brouillard}, \text{Mauvaise visibilité}) = +$ .  $\mathcal{I}(\text{Brouillard}, \text{Route glissante}) = 0$ .

$\mathcal{I}(\text{Brouillard}, \text{Route sinueuse}) = 0.$

$\mathcal{I}(\text{Pluie}, \text{Mauvaise visibilité}) = +.$

$\mathcal{I}(\text{Pluie}, \text{Route glissante}) = +.$

$\mathcal{I}(\text{Pluie}, \text{Route sinueuse}) = 0.$

L'influence ontologique entre *Mauvais temps* et *Mauvaise condition de trafic* est l'agrégation de ces influences propagées :

$\mathcal{I}_O(\text{Mauvais temps}, \text{Mauvaise condition de trafic}) = + \odot 0 \odot 0 \odot + \odot + \odot 0 = \oplus.$

L'influence ontologique entre *Mauvais temps* et *Mauvaise condition de trafic* est donc positive ou nulle.

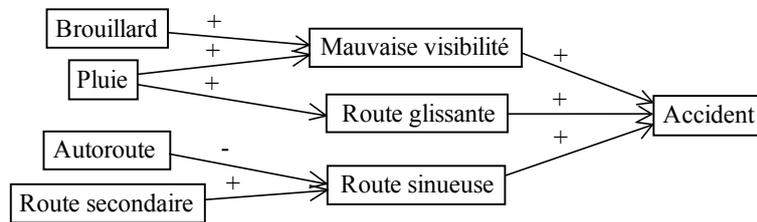


Figure 2.5 – Carte cognitive ontologique *CC2*.

[Genest et Loiseau, 2007] présente un travail sur les réseaux d'influences utilisant les cartes cognitives. Ce travail utilise une carte cognitive classique et propose de regrouper certains concepts dans un ensemble nommé. Ce travail définit aussi une influence dite « cartésienne » d'un ensemble vers un autre ensemble de concepts. On voit que notre définition 2.12 est une extension de cette influence cartésienne dans le sens où un concept d'une ontologie définit un ensemble de concepts : ses concepts élémentaires. Le travail de [Genest et Loiseau, 2007] est aussi limité sur deux autres points. D'une part, il ne considère que les ensembles d'influence  $I = \{+, -\}$  et d'autre part l'opérateur d'agrégation ( $\mathcal{I}_O$  dans notre définition) est simpliste puisqu'il faut que toutes les influences entre toutes les paires de concepts issues du produit cartésien aient le même résultat pour obtenir de l'influence cartésienne une valeur significative.

D'autres variantes de cartes cognitives sont définies sur un ensemble de valeurs  $I$  différent de  $[-1; +1]$  et  $\{+, -\}$ . Kosko propose un modèle de cartes cognitives dont les influences sont caractérisées par des variables linguistiques : nul, faible, moyen, fort. Ces variables linguistiques sont organisées dans un ensemble ordonné. L'influence ontologique définie précédemment peut être utilisée sur ce type de carte en redéfinissant l'influence propagée dans un chemin et l'influence propagée entre deux concepts. Les influences propagées sont définies en utilisant les opérateurs min et max de l'ensemble ordonné de valeurs. La définition suivante est une reformulation de l'influence propagée dans un chemin définie par Kosko. L'influence dans un chemin

est le minimum des influences qui composent le chemin.

**Définition 2.16 (Influence propagée dans un chemin d'influence d'une carte avec valeurs symboliques)**

Soit  $OM$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et l'ensemble partiellement ordonné de valeurs  $I_O = \{nul \lesssim faible \lesssim moyen \lesssim fort\}$ . L'influence propagée dans un chemin d'influence  $P$  d'une carte avec valeurs symboliques est :

$$\mathcal{I}_P(P) = \min_{(v,v') \text{ de } P} \text{étiqu}_A((v, v'))$$

L'influence propagée entre deux concepts est, pour Kosko, la meilleure (la plus grande) des influences propagées dans les différents chemins qui existent entre ces concepts.

**Définition 2.17 (Influence propagée dans une carte avec valeurs symboliques)**

Soit  $OM$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et l'ensemble partiellement ordonné de valeurs  $\{nul \lesssim faible \lesssim moyen \lesssim fort\} = I_O$ . L'influence propagée entre deux concepts d'une carte avec valeurs symboliques est :

$$\begin{aligned} \mathcal{I}(c_1, c_2) &= nul \text{ si } \mathcal{P}_{c_1, c_2} = \emptyset \\ \mathcal{I}(c_1, c_2) &= \max_{P \in \mathcal{P}_{c_1, c_2}} \mathcal{I}_P(P) \text{ si } \mathcal{P}_{c_1, c_2} \neq \emptyset \end{aligned}$$

L'influence ontologique est la même que dans la définition 2.12.

**Exemple 2.16**

La figure 2.6 montre la carte précédemment utilisée mais étiquetée par les valeurs symboliques : *nul*, *faible*, *moyen*, *fort*.

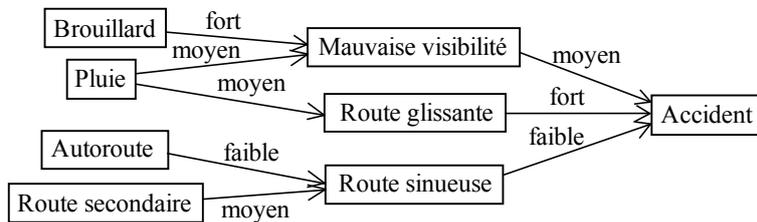


Figure 2.6 – Carte avec valeurs symboliques.

Calculons l'influence ontologique entre le concept *Mauvaise condition de trafic* et le concept *Accident*. L'ensemble des concepts élémentaires pour le concept *Mauvaise condition de trafic* est :  $elemPour(Mauvaise\ condition\ de\ trafic) = \{Mauvaise$

*visibilité*, *Route sinueuse*, *Route glissante*}. Le concept *Accident* est élémentaire, donc  $elemPour(Accident) = \{Accident\}$ . L'influence propagée entre *Mauvaise visibilité* et *Accident* est égale à *moyen*. L'influence propagée entre *Route glissante* et *Accident* est égale à *fort*. L'influence propagée entre *Route sinueuse* et *Accident* est égale à *faible*.

L'influence ontologique est un intervalle compris entre la plus petite et la plus grande des influences propagées, c'est à dire dans le cas présent entre *faible* et *fort* :  $\mathcal{I}_O(Mauvaise\ condition\ de\ trafic, Accident) = [faible,fort]$ .

Tous les ensembles de valeurs possibles et toutes les opérations d'agrégations fournies dépendent du choix du concepteur. Leur sémantique est évidemment discutable et il serait possible d'introduire de nombreuses variantes dans l'esprit des opérations d'agrégation des logiques floues numériques ou symboliques (voir Annexe).

## Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé un modèle de carte cognitive ontologique qui associe une ontologie et une carte cognitive. L'ontologie permet de mieux comprendre la carte car elle organise les concepts. Nous avons fourni un mécanisme de propagation entre deux concepts de l'ontologie. Ce mécanisme utilise conjointement la structure de la carte cognitive et la structure de l'ontologie pour calculer des influences propagées qui n'auraient pas pu être calculées sur une carte seule. Dans le chapitre suivant, l'ontologie nous servira d'échelle et ce mécanisme de propagation nous permettra de calculer des vues.

# Chapitre 3

## Vue de cartes cognitives ontologiques

### Introduction

L'ontologie peut être utilisée comme une échelle sémantique pour voir la carte cognitive ontologique. Une *échelle* est un sous ensemble particulier de concepts de l'ontologie ; une échelle est donc en quelque sorte un barreau de l'échelle sémantique représentée par l'ontologie. Par analogie avec les cartes géographiques, l'ontologie est la notion d'échelle possible (entre 1/10 000 et 1/1 000 000 par exemple), et l'échelle, une échelle particulière choisie pour une vue particulière, par exemple 1/100 000. Les concepts d'une échelle sont choisis afin de fournir une vue de la carte cognitive ontologique. Une *vue* est une carte cognitive construite en n'utilisant que les concepts de l'échelle. Deux caractéristiques doivent être notées concernant la vue. D'une part, une vue d'une carte cognitive ontologique a normalement moins de concepts que le nombre de concepts élémentaires de la carte cognitive ontologique, ainsi la vue est plus lisible que la carte cognitive ontologique. D'autre part, chaque concept élémentaire ou un concept le généralisant est dans la vue, ainsi la vue est une généralisation de la carte associée à la carte cognitive ontologique. Pour respecter ces caractéristiques, l'échelle est définie comme un sous ensemble particulier des concepts de l'ontologie.

Quel que soit un *ensemble de concepts sélectionnés* par l'utilisateur dans une ontologie, une échelle pour cet ensemble peut être calculée et on peut donc ainsi obtenir une vue. L'ontologie est donc une réelle échelle sémantique qui permet à l'utilisateur de naviguer en changeant d'échelle, dans une carte cognitive ontologique.

Pour aider l'utilisateur à comprendre le résultat du calcul d'une influence ontologique entre deux concepts, la *vue pour une influence* est définie. Une telle vue est obtenue en calculant une échelle qui sera utilisée pour générer une vue qui mettra

en avant les concepts utilisés pour le calcul de l'influence ontologique.

Un *profil d'utilisateur* est une échelle associée à un utilisateur potentiel. Il est donc immédiat d'obtenir une vue spécifique pour l'utilisateur : c'est la vue calculée avec son profil. Souvent, une carte cognitive est utilisée pour permettre des discussions entre utilisateurs. nous proposons de définir une *vue partagée* qui permet de fournir une vue commune pour deux utilisateurs : les concepts intéressant chaque utilisateur y figureront.

La section 3.1 introduit la notion d'échelle. La section 3.2 présente ce qu'est une vue. La section 3.3 présente comment obtenir une vue pour un ensemble de concepts sélectionnés. La section 3.4 présente la vue pour un profil et la vue partagée. La section 3.5 présente la vue pour une influence.

## 3.1 Échelle

Une échelle peut aussi bien déterminer une vue avec des concepts ayant le même niveau de détails qu'une vue non uniforme, avec des parties détaillées et d'autres moins. La célèbre page de la bande dessinée Astérix (figure 3.1) illustre bien le type de vues que l'on souhaite obtenir. Pour comprendre le rapport entre le village gaulois à la Gaule et à l'Empire Romain, il n'est pas nécessaire de voir la totalité des détails de la carte.

Une vue d'une carte cognitive ontologique est une carte cognitive contenant généralement moins de concepts que la carte cognitive associée. Nous appelons *échelle* l'ensemble des concepts présentés dans la vue. On peut ainsi, par le choix de l'échelle, détailler certaines parties et pas d'autres. Une échelle respecte deux propriétés spécifiques : d'une part tous les concepts d'une échelle sont incomparables entre eux et d'autre part ils doivent être représentatifs de l'ensemble des concepts de l'ontologie.

En effet, une échelle est composée d'un ensemble de concepts incomparables. L'intuition de la notion de comparabilité pour deux concepts est que l'un est plus petit que l'autre. Ainsi, dans une échelle, aucun concept ne sera deux fois représenté : une fois en tant que concept et une autre fois par un concept qui le généralise (supérieur).

### Définition 3.1 (Concepts comparables)

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Deux concepts  $c$  et  $c'$  de  $C$  sont *comparables* ssi  $c \preceq c'$  ou  $c' \preceq c$ .

### Exemple 3.1

Dans l'ontologie  $O1$  (figure 3.2), les concepts *Autoroute* et *Route* sont comparables

### 3.1 Échelle

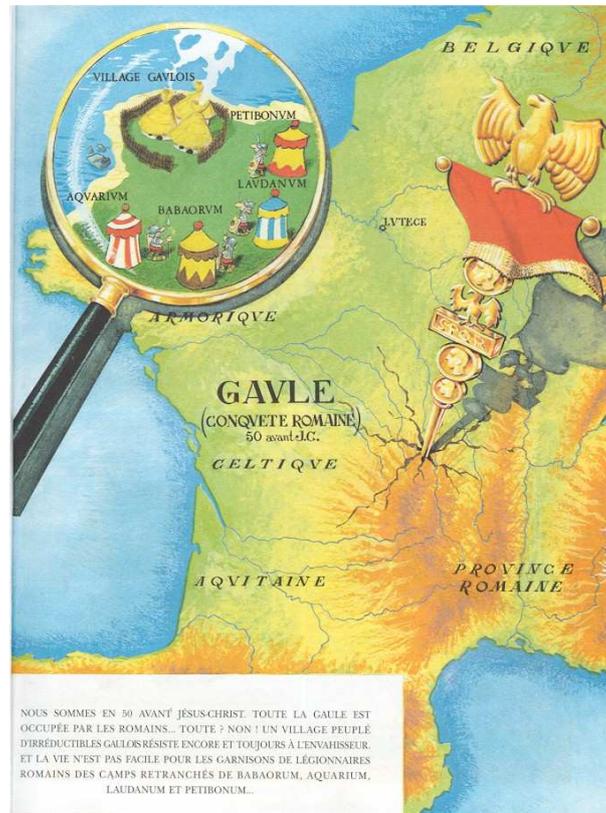


Figure 3.1 – Exemple de vue non uniforme.

alors que les concepts *Autoroute* et *Route secondaire* ne le sont pas.

#### Définition 3.2 (Ensemble de concepts incomparables)

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Soit  $C' \subseteq C$ .  $C'$  est un *ensemble de concepts incomparables* ssi  $\forall c, c' \in C'$  qui sont différents,  $c$  et  $c'$  ne sont pas comparables.

#### Exemple 3.2

Dans  $O1$ , l'ensemble de concepts  $\{ \textit{Autoroute}, \textit{Route secondaire} \}$  est un ensemble de concepts incomparables.

La représentativité des concepts d'une échelle consiste à garantir que chaque concept de la carte cognitive associée est présent dans l'échelle ou représenté par un concept supérieur. Pour ce faire nous allons définir ce qu'est un ensemble représentatif d'un autre ensemble et nous utiliserons cette définition pour décrire une échelle comme un ensemble représentatif de l'ensemble des concepts de la carte cognitive.

Pour définir un ensemble représentatif d'un ensemble, généralisons la définition

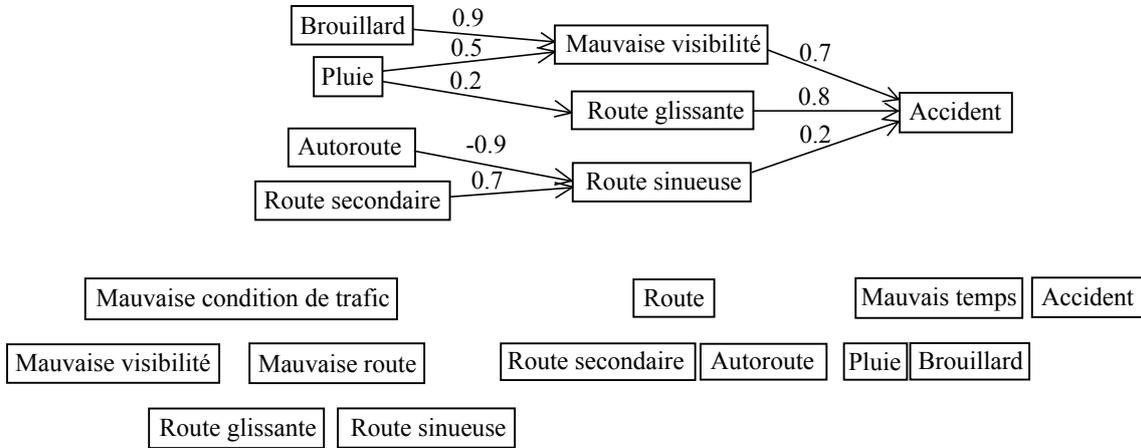


Figure 3.2 – Carte cognitive ontologique  $OCC1$  composée de la carte cognitive  $CC1$  et de l'ontologie  $O1$ .

d'un ensemble de concepts élémentaires associés à un concept (définition 2.11) à celle d'ensemble de concepts élémentaires associés à un ensemble. Un ensemble est représentatif d'un autre lorsque les concepts élémentaires associés au premier ensemble contiennent les concepts élémentaires du second.

**Définition 3.3 (Concepts élémentaires pour un ensemble)**

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Soit  $C' \subseteq C$ . On appelle l'ensemble des concepts élémentaires pour un ensemble  $C'$  :  $elemPourEns(C') = \bigcup_{c \in C'} elemPour(c)$ .

**Exemple 3.3**

Prenons l'ensemble de concepts  $\{ Route, Mauvais temps \}$ . L'ensemble des concepts élémentaires pour cet ensemble est  $\{ Autoroute, Route secondaire, Brouillard, Pluie \}$ .

**Remarque**

Remarquons que pour une ontologie par construction,  $elemPourEns(C) = min(C)$ .

**Définition 3.4 (Ensemble représentatif d'un ensemble)**

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Soit  $C_1, C_2 \subseteq C$ .  $C_1$  est un ensemble représentatif de  $C_2$  ssi  $elemPourEns(C_2) \subseteq elemPourEns(C_1)$ .

**Exemple 3.4**

Dans  $OCC1$ , prenons l'ensemble de concepts  $\{ Mauvaise condition de trafic \}$ . L'ensemble des concepts  $\{ Mauvaise visibilité, Mauvaise route \}$  est représentatif de cet ensemble car l'ensemble des concepts élémentaires pour  $\{ Mauvaise condition de$

*trafic* } est { *Mauvaise visibilité*, *Route glissante*, *Route sinueuse* } et celui-ci est inclus ou égal (ici il est égal) à l'ensemble des concepts élémentaires pour { *Mauvaise visibilité*, *Mauvaise route* }.

La propriété 3.1 montre qu'un ensemble est représentatif de l'ontologie si et seulement si ses concepts élémentaires sont ceux de l'ontologie.

### Propriété 3.1

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Soit  $C' \subseteq C$ .  $C'$  est un ensemble représentatif de  $C$  ssi  $elemPourEns(C') = min(C)$ .

### Démonstration

( $\Rightarrow$ )  $C'$  est un ensemble représentatif de  $C$  donc  $elemPourEns(C) \subseteq elemPourEns(C')$  (définition 3.4). Or  $elemPourEns(C) = min(C)$  donc  $min(C) \subseteq elemPourEns(C')$ . Comme  $C' \subseteq C$ ,  $elemPourEns(C') \subseteq min(C)$ . Donc  $min(C) = elemPourEns(C')$ .

( $\Leftarrow$ )  $min(C) = elemPourEns(C')$ . Comme  $min(C) = elemPourEns(C)$ ,  $elemPourEns(C') = elemPourEns(C)$  donc  $elemPourEns(C) \subseteq elemPourEns(C')$ . Donc d'après la définition 3.4,  $C'$  est un ensemble représentatif de  $C$ .

Nous définissons donc l'échelle qui nous servira dans les sections suivantes à déterminer des vues.

### Définition 3.5 (Echelle)

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Soit  $C' \subseteq C$ .  $C'$  est une *échelle* ssi **1)** est un ensemble de concepts incomparables et **2)** est représentatif de  $C$ .

### Exemple 3.5

{*Mauvaise condition de trafic*, *Route*, *Mauvais temps*, *Accident*} est une échelle de  $O1$ . {*Mauvaise condition de trafic*, *Route secondaire*, *Autoroute*, *Mauvais temps*, *Accident*} est une échelle de  $O1$ .

## 3.2 Vue pour une échelle

Une vue pour une carte cognitive est définie pour une échelle donnée. Une vue synthétise la carte cognitive en faisant apparaître simplement les concepts de l'échelle. Deux concepts d'une vue sont connectés si il existe un concept élémentaire pour chacun d'eux tels que ces deux concepts élémentaires sont reliés par un chemin dans la carte cognitive ontologique.

### Définition 3.6 (Connexion entre deux concepts)

Soit  $CO = (V, étiqu_V, A, étiqu_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une onto-

logie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . Deux concepts  $c_1$  et  $c_2$  de  $C$  sont *connectés* ssi  $\exists c'_1 \in \text{elemPour}(c_1), \exists c'_2 \in \text{elemPour}(c_2) \mid (\text{étiq}_V^{-1}(c'_1), \text{étiq}_V^{-1}(c'_2)) \in A$ .

**Exemple 3.6**

Dans  $OCC1$ , *Mauvaise condition de trafic* et *Accident* sont connectés car *Mauvaise visibilité*, qui est un concept élémentaire pour *Mauvaise condition de trafic*, influence *Accident*.

Un arc entre deux concepts élémentaires de la vue est étiqueté de la même façon qu'il l'est dans la carte cognitive ontologique. Pour les arcs qui ne sont pas entre des concepts élémentaires, leur valeur dans la vue est calculée en utilisant l'influence ontologique.

**Définition 3.7 (Valeur d'une influence entre deux concepts connectés)**

Soit  $CO = (V, \text{étiq}_V, A, \text{étiq}_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ .  $\forall c_1, c_2 \in C$  qui sont connectés :

$$\text{Valeur}(c_1, c_2) = \begin{cases} \text{étiq}_A(\text{étiq}_V^{-1}(c_1), \text{étiq}_V^{-1}(c_2)) & \text{si } c_1 \text{ et } c_2 \text{ sont des concepts} \\ \text{élémentaires.} \\ \mathcal{I}_O(c_1, c_2) & \text{sinon.} \end{cases}$$

**Exemple 3.7**

Il n'y a pas d'influence entre *Mauvaise condition de trafic* et *Accident* car *Mauvaise condition de trafic* n'est pas un concept élémentaire, ils sont néanmoins connectés. La valeur de l'influence entre ces concepts est égale à l'influence ontologique entre ces concepts, c'est à dire dans le cas présent :  $\mathcal{I}_O(\text{Mauvaise condition de trafic}, \text{Accident}) = [0.2, 0.8]$

Une fois que les concepts (échelle) et les influences (connexions et valeurs) de la vue sont déterminés, la construction de la vue peut être fournie.

**Définition 3.8 (Vue pour une échelle)**

Soit  $CO = (V, \text{étiq}_V, A, \text{étiq}_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . Soit  $C'$  une échelle.

Une *vue pour*  $C'$  de  $CO$  est une carte cognitive  $(V_s, \text{étiq}_{V_s}, A_s, \text{étiq}_{A_s})$  définie sur  $C'$  et  $I$  telle que :

- $V_s$  est un ensemble de nœuds dont la cardinalité est égale à la cardinalité de  $C'$ .
- $\text{étiq}_{V_s} : V_s \rightarrow C'$  est une fonction bijective étiquetant chaque nœud de  $V_s$  avec un concept de  $C'$ .
- $A_s \subseteq V_s \times V_s$  est l'ensemble des influences  $(\text{étiq}_{V_s}^{-1}(c_1), \text{étiq}_{V_s}^{-1}(c_2))$  tel que  $c_1$  et  $c_2$  de  $C'$  sont connectés.

### 3.3 Vue pour un ensemble de concepts sélectionnés

- $étiq_{A_s} : A_s \rightarrow I \cup I \times I$  est une fonction d'étiquetage tel que  $étiq_{A_s}((v_1, v_2)) = Valeur(étiq_{V_s}(v_1), étiq_{V_s}(v_2))$ .

#### Exemple 3.8

Figure 3.3 est la vue de *OCC1* pour l'échelle  $\{ Mauvaise\ condition\ de\ trafic, Route, Mauvais\ temps, Accident \}$ . La couleur grise des boites n'est significative que pour l'exemple 3.9.

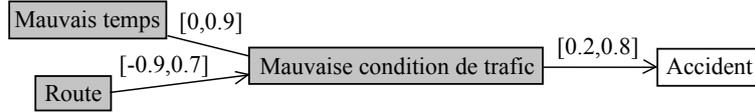


Figure 3.3 – Vue d' *OCC1*.

## 3.3 Vue pour un ensemble de concepts sélectionnés

Pour obtenir une vue, un utilisateur peut sélectionner une échelle. Nous proposons aussi à l'utilisateur d'obtenir une vue à partir de n'importe quel ensemble de concepts sélectionnés. Pour faire cela, on calcule une échelle associée à l'ensemble de concepts sélectionnés.

#### Définition 3.9 (Ensemble de concepts sélectionnés)

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Un *ensemble  $C_s$  de concepts sélectionnés* est un sous ensemble de  $C$  choisi par l'utilisateur pour obtenir une vue.

L'échelle est calculée de manière à ce que les concepts inférieurs aux concepts sélectionnés ne soit pas présents dans celle-ci. L'utilisateur n'est pas obligé de sélectionner une échelle complète, celle-ci est complétée avec les concepts élémentaires de l'ontologie qui ne sont pas inférieurs aux sélectionnés. De plus, le calcul de l'échelle tolère que l'utilisateur puisse sélectionner des concepts qui sont comparables, l'échelle ne contient que le maximum de l'ensemble de ces concepts sélectionnés.

#### Définition 3.10 (Concepts de la vue pour un ensemble de concepts sélectionnés)

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Soit  $C_s$  l'ensemble de concepts sélectionnés par l'utilisateur. On appelle les concepts de la vue pour  $C_s$  :  $ConceptsVuePourSelect(C_s) = max(C_s) \cup (min(C) \setminus \bigcup_{c \in C_s} elemPour(c))$ .

L'idée utilisée afin de calculer une échelle à partir d'un ensemble  $C_s$  de concepts sélectionnés est la suivante. Premièrement chaque concept de  $C_s$  sera représenté dans l'échelle car  $max(C_s)$  est un ensemble représentatif de  $C_s$ . L'utilisation du  $max$  permet de supprimer un concept de  $C_s$  lorsqu'il est déjà représenté par un concept qui lui est supérieur. Ainsi, la vue contient les concepts qui sont intéressants pour l'utilisateur. Deuxièmement, les autres concepts de  $C$  qui ne sont pas représentés par  $max(C_s)$  seront représentés dans l'échelle par des concepts élémentaires. Ainsi, la vue est le plus proche possible de la carte cognitive initiale associée à la carte cognitive ontologique : seuls les concepts élémentaires qui sont inférieurs à un concept de  $C_s$  ne sont pas dans la vue.

La propriété 3.2 permet d'utiliser les concepts de la vue pour  $C_s$  de sorte à calculer une vue. En effet, les concepts de la vue pour  $C_s$  forment une échelle.

### Propriété 3.2

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Soit  $C_s$  l'ensemble de concepts sélectionnés par l'utilisateur.  $ConceptsVuePourSelect(C_s)$  est une échelle.

### Démonstration

1)  $ConceptsVuePourSelect(C_s)$  est un ensemble de concepts incomparables parce que  $\bigcup_{c \in C_s} elemPour(c)$  enlève de  $min(C)$  tous les concepts comparables avec un concept de  $max(C_s)$ ;  $max(C_s)$  et  $min(C)$  sont tous les deux composés de concepts incomparables.

2)  $elemPourEns(ConceptsVuePourSelect(C_s))$  est évidemment  $min(C)$ , aussi (propriété 3.1)  $ConceptsVuePourSelect(C_s)$  est représentative de  $C$ .

### Définition 3.11 (Vue pour un ensemble de concepts sélectionnés)

Soit  $CO = (V, étiqu_V, A, étiqu_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . Soit  $C_s$  un ensemble de concepts sélectionnés. Une vue pour un ensemble de concepts sélectionnés  $C_s$  de  $CO$  est une vue pour  $ConceptsVuePourSelect(C_s)$  de  $CO$ .

### Exemple 3.9

Une vue de la carte  $OCC1$  est fournie figure 3.3. Cette vue est déterminée pour l'ensemble de concepts sélectionnés  $C_s = \{Mauvaise\ condition\ de\ trafic, Route, Mauvais\ temps\}$ .  $ConceptsVuePourSelect(C_s) = \{Mauvaise\ condition\ de\ trafic, Route, Mauvais\ temps, Accident\}$ . Pour une meilleure présentation, les concepts de  $C_s$  sont dans des boites grises.

### Remarque

Lorsque l'ontologie contient un concept qui est une spécialisation de plusieurs concepts, une vue de la carte cognitive ontologique peut contenir plus de concepts que la carte cognitive associée à celle-ci.

## 3.4 Vue pour un profil

Une carte cognitive est souvent utilisée par plusieurs personnes. L'idée est d'associer un profil à une personne de sorte à fournir, à sa demande, une carte qui lui est dédiée. Ces profils doivent être fournis par le concepteur. Un profil est une simple échelle définie pour l'utilisateur qui sera utilisée pour générer la vue.

### Définition 3.12 (Profil d'utilisateur)

Soit  $(C, \preceq)$  une ontologie. Un *profil d'utilisateur* est une échelle de  $C$ .

### Exemple 3.10

$P_m = \{\text{Brouillard}, \text{Pluie}, \text{Route}, \text{Mauvaise condition de trafic}, \text{Accident}\}$  est un profil pour l'utilisateur « météorologiste ».

### Définition 3.13 (Vue pour un profil)

Soit  $CO = (V, \text{étiqu}_V, A, \text{étiqu}_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . Soit  $P$  un profil d'utilisateur. La *vue pour un profil*  $P$  est la vue pour  $P$  de  $CO$ .

### Exemple 3.11

La figure 3.4 présente la vue pour le profil  $P_m = \{\text{Brouillard}, \text{Pluie}, \text{Route}, \text{Mauvaise condition de trafic}, \text{Accident}\}$  construit pour l'utilisateur « météorologiste ». Une autre vue pour le profil  $P_r = \{\text{Autoroute}, \text{Route secondaire}, \text{Mauvais temps}, \text{Mauvaise condition de trafic}, \text{Accident}\}$  peut être calculée pour l'utilisateur « constructeur de routes ».

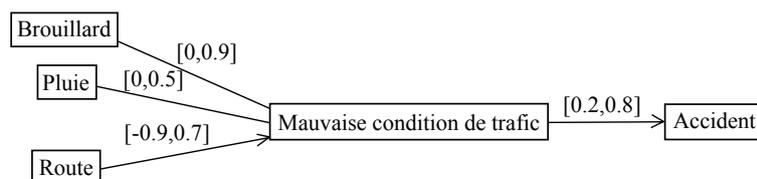


Figure 3.4 – Vue pour l'utilisateur « météorologiste ».

Une carte cognitive est parfois utilisée par deux personnes qui veulent réfléchir ensemble à un problème. Nous proposons dans ce but de générer une vue partagée qui leur permet de collaborer sur une unique vue adaptée aux deux utilisateurs. Pour ce faire les concepts partagés sont calculés en utilisant un *min* de sorte à garder les détails des deux profils dans la vue partagée.

### Définition 3.14 (Concepts partagés)

Soit  $CO = (V, \text{étiqu}_V, A, \text{étiqu}_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . On appelle *l'ensemble des concepts partagés*

pour deux profils  $P_1$  et  $P_2$  :  $ConceptsPartagés(P_1, P_2) = \min(P_1 \cup P_2)$ .

La propriété 3.3 permet d'utiliser les concepts partagés de sorte à calculer la vue.

**Propriété 3.3**

Soit  $CO$  une carte cognitive ontologique définie sur  $(C, \preceq)$  et  $I$ . Soit  $P_1$  et  $P_2$  deux profils.  $ConceptsPartagés(P_1, P_2)$  est une échelle pour  $C$ .

**Démonstration**

1) En tant que  $\min$ ,  $ConceptsPartagés(P_1, P_2)$  est évidemment un ensemble de concepts incomparables.

2) Comme  $P_1$  et  $P_2$  sont représentatifs de  $C$ ,  $P_1 \cup P_2$  est représentatif de  $C$ . Comme par définition,  $\min(P_1 \cup P_2)$  est représentatif de  $P_1 \cup P_2$  et que  $P_1 \cup P_2$  est représentatif de  $C$ ,  $\min(P_1 \cup P_2)$  est représentatif de  $C$ .  $ConceptsPartagés(P_1, P_2)$  est donc représentatif de  $C$ .

**Définition 3.15 (Vue partagée)**

Soit  $CO = (V, étiqu_V, A, étiqu_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . Soient  $P_1$  et  $P_2$  deux profils. La *vue partagée* pour  $P_1$  et  $P_2$  est la vue pour  $ConceptsPartagés(P_1, P_2)$  de  $CO$ .

**Exemple 3.12**

La figure 3.5 présente la vue partagée pour les deux profils  $P_r$  et  $P_m$ . Pour une meilleure présentation, les concepts de  $P_m$  sont représentés par des boites dont les bords sont en pointillés. Les concepts de  $P_r$  sont représentés dans des boites à fond gris. Les concepts de  $P_r \cap P_m$  sont représentés dans des boites grises avec pointillés.

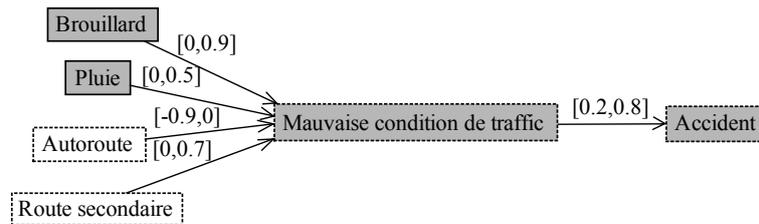


Figure 3.5 – Vue partagée pour  $P_r$  et  $P_m$ .

Dans le même esprit, on pourrait trivialement définir des vues partagées pour un nombre quelconque d'utilisateurs.

### 3.5 Vue de l'influence

L'idée est d'aider l'utilisateur à comprendre l'influence ontologique entre deux concepts. Les concepts élémentaires impliqués dans l'influence ontologique sont dé-

terminés et présentés dans la vue de sorte à permettre à l'utilisateur de voir en détail la propagation.

**Définition 3.16 (Concepts impliqués dans une influence ontologique)**

Soit  $CO = (V, \text{étiqu}_V, A, \text{étiqu}_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . L'ensemble des *concepts impliqués dans une influence ontologique* de  $c_1$  vers  $c_2$  de  $C$  est :  $\text{ConceptsImpliqués}(c_1, c_2) = \{c \in \min(C) \mid (\text{étiqu}_V^{-1}(c), \_) \text{ ou } (\_, \text{étiqu}_V^{-1}(c)) \text{ est une influence d'un chemin de } \mathcal{P}_{c_1, c_2}, \text{ avec } c_1' \in \text{elemPour}(c_1), c_2' \in \text{elemPour}(c_2)\}$ .

**Exemple 3.13**

Dans  $OCC1$ ,  $\text{ConceptsImpliqués}(\text{Brouillard}, \text{Accident}) = \{\text{Brouillard}, \text{Mauvaise visibilité}, \text{Accident}\}$ .

Les concepts qui sont incomparables aux concepts impliqués doivent aussi être pris en compte. L'idée est de garder uniquement les concepts maximaux de sorte à minimiser (dans la plupart des cas) le nombre de concepts présents dans la vue.

**Définition 3.17 (Concepts incomparables aux concepts impliqués)**

Soit  $CO = (V, \text{étiqu}_V, A, \text{étiqu}_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . On appelle *concepts incomparables aux concepts impliqués*  $c_1, c_2$  de  $C$  :  $\text{IncomparableAuxImpliqués}(c_1, c_2) = \{c \in C \mid \nexists c' \in \text{ConceptsImpliqués}(c_1, c_2), c \text{ et } c' \text{ sont comparables}\}$ .

**Définition 3.18 (Concepts d'une vue pour une influence)**

Soit  $CO = (V, \text{étiqu}_V, A, \text{étiqu}_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . On appelle *concepts d'une vue pour une influence* entre  $c_1, c_2$  de  $C$  :  $\text{ConceptsVuePourInfluence}(c_1, c_2) = \text{ConceptsImpliqués}(c_1, c_2) \cup \max(\text{IncomparableAuxImpliqués}(c_1, c_2))$ .

La propriété 3.4 permet d'utiliser les concepts d'une vue pour une influence de sorte à calculer une vue.

**Propriété 3.4**

Soit  $CO = (V, \text{étiqu}_V, A, \text{étiqu}_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . Soit  $c_1, c_2$  deux concepts de  $C$ .  $\text{ConceptsVuePourInfluence}(c_1, c_2)$  est une échelle.

**Démonstration**

1)  $\text{ConceptsImpliqués}(c_1, c_2)$  est un ensemble de concepts incomparables parce que composé de concepts élémentaires ;  $\max(\text{IncomparableAuxImpliqués}(c_1, c_2))$  est évidemment un ensemble de concepts incomparables. À cause de la définition 3.17

qui fait qu'aucun concept de  $ConceptsImpliqués(c_1, c_2)$  n'est comparable avec un concept de  $IncomparableAuxImpliqués(c_1, c_2)$  et aussi de  $\max(IncomparableAuxImpliqués(c_1, c_2))$ ,  $ConceptsVuePourInfluence(c_1, c_2)$  est un ensemble de concepts incomparables.

2) Soit  $c$  un élément de  $\min(C)$ ,  $c$  est un élément de  $ConceptsImpliqués(c_1, c_2)$  ou un élément de  $IncomparableAuxImpliqués(c_1, c_2)$ . Si  $c$  est un élément de  $ConceptsImpliqués(c_1, c_2)$ ,  $c$  appartient à  $elemPourEns(ConceptsImpliqués(c_1, c_2))$ . Si  $c$  est un élément de  $IncomparableAuxImpliqués(c_1, c_2)$ ,  $c$  appartient à  $elemPourEns(\max(IncomparableAuxImpliqués(c_1, c_2)))$ .

Ainsi,  $\min(C) \subseteq elemPourEns(ConceptsImpliqués(c_1, c_2)) \cup elemPourEns(\max(IncomparableAuxImpliqués(c_1, c_2)))$ .

Comme  $elemPourEns(ConceptsVuePourInfluence(c_1, c_2)) = elemPourEns(ConceptsImpliqués(c_1, c_2)) \cup elemPourEns(\max(IncomparableAuxImpliqués(c_1, c_2)))$  et parce que les éléments retournés par la fonction  $elemPourEns$  sont nécessairement des éléments de  $\min(C)$ ,  $elemPourEns(ConceptsVuePourInfluence(c_1, c_2)) = \min(C)$ , et donc (propriété 3.1)  $ConceptsVuePourInfluence(c_1, c_2)$  est représentative de  $C$ .

### Définition 3.19 (Vue pour une influence)

Soit  $CO = (V, étiqu_V, A, étiqu_A)$  une carte cognitive ontologique définie sur une ontologie  $(C, \preceq)$  et un ensemble de valeurs  $I$ . La *vue pour une influence* entre  $c_1, c_2$  de  $C$  est la vue pour  $ConceptsVuePourInfluence(c_1, c_2)$  de  $CO$ .

### Exemple 3.14

La figure 3.6 présente la vue pour l'influence entre les concepts *Mauvais temps* et *Accident*. Les concepts élémentaires de *Mauvais temps*, de *Mauvaise condition de trafic* et d'*Accident* sont des concepts impliqués. Pour une meilleure présentation les concepts impliqués sont dans une boîte grise. Notons que les concepts *Autouroute* et *Route secondaire* ne sont pas des concepts impliqués. Ils sont donc représentés dans la carte par le concept générique *Route*.

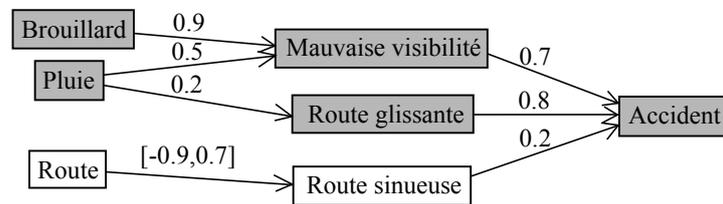


Figure 3.6 – Vue pour une influence.

Notons que ce mécanisme de vue pour une influence fonctionne à l'opposé du mécanisme de vue pour un ensemble de concepts sélectionnés. En effet le premier

mécanisme présente en priorité des concepts élémentaires afin de comprendre les détails de la propagation, alors que le second remplace des concepts élémentaires par des concepts plus généraux afin d'avoir une vue plus synthétique de la carte.

## Conclusion

L'aspect graphique d'une carte cognitive la rend facile à appréhender. Cet avantage devient un inconvénient lorsque la carte contient un grand nombre d'arcs et de sommets. Dans ce chapitre nous avons présenté des mécanismes qui fournissent des vues synthétiques d'une carte cognitive ontologique pour différentes échelles. L'utilisateur peut appréhender le contenu de la carte en choisissant une échelle contenant des concepts génériques et modifier cette échelle afin d'observer en détail les parties de la carte qui l'intéressent. Nous avons proposé un système de profil qui permet à des utilisateurs dont les intérêts sont différents de définir leur propre vue de la carte. Enfin nous avons proposé un mécanisme qui aide à comprendre l'influence ontologique entre deux concepts en présentant à l'utilisateur une vue détaillant les concepts et influences qui la déterminent.



# Chapitre 4

## Les cartes cognitives contextuelles

### Introduction

Les connaissances exprimées dans une carte cognitive peuvent être fortement liées à des points de vue ou des centres d'intérêts des concepteurs de la carte. Selon les conditions d'utilisation de la carte, certaines de ces connaissances sont pertinentes alors que d'autres ne le sont pas. Les connaissances exprimées par un concepteur de la carte ayant un point de vue proche de celui d'un utilisateur devraient être pertinentes pour cet utilisateur. Au contraire, celles exprimées par un concepteur dont le point de vue est éloigné de celui de l'utilisateur devraient avoir un intérêt moindre pour celui-ci. Une carte peut donc regrouper plusieurs points de vue, dans ce cas là, certaines connaissances de la carte ne sont valides que pour certains points de vue. Exploiter une telle carte dans sa totalité équivaut à considérer une union de connaissances qui n'est pas pertinente. L'exploitation de cette carte est donc difficile.

Le modèle de *cartes cognitives contextuelles* que nous proposons fournit la possibilité au concepteur d'explicitier le *contexte de validité* de chaque influence d'une carte. Conjointement à cette représentation de la validité des influences, ce modèle fournit un mécanisme qui permet à l'utilisateur de filtrer les informations en fonction du *contexte d'utilisation* qui l'intéresse. Le résultat de ce filtrage est une carte cognitive que nous appelons *vue contextuelle*. Une vue contextuelle a plusieurs avantages par rapport à la carte dont elle est issue. Tout d'abord, une vue contextuelle est plus petite que la carte dont elle est issue, elle est donc plus facile à comprendre. Ensuite, comme elle correspond mieux au contexte d'utilisation, elle est plus pertinente pour l'utilisateur. Enfin, dans une carte contenant des influences dont les contextes de validité sont différents, les calculs d'influence peuvent fournir des résultats ambigus. Au contraire, les calculs effectués sur la vue contextuelle, celle-ci contenant uniquement des influences définies sur un contexte précis, sont susceptibles de fournir des résultats plus précis et moins ambigus.

Les contextes doivent être définis de manière claire, non seulement pour que les utilisateurs comprennent quand une influence est valide mais aussi pour que le filtrage fournisse des résultats satisfaisants. Pour représenter ces contextes, un langage de représentation de connaissances est nécessaire. Nous avons choisi d'employer le modèle des graphes conceptuels introduit dans [Sowa, 1984] et formalisé dans [Chein et Mugnier, 1992], [Mugnier et Chein, 1996]. Les graphes conceptuels sont, comme les cartes cognitives, des formalismes graphiques. Cette caractéristique favorise l'interprétation et l'expression de connaissances dans ce formalisme. De plus, le modèle des graphes conceptuels dispose d'une opération appelée *projection* permettant de mettre en œuvre le filtrage des contextes nécessaire au calcul de la vue contextuelle.

La section 4.1 présente le modèle de cartes cognitives contextuelles après avoir introduit le modèle des graphes conceptuels. La section 4.2 présente le mécanisme qui produit une vue contextuelle.

## 4.1 Le modèle des cartes cognitives contextuelles

Le modèle de carte cognitive présenté dans ce travail s'appuie sur un langage de représentation de connaissances pour représenter et manipuler des contextes. Le modèle choisi est le modèle des graphes conceptuels. Les définitions que nous présentons ici sont inspirées de [Mugnier et Chein, 1996].

De façon générale, l'utilisation du modèle des graphes conceptuels pour modéliser des connaissances d'un domaine se fait en deux étapes. D'abord, un *Support* est défini pour spécifier les connaissances structurelles du domaine étudié. Ensuite des *graphes conceptuels* modélisant des connaissances factuelles sont construits en faisant référence au support. Pour interroger, déduire et vérifier des connaissances, ce modèle dispose d'opérations. L'opération principale est l'opération de *projection* qui correspond à un morphisme de graphe. Nous présenterons la définition de cette opération dans la section 4.2.

Le modèle des graphes conceptuels nous intéresse car il permet, tout comme les cartes cognitives, de représenter des connaissances de façon graphique. Bien que la formalisation des graphes conceptuels soit issue de la théorie des graphes, on peut noter que ce modèle dispose d'une sémantique en logique du premier ordre qui est adéquate[Sowa, 1984] et complète[Mugnier et Chein, 1996]. En effet, il est possible d'associer à un support et à tout graphe conceptuel une formule de la logique du premier ordre par le biais d'un opérateur noté  $\Phi$  [Sowa, 1984]. Dans ce cas, l'existence d'une projection d'un graphe conceptuel  $H$  dans un graphe conceptuel  $G$  définis sur le support  $S$  est équivalente à  $\Phi(S), \Phi(G) \models \Phi(H)$ . Autrement dit, il existe une projection de  $H$  dans  $G$  si l'on peut déduire la formule logique associée à  $H$  à partir

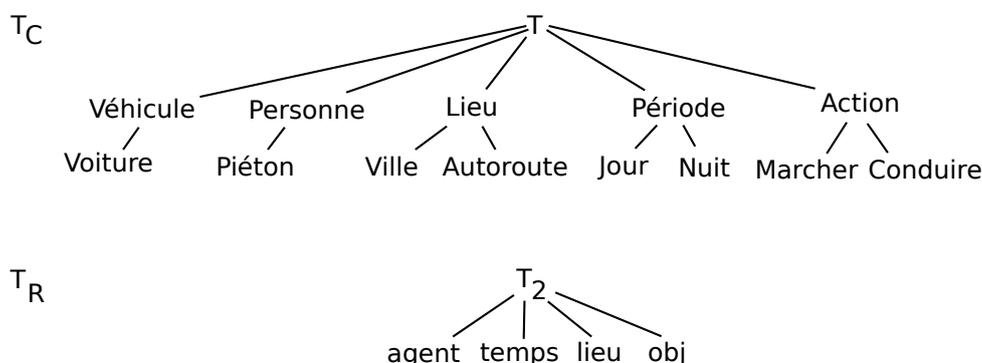


Figure 4.1 – Support.

des formules logiques associées au support et à  $G$ .

Le terme “concept” est employé dans le modèle des cartes cognitives et dans le modèle des graphes conceptuels. Pour différencier leur utilisation, nous emploierons le terme *gconcept* pour faire référence au terme concept du modèle des graphes conceptuels.

Le support organise, à l’aide de relations “sorte de”, un vocabulaire composé de types de gconcepts et de types de relations.

**Définition 4.1 (Support)**

Un *support*  $S$  est un triplet  $(T_C, T_R, W)$  tel que :

- $T_C$ , l’ensemble des types de gconcepts, est partiellement ordonné par la relation “sorte de” notée  $\leq$  et admet un plus grand élément noté  $\top$ .
- $T_R$ , l’ensemble des types de relations, est partiellement ordonné par la relation “sorte de” notée  $\leq$ . Cet ensemble est partitionné en sous-ensembles  $T_R^1, \dots, T_R^k$  de types de relations d’arité  $1, \dots, k$ . Deux types de relations d’arités différentes ne sont pas comparables.  $T_R \cap T_C = \emptyset$ .
- $W$  est l’ensemble des marqueurs individuels.  $W \cap T_C = \emptyset$ .  $W \cap T_R = \emptyset$ . De plus,  $*$  désigne le *marqueur générique* et  $M = W \cup \{*\}$  est appelé l’ensemble des *marqueurs*. L’ordre sur  $M$  est défini tel que  $*$  est le plus grand élément et tous les éléments de  $W$  sont incomparables.

**Exemple 4.1**

Le support représenté à la figure 4.1 définit des types de gconcepts tels que *Ville* (qui est une sorte de *Lieu*) et des types de relations binaires tels que *agent*.

Un graphe conceptuel est un graphe contenant deux classes de sommets appelés *sommets relations* et *sommets gconcepts*. Les sommets gconcepts sont reliés à des sommets relations par des arêtes numérotées. Les sommets relations sont étiquetés

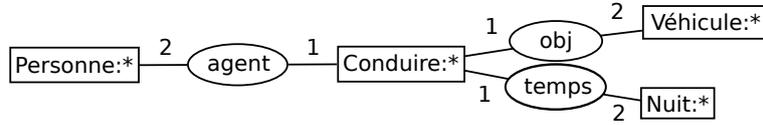


Figure 4.2 – Graphe conceptuel.

par un type de relation. Les sommets gconcepts, eux, sont étiquetés par un marqueur et un type de gconcept. Ces marqueurs, les types de relations et les types de gconcepts utilisés sont préalablement définis dans le support. Notons qu'un graphe conceptuel donné n'a de sens que par rapport au support sur lequel il est défini.

#### Définition 4.2 (Graphe conceptuel)

Un *graphe conceptuel*  $G = (C_G, R_G, E_G, l_G)$ , défini sur un support  $S = (T_C, T_R, W)$ , est un multigraphe biparti non-orienté étiqueté tel que :

- $C_G$  est l'ensemble des sommets gconcepts et  $R_G$  est l'ensemble des sommets relations. L'ensemble des sommets de  $G$  est  $N_G = C_G \cup R_G$ .
- $l_G$  est une fonction d'étiquetage des sommets et des arêtes qui satisfait :
  - Un sommet relation  $r \in R_G$  est étiqueté par  $\text{type}(r) \in T_R$ .
  - Un sommet gconcept  $c \in C_G$  est étiqueté par une paire  $(\text{type}(c), \text{marker}(c))$  avec  $\text{type}(c) \in T_C$  et  $\text{marker}(c) \in M$ .
  - Le degré d'un sommet relation  $r$  est égal à l'arité de  $\text{type}(r)$ .
  - Les arêtes incidentes à un sommet relation  $r$  sont totalement ordonnées et sont étiquetées de 1 à l'arité de  $\text{type}(r)$ .

#### Exemple 4.2

Dans la représentation graphique, les sommets gconcepts sont généralement entourés par des rectangles et les sommets relations sont entourés par des ellipses comme cela est visible dans la figure 4.2 qui présente un graphe conceptuel. Dans ce graphe, l'étiquette du sommet gconcept *Personne :\** est composée du type de gconcept *Personne* et du marqueur générique *\**. Deux arêtes sont adjacentes au sommet relation *agent* car il s'agit d'une relation binaire. L'arête entre *Conduire :\** et *agent* est étiquetée par *1* et l'arête entre *agent* et *Personne :\** est étiquetée par *2*. Cette partie du graphe conceptuel, composée des sommets *Conduire :\**, *agent*, *Personne :\** et des arêtes qui les relient, peut être interprété par : *une personne qui conduit*. L'ensemble du graphe peut être interprété par *une personne qui conduit un véhicule pendant la nuit*. Notons qu'il est possible de simplifier la représentation visuelle d'un sommet gconcept en ne présentant pas le marqueur lorsque celui-ci est le marqueur générique *\**.

Une carte cognitive contextuelle est représentée sous la forme d'un multi-graphe orienté étiqueté. Les nœuds de la carte sont étiquetés par un intitulé décrivant un concept. Les arcs du graphe représentent des *liens d'influence*. Les arcs du graphe

sont étiquetés par un signe + ou -, comme dans la section 2.5, pour signifier qu'un concept peut avoir une influence positive ou négative sur une autre. L'utilisation de valeurs + ou - pour les influences permet de mettre en évidence des ambiguïtés entre des concepts de la carte. Enfin, le concepteur d'une carte cognitive contextuelle peut exprimer à l'aide de graphes conceptuels le contexte de validité de chaque influence.

### Définition 4.3 (Carte cognitive contextuelle)

Soit  $C$  un ensemble de concepts.

Soit  $I$  un ensemble de symboles.

Soit  $K$  un ensemble de graphes conceptuels définis sur le support  $S$  représentant des contextes.

Une *carte cognitive contextuelle* définie sur  $C, I, S, K$ , est un multigraphe orienté étiqueté  $(V, \text{étiq}_V, A, \text{étiq}_A, \text{cont}_A)$  où :

- $V$  est un ensemble de sommets.
- $\text{étiq}_V : V \mapsto C$  est une fonction d'étiquetage qui associe un concept de  $C$  à chaque nœud de  $V$ .
- $A$  est un multi-ensemble d'arcs. Soit  $a$  un arc de  $A$ , on note  $\text{origine}(a)$  l'origine de  $a$  et  $\text{extremite}(a)$  l'extrémité de  $a$ .
- $\text{étiq}_A : A \mapsto I$  est une fonction d'étiquetage qui associe un symbole à chaque arc de  $A$ .
- $\text{cont}_A : A \mapsto K \cup \{\nabla\}$  est une fonction qui associe à chaque arc de  $A$  un contexte.  $\nabla$  représente le contexte vide : un arc étiqueté par  $\nabla$  est toujours valide.

### Exemple 4.3

La carte cognitive contextuelle de la figure 4.3 s'inspire des problèmes de sécurité routière et peut être utilisée afin de sensibiliser des personnes à ces problèmes. Dans cette carte les influences sont positives ou négatives. Par exemple, l'arc entre le concept *Vitesse* et *Accident mortel* signifie que la vitesse augmente les risques d'accident mortel. À chaque influence de la carte de la figure 4.3 est associé un des contextes de validité représentés dans la figure 4.4. Les lettres présentes à côté des arcs de la figure 4.3 correspondent aux lettres présentes à gauche des graphes conceptuels de la figure 4.4. Ces lettres ne font pas partie du modèle des cartes cognitives contextuelles. Dans une interface graphique, la sélection d'un arc ferait apparaître le contexte associé à celui-ci. Certaines influences comme celle entre *Fatigue* et *Erreur humaine* sont toujours pertinentes quel que soit le contexte d'utilisation de la carte, le contexte vide  $\nabla$  leur est donc associé. L'influence du concept *Vitesse* sur le concept *Accident mortel* est pertinente pour un conducteur de véhicule (figure 4.4A). L'influence du concept *Passage pour piéton* sur le concept *Etre visible* est pertinente pour un piéton (figure 4.4B). L'influence du concept *Oublier ses phares* sur le concept *Bonne visibilité* est pertinente pour un conducteur de véhicule la

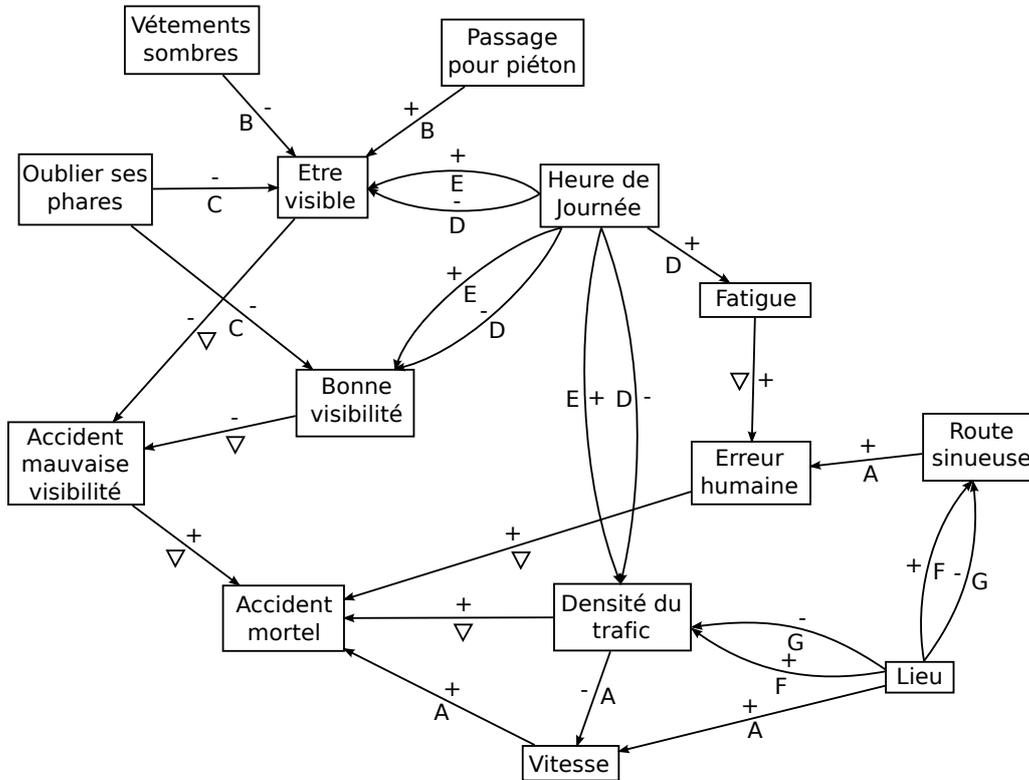


Figure 4.3 – Carte cognitive contextuelle.

nuit (figure 4.4C). Au sein d’une même carte, deux concepts peuvent être reliés par plusieurs influences. Par exemple, entre *Heure de la journée* et *Bonne visibilité* il y a une influence négative et une influence positive. Ceci n’est pas forcément problématique car une influence a pour contexte associé le contexte *Nuit* (figure 4.4D) et l’autre le contexte *Jour* (figure 4.4E)).

## 4.2 Exploitation d’une carte cognitive contextuelle

Une fois la carte établie, une fois que des contextes ont été associés aux influences, un utilisateur peut manipuler la carte cognitive contextuelle. Pour cela il précise d’abord le contexte dans lequel il souhaite l’utiliser. Le mécanisme de filtrage présenté dans cette section active alors les influences et les concepts pertinents dans le contexte choisi. Une vue contextuelle est ainsi déterminée. L’utilisateur peut

## 4.2 Exploitation d'une carte cognitive contextuelle

---

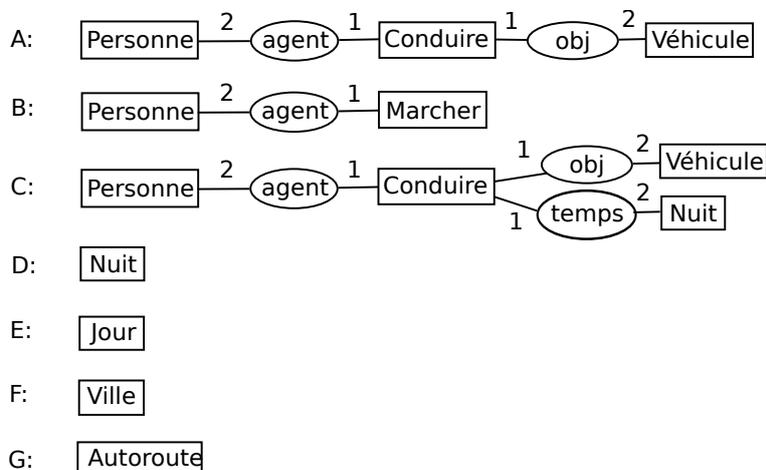


Figure 4.4 – Ensemble des contextes de validité des influences.

utiliser le mécanisme de propagation sur cette vue contextuelle pour connaître l'influence de n'importe quel concept sur un autre. Les résultats de cette propagation fourniront des résultats plus pertinents car moins souvent ambigus.

### Définition 4.4 (Contexte d'utilisation)

Soit  $C$  un ensemble de concepts.

Soit  $I$  un ensemble de symboles.

Soit  $K$  un ensemble de graphes conceptuels définis sur le support  $S$  représentant des contextes.

Soit  $M = (V, \text{étiqu}_V, A, \text{étiqu}_A, \text{cont}_A)$  une carte cognitive contextuelle définie sur  $C, I, S, K$ .

Un *contexte d'utilisation* de  $M$  (noté  $U$ ) est un graphe conceptuel défini sur  $S$  décrivant le contexte dans lequel  $M$  est utilisée.

Tel que le modèle est défini, l'utilisateur doit nécessairement connaître les graphes conceptuels pour exploiter la carte. Cependant, le concepteur peut construire une liste de contextes d'utilisation qui serait présentée à l'utilisateur. L'utilisateur n'aurait alors pas besoin de construire un graphe conceptuel, il en choisirait un qui lui semblerait adapté à son contexte d'utilisation.

### Exemple 4.4

L'utilisateur construit un graphe conceptuel pour décrire le contexte d'utilisation de la carte. Les graphes conceptuels représentant les contextes de validité des influences sont généralement moins spécialisés que le contexte d'utilisation car les contextes de validité correspondent à des cas généraux alors que le contexte d'utilisation décrit spécifiquement les particularités de l'utilisateur. Cela a pour effet qu'une influence

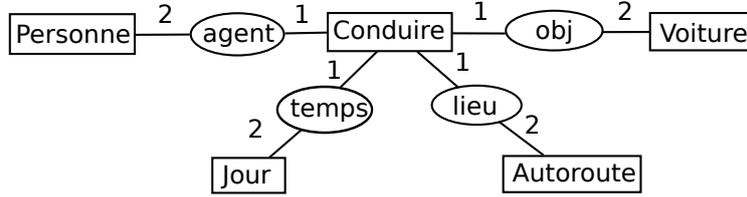


Figure 4.5 – Contexte d'utilisation pour un automobiliste conduisant de jour sur une autoroute.

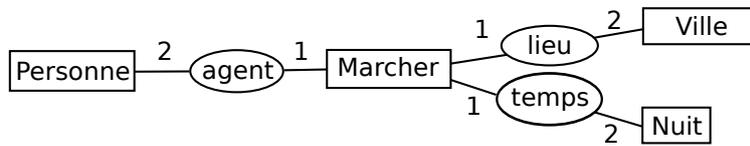


Figure 4.6 – Contexte d'utilisation pour un piéton marchant la nuit dans une ville.

peut s'activer dans plusieurs contextes d'utilisation. Dans les exemples que nous détaillerons plus loin, on prendra pour exemple le cas d'un automobiliste conduisant de jour sur une autoroute (figure 4.5) et le cas d'un piéton marchant la nuit dans une ville (figure 4.6).

Le mécanisme de filtrage s'appuie sur l'opération de projection du modèle des graphes conceptuels. Cette opération est l'opération de base du modèle des graphes conceptuels et correspond à un morphisme de graphes.

#### Définition 4.5 (Projection)

Soit  $G$  et  $H$  deux graphes conceptuels définis sur le même support. Une projection  $\pi$  de  $G$  dans  $H$  est une application de  $C_G$  dans  $C_H$  et de  $R_G$  dans  $R_H$  qui conserve les arêtes et leurs étiquettes et peut diminuer les étiquettes des sommets. Cette application est définie de la façon suivante :

- $\forall rc \in E_G \pi(r)\pi(c) \in E_H$  et  $l_G(rc) = l_H(\pi(r)\pi(c))$ .
- $\forall n \in N_G l_H(\pi(n)) \leq l_G(n)$   
 les étiquettes des sommets relations sont partiellement ordonnées par la relation d'ordre partiel sur  $T_R$ .  
 les étiquettes des sommets gconcepts sont partiellement ordonnées par  $(t, m) \leq (t', m')$  ssi  $t \leq t'$  et  $m \leq m'$ .

#### Exemple 4.5

L'opération de projection permet d'interroger un graphe conceptuel à l'aide d'un autre graphe conceptuel. La figure 4.7 montre une projection du graphe conceptuel  $A$  dans le graphe conceptuel  $B$ . La projection est symbolisée par des flèches en pointillé. De façon intuitive, on remarque que l'information représentée par le graphe  $A$  est

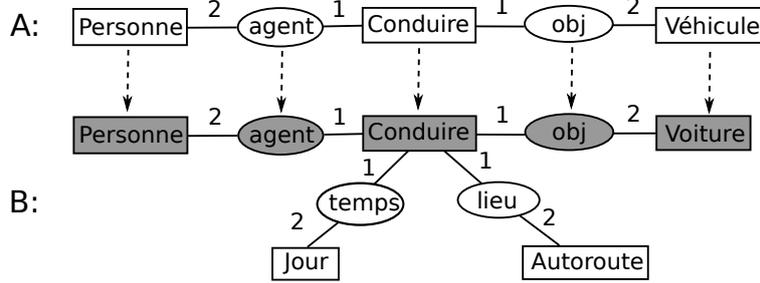


Figure 4.7 – Projection du graphe conceptuel *utilisateur de véhicule* dans le graphe *automobiliste*.

présente dans le graphe *B*. En effet, pour chaque sommet relation de *A* on retrouve dans *B* un sommet portant la même étiquette. Par exemple, le sommet *agent* est présent dans *A* et dans *B*. Pour chaque sommet gconcept de *A* on retrouve un sommet gconcept dans *B* portant la même étiquette, ou lorsque ce n'est pas le cas, le type de gconcept du sommet de *B* est une spécialisation du type du sommet de *A*. Par exemple, dans le support, *Voiture* est défini comme une sorte de *Véhicule*. Cette projection permet de répondre à la question « Est-ce qu'il existe une personne conduisant un véhicule? ». Dans la figure 4.7, la projection est représentée par des flèches et le graphe conceptuel représenté en gris est le graphe image de la projection. L'existence de la projection permet de répondre à la question par l'affirmative et le graphe image permet de compléter la réponse : le véhicule en question est une voiture. Dans ce travail, nous utilisons l'opération de projection pour vérifier si l'on retrouve les informations du contexte d'une influence dans le contexte d'utilisation. Seule l'existence d'une projection nous intéresse.

On définit maintenant le mécanisme de filtrage qui calcule une vue de la carte cognitive contextuelle en fonction d'un contexte d'utilisation donné. Une vue contient les influences qui sont pertinentes dans ce contexte. On définit donc un ensemble d'influences activées dans ce contexte. Une influence est activée si son contexte de validité est le contexte vide ou lorsque son graphe conceptuel associé se projette dans le graphe conceptuel représentant le contexte d'utilisation.

**Définition 4.6 (Influences activées)**

Soit *C* un ensemble de concepts.

Soit *I* un ensemble de symboles.

Soit *K* un ensemble de graphes conceptuels définis sur le support *S* représentant des contextes.

Soit  $M = (V, \text{étiq}_V, A, \text{étiq}_A, \text{cont}_A)$  une carte cognitive contextuelle définie sur *C*, *I*, *S*, *K*.

Soit *U* un contexte d'utilisation de *M*.

Le multi-ensemble  $A^U$  est le sous-ensemble de  $A$  tel que  $i \in A^U$  ssi  $cont_A(i) = \nabla \vee \exists$  une projection de  $cont_A(i)$  dans  $U$ .

**Exemple 4.6**

Pour le contexte d'utilisation *Un piéton marchant la nuit dans une ville* (figure 4.6), les contextes de validité qui se projettent dans ce contexte d'utilisation sont les contextes  $B$ ,  $D$  et  $F$  (figure 4.4). Les influences activées pour ce contexte d'utilisation sont donc les influences qui ont pour contexte de validité le contexte vide ( $\nabla$ ) ou un des contextes  $B$ ,  $D$  ou  $F$ . Par exemple l'influence entre *Fatigue* et *Erreur humaine* est activée car son contexte de validité est le contexte vide et l'influence entre *Vêtements sombres* et *Etre visible* est activée car son contexte de validité est le contexte  $B$ .

Un concept qui n'est relié à aucune influence activée dans le contexte d'utilisation a peu d'intérêt pour l'utilisateur, il peut donc être omis. Pour cela nous définissons qu'un concept est activé s'il est relié à au moins une influence activée.

**Définition 4.7 (Concepts activés)**

Soit  $C$  un ensemble de concepts.

Soit  $I$  un ensemble de symboles.

Soit  $K$  un ensemble de graphes conceptuels définis sur le support  $S$  représentant des contextes.

Soit  $M = (V, étiqu_V, A, étiqu_A, cont_A)$  une carte cognitive contextuelle définie sur  $C$ ,  $I$ ,  $S$ ,  $K$ .

Soit  $U$  un contexte d'utilisation de  $M$ .

$V^U$  est le sous-ensemble de  $V$  tel que  $v \in V^U$  ssi  $\exists i \in A^U$  avec  $origine(i) = v$  ou  $extremite(i) = v$ .

**Exemple 4.7**

Comme vu précédemment, le concept *Vêtements sombres* est relié à une influence activée dans le contexte d'utilisation *Un piéton marchant la nuit dans une ville* (figure 4.6). Ce concept est donc lui aussi activé dans ce contexte d'utilisation.

Une fois que les sous-ensembles des influences et des concepts activés sont déterminés à l'aide du contexte d'utilisation de la carte, ils forment une nouvelle carte, plus simple et plus adaptée au contexte. Cette carte est appelée *vue contextuelle*.

**Définition 4.8 (Vue contextuelle)**

Soit  $C$  un ensemble de concepts.

Soit  $I$  un ensemble de symboles.

Soit  $K$  un ensemble de graphes conceptuels définis sur le support  $S$  représentant des contextes.

Soit  $M = (V, étiqu_V, A, étiqu_A, cont_A)$  une carte cognitive contextuelle définie sur  $C$ ,

$I, S, K$ .

Soit  $U$  un contexte d'utilisation de  $M$ .

La *vue contextuelle* de  $M$  pour  $U$  est la carte cognitive contextuelle  $(V^U, \text{étiq}_V, A^U, \text{étiq}_A, \text{cont}_A)$ .

#### **Exemple 4.8**

La carte de la figure 4.8 est une vue contextuelle de la carte de la figure 4.3 pour le contexte d'utilisation *Un piéton marchant la nuit dans une ville* (figure 4.6). Cette carte contient les influences et les concepts activés pour ce contexte d'utilisation. On remarque que cette carte ne contient pas d'informations liées à l'utilisation de véhicules. Par exemple l'influence de la *Vitesse* sur *Accident mortel* est masquée. La carte est donc plus simple à interpréter car plus petite et permet d'effectuer des raisonnements plus adaptés à l'utilisation souhaitée. Par exemple, l'influence de *Heure de la journée* sur *Bonne visibilité* dans la carte de la figure 4.3 est ambiguë car il y a deux influences de signes différents entre ces deux concepts. Dans la vue contextuelle obtenue pour le contexte d'utilisation *Un piéton marchant la nuit dans une ville* (figure 4.6), seule l'influence activée est celle dont le contexte associé est le contexte  $D$  (Nuit) est prise en compte, c'est à dire l'influence négative. L'autre influence n'est pas présente dans la vue car son contexte associé, le contexte  $E$  (Jour) ne se projette pas dans le contexte d'utilisation. Donc pour le contexte d'utilisation *Un piéton marchant la nuit dans une ville*, l'influence de *Heure de la journée* sur *Bonne visibilité* est négative.

La carte de la figure 4.9 est une vue contextuelle de la carte de la figure 4.3 pour le contexte d'utilisation *Un automobiliste conduisant de jour sur une autoroute* (figure 4.5). On remarque que cette carte est différente de la vue contextuelle de la carte de la figure 4.8. Les concepts qui sont pertinents pour un piéton, comme par exemple *Vêtement sombres* ne sont pas activés dans cette carte. En revanche d'autres concepts plus pertinents dans ce contexte sont activés, comme par exemple le concept *Vitesse*. L'influence propagée dans cette carte ne donne pas les mêmes résultats que dans la carte de la figure 4.8. Par exemple, l'influence de *Heure de la journée* sur *Bonne visibilité* est positive.



## Conclusion

Le modèle des cartes cognitives contextuelles présenté dans ce chapitre utilise conjointement les cartes cognitives et les graphes conceptuels. Un modèle antérieur de cartes cognitives présente aussi cette caractéristique : le modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels [Genest et Loiseau, 2007]. Contrairement au modèle de cartes cognitives contextuelles, ce modèle n'associe pas de graphes conceptuels aux influences, mais aux concepts. Les concepts sont donc décrits de manière plus précise. L'opération de projection des graphes conceptuels est utilisée pour sélectionner des concepts sémantiquement liés. De plus ce modèle fournit des mécanismes de propagation entre deux ensembles de concepts. Ces deux modèles n'ont pas les mêmes objectifs mais ils pourraient être fusionnés en un seul.

Le modèle de cartes cognitives contextuelles présenté ici facilite l'exploitation de cartes complexes grâce à un mécanisme de filtrage. Une carte de grande taille difficile à comprendre est simplifiée pour ne présenter que les informations intéressantes dans le contexte d'utilisation. Ce mécanisme permet aussi d'effectuer des raisonnements moins ambigus car les influences non pertinentes dans le contexte ne sont pas prises en compte dans le mécanisme de propagation. Des chemins de la carte dont les signes sont différents et qui appartiennent à des contextes différents n'apparaissent pas en même temps, les résultats des calculs de propagation d'influence sont alors moins souvent ambigus.

En plus de permettre au concepteur de rendre plus claire une carte en précisant les contextes des influences, il est intéressant de noter que le concepteur peut calculer des vues d'une carte contextuelle en cours de réalisation et de vérifier ainsi si ces vues ne contiennent pas d'ambiguïtés.



# Chapitre 5

## Systeme

### Introduction

L'objectif de ce chapitre est double. Il s'agit d'une part de présenter l'implémentation des modèles présentés dans cette thèse de sorte à permettre au lecteur intéressé de la reproduire, l'exploiter ou la faire évoluer. Il s'agit d'autre part de montrer comment l'utiliser. Deux programmes ont été réalisés afin de mettre en œuvre nos travaux. Le premier programme, appelé *SCCC*, a pour objectif principal d'implémenter l'utilisation conjointe de cartes cognitives et de graphes conceptuels. Ce programme implémente le modèle de cartes cognitives de graphes conceptuels décrit dans l'article [Genest et Loiseau, 2007] ainsi que le modèle des cartes cognitives contextuelles (chapitre 4). [Genest et Loiseau, 2007] utilise les graphes conceptuels pour définir les concepts d'une carte cognitive. Un second programme a été créé dans l'objectif de tester l'utilisation conjointe d'une carte cognitive et d'une hiérarchie de concepts (ontologie). Ce second programme, appelé *SCCO*, permet de manipuler des cartes cognitives ontologiques (chapitre 2 et 3).

Les deux programmes ont pour point commun d'implémenter un algorithme de calcul de l'influence entre deux concepts et de stocker les cartes au format CoGXML de Cogitant. Cogitant est une bibliothèque de manipulation de graphe conceptuels développé au LIRMM<sup>1</sup> et au LERIA<sup>2</sup>.

Dans la section 5.1 nous présentons l'organisation des projets *SCCC* et *SCCO*. Dans la section 5.2 nous présentons l'implémentation de l'algorithme de propagation de l'influence. Dans la section 5.3 nous présentons comment sont stockées les cartes cognitives. Enfin, dans la section 5.4, nous présentons les différents cas d'utilisations de nos prototypes.

---

1. Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier

2. Laboratoire d'Etudes et de Recherche en Informatique d'Angers

## 5.1 Organisation des programmes SCCC et SCCO

### 5.1.1 SCCC

Le premier objectif de *SCCC* est de fournir un outil permettant d'éditer une carte cognitive et de visualiser l'influence entre différents concepts de celle-ci. Pour réaliser cet outil, nous avons choisi d'utiliser le langage Java car ce langage nous a paru adapté au prototypage. Un second objectif est de manipuler en parallèle des graphes conceptuels avec des cartes cognitives. Nous avons choisi d'utiliser un éditeur de graphes conceptuels appelé Cogui<sup>3</sup> et développé par le LIRMM. Cet éditeur est développé avec Java et utilise une bibliothèque de manipulation de graphes JGraph.

SCCC contient les fonctionnalités suivantes :

- édition de cartes cognitives de graphes conceptuels,
- édition de cartes cognitives contextuelles,
- édition de hiérarchies (support),
- visualisation de la propagation de l'influence dans une carte,
- enregistrement des cartes cognitives sous forme de graphes conceptuels (fichier CoGXML),
- édition de graphe conceptuel,
- opération de projection exploitant la bibliothèque Cogitant.

Le code de SCCC est divisé en plusieurs packages (figure 5.1). Le package *Modele* est le package le plus important car il contient les classes qui implémentent les différents modèles de cartes cognitives que nous avons étudiés. Le package *Interface* contient les composants graphiques qui utilisent Swing<sup>4</sup> et JGraph<sup>5</sup>. Le package *Xml* contient les classes permettant de sauvegarder les données du modèle sous le format CoGXML<sup>6</sup>, la manière de représenter les cartes cognitives sera présentée dans la section 5.3.

Le package *ClientCogitant* effectue la liaison entre le SCCC et Cogitant. La bibliothèque Cogitant permet d'effectuer des traitements sur les graphes conceptuels. Celle-ci est développée en C++ et comme SCCC est programmé en Java, la connexion entre cette bibliothèque et SCCC n'est pas directe. La connexion peut s'effectuer de deux manières différentes. La première manière consiste à exécuter un programme serveur qui utilise la bibliothèque Cogitant et de faire connecter SCCC à celui-ci à travers une connexion réseau (locale ou distante). Dans ce cas, ClientCogitant utilise le package Xml pour transmettre au serveur des graphes conceptuels

---

3. <http://www.lirmm.fr/cogui/>

4. <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/uiswing/components/index.html>

5. <http://www.jgraph.com/pub/jgraphmanual.pdf>

6. [http://cogitant.sourceforge.net/cogitant\\_html/fr\\_cogxml.html](http://cogitant.sourceforge.net/cogitant_html/fr_cogxml.html)

## 5.1 Organisation des programmes SCCC et SCCO

représentés sous le format CoGXML. La seconde manière est d'interfacer du code Java avec du code C++ en utilisant le framework JNI<sup>7</sup>.

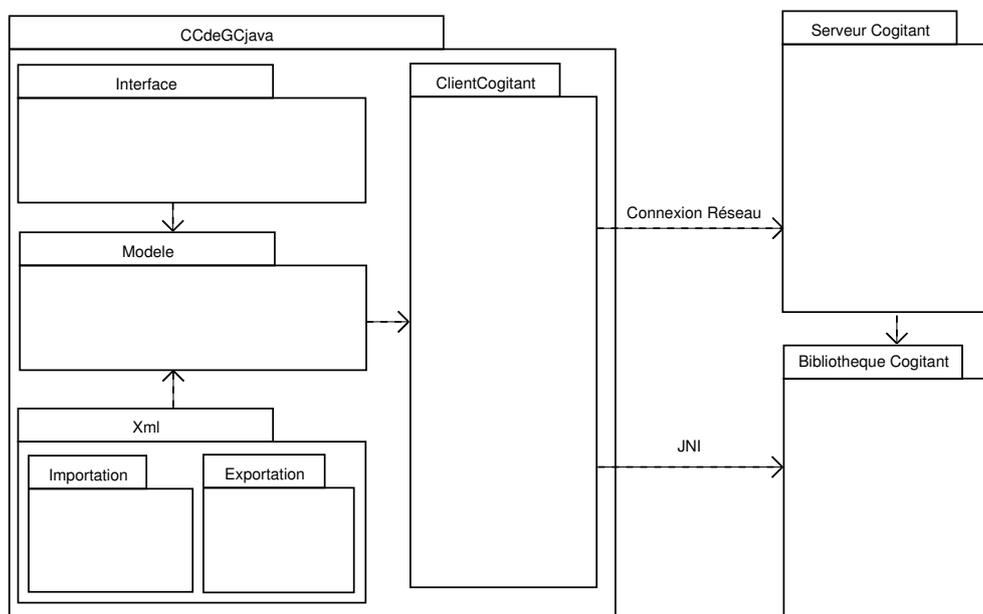


Figure 5.1 – Organisation générale du projet SCCC.

Au début du développement, nous avons intégré l'éditeur de graphes conceptuels Cogui<sup>8</sup>. Cette intégration souffrait de problèmes de synchronisation des données entre Cogui et le reste du programme. Nous avons donc décidé de développer notre propre éditeur de graphes conceptuels à partir des composants graphiques développés pour l'éditeur de cartes cognitives.

Le code de SCCC est organisé sous la forme modèle/vue et non modèle/vue/-contrôleur. La tâche d'actualisation des vues est effectuée par le modèle, ce qui rend le code complexe. SCCC permet la gestion d'un type de cartes particulier dont nous n'avons pas parlé dans cette thèse : les cartes cognitives avec influences multiples. Les influences dans ce type de cartes sont des hyper-arcs. Plusieurs concepts peuvent influencer ensemble un autre concept. Ce type de carte nécessite la représentation graphique d'hypergraphes.

### 5.1.2 SCCO

Le programme SCCO a pour but d'éditer et de visualiser des cartes cognitives ontologiques. SCCO contient les fonctionnalités suivantes :

7. <http://java.sun.com/javase/6/docs/technotes/guides/jni/index.html>

8. <http://www.lirmm.fr/cogui/>

- édition de cartes cognitives ontologiques.
- édition de hiérarchies de concepts.
- édition de hiérarchies de contextes.
- visualisation des vues ontologiques.
- visualisation de la propagation de l'influence dans une carte.

Le programme SCCO est issu de la réorganisation de SCCC afin de mettre en œuvre les cartes cognitives ontologiques. L'interface graphique de ce programme a été considérablement améliorée afin de gérer des vues ontologiques. Le stockage des cartes est une extension de celui effectué dans le programme SCCC.

La figure 5.3 montre l'organisation de ce projet. Chaque modèle a son propre package organisé avec le design pattern MVC et contient donc des packages *Modele*, *Interface* et *Controleur*. Certains packages de modèle ont une classe contenant la méthode *Main* permettant d'exécuter une déclinaison du programme. Les packages sont dépendants les uns des autres. Le package *Ensemble* contient ce qui est nécessaire à la manipulation des ensembles simples et des ensembles partiellement ordonnés. Il contient le modèle de ces ensembles ainsi que les éléments de l'interface graphique permettant d'éditer des hiérarchies d'éléments. Le package *Graphe* contient un modèle de graphe ainsi que les éléments de l'interface graphique permettant d'éditer des graphes. Ce package utilise le package *Ensemble*. Le package *Graphe* est utilisé par le package *CarteCognitive* et par le package *GrapheConceptuel* car les cartes cognitives et les graphes conceptuels sont deux modèles de graphes. Ces deux packages contiennent les classes implémentant les mécanismes associés à leur modèle respectif. Le package *CCOntologique* implémente le modèle des cartes cognitives ontologiques, il utilise donc le package *CarteCognitive* et contient les composants de l'interface graphique permettant d'obtenir des vues ontologiques. Le package *CCdeGC* implémente le modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels. Ce package utilise le package *CarteCognitive* et le package *GrapheConceptuel*. Le package *CCContextuelle* implémente le modèle des cartes cognitives contextuelles et utilise le package *CCdeGC*.

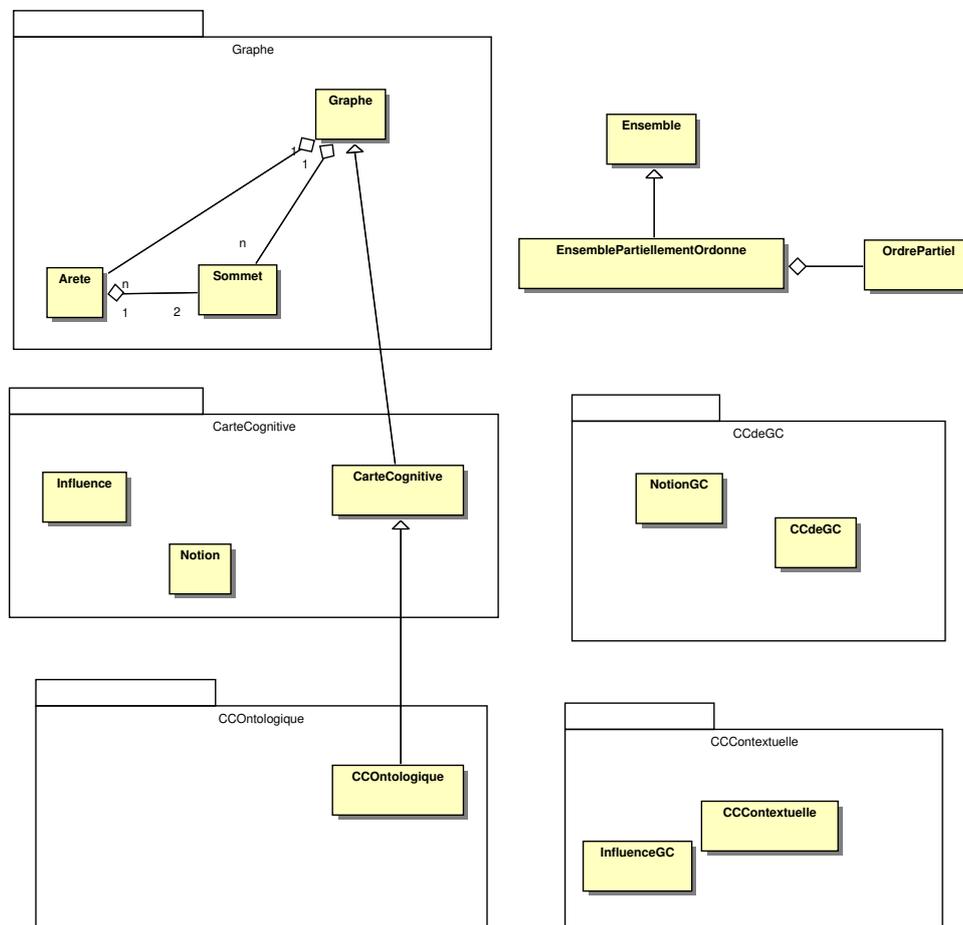


Figure 5.2 – Organisation du modèle SCCO.

## 5.2 Algorithme de calcul de l'influence

Les travaux sur les cartes cognitives ont mis en œuvre différents algorithmes permettant de calculer l'influence entre deux concepts d'une carte. Ces algorithmes sont liés à la manière dont les cartes sont formalisées et représentées.

Kosko a défini plusieurs algorithmes (Annexe, section A). Dans le cas où une carte est représentée par une matrice d'adjacence, le calcul de l'influence est effectué à l'aide d'une succession de produits matriciels.

Dans son travail sur les cartes cognitives floues dynamiques, Kosko a proposé un nouveau mécanisme basé sur la propagation de valeur dans la carte. Chaque concept de la carte est d'abord initialisé avec une valeur. Chaque concept met à jour

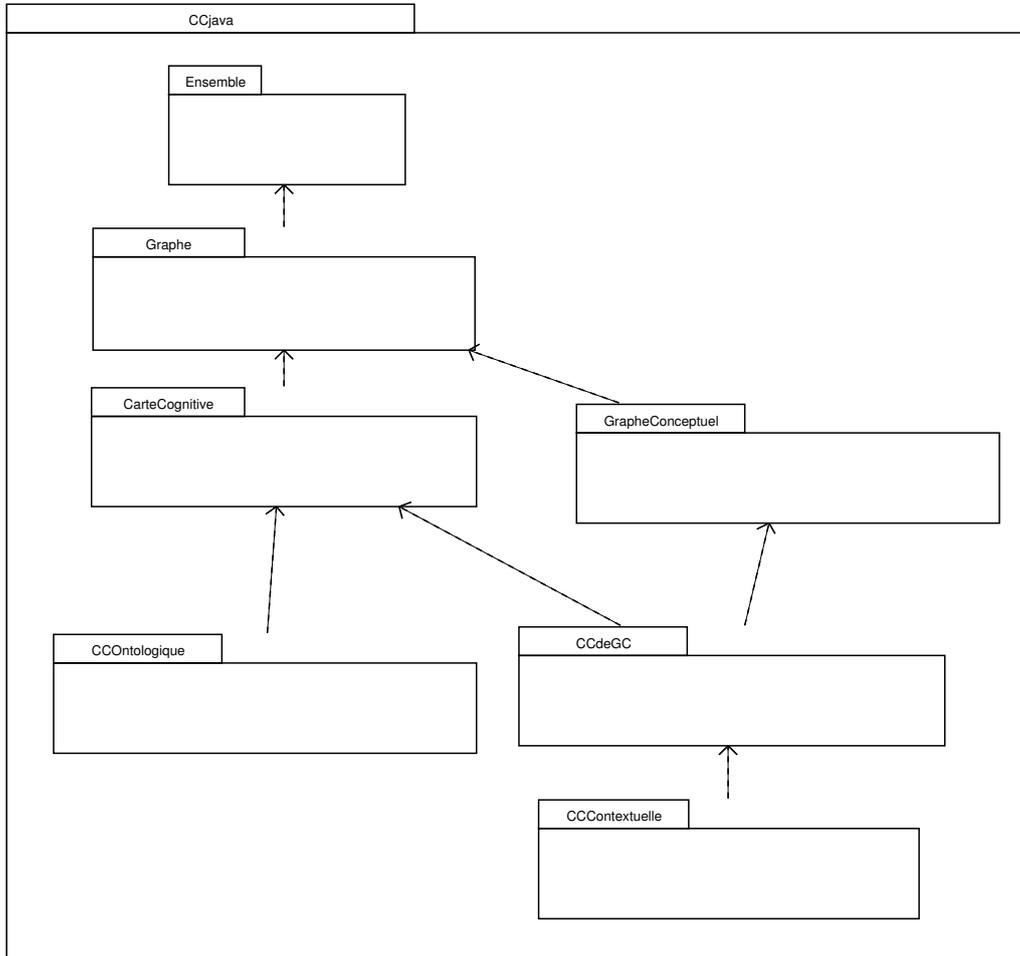


Figure 5.3 – Organisation générale du projet SCCO.

régulièrement sa valeur en fonction des concepts qui l'influencent et ce, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de changement dans la carte.

Dans les modèles de cartes cognitives que nous avons présentés, l'influence entre deux concepts est définie en fonction des chemins entre ces concepts. Pour le cas particulier des cartes cognitives définies sur un ensemble de valeur  $I = \{+, -\}$  nous avons développé un algorithme qui propage des valeurs comme le mécanisme défini par Kosko pour les cartes cognitives floues dynamiques. La différence tient dans le fait que nous ne nous occupons pas des concepts qui n'ont pas besoin d'être actualisés.

Notre algorithme effectue un parcours en largeur du graphe. L'algorithme commence par initialiser à zéro les valeurs associées à chaque concept (voir Algorithme

## 5.2 Algorithme de calcul de l'influence

1) puis démarre la propagation (voir Algorithme 2). Lorsque le déroulement de l'algorithme arrive à un concept, il vérifie d'abord s'il est déjà passé par celui-ci en comparant la valeur propagée et la valeur courante du concept. S'il n'y a pas de changement l'algorithme arrête la propagation et retourne la valeur courante du concept. Dans le cas contraire, la valeur courante est actualisée en la cumulant avec la valeur propagée à l'aide de l'opérateur  $\vee$  présenté dans la section 2.5. Cette valeur est ensuite propagée aux concepts suivants à travers les influences : l'algorithme est appelé sur les concepts suivants en cumulant la valeur courante avec la valeur de l'influence. Les résultats retournés par ces appels sont agrégés à l'aide de l'opérateur  $\wedge$  présenté dans la section 2.5.

**Algorithme 1** :  $I$  "Initialisation et exécution de la propagation".

```
Données :  $c_1, c_2$  : Concept;  $C$  : ensemble des concepts  
début  
    // initialisation des signes des concepts;  
    pour tout concept  $c \in C$  faire  $signeCourant(c) \leftarrow 0$ ;  
    retourner  $I'(c_1, c_2, +)$ ;  
fin
```

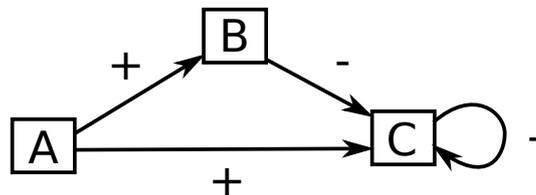


Figure 5.4 – Exemple de propagation.

Prenons comme exemple la carte 5.4 et calculons l'influence de  $A$  sur  $C$ . D'abord  $I(A, C, \{A, B, C\})$  est appelé. Les signes courants de  $A$ ,  $B$  et  $C$  sont initialisés à 0.  $I'(A, C, +)$  est appelé.

Le signe passé en paramètre est comparé avec le signe courant afin de ne pas boucler. Le signe courant de  $A$  a pour valeur 0, il est différent de  $+$  donc l'algorithme poursuit. Le signe courant de  $A$  est actualisé par  $0 \wedge +$  c'est à dire  $+$ . Les influences dont l'origine est  $A$  sont l'influence positive dont l'extrémité est  $B$  et l'influence négative dont l'extrémité est  $C$ . On commence par s'occuper de celui dont l'extrémité est  $B$ , pour cela  $I'(B, C, (+ \vee +))$  est appelé. Le signe courant de  $B$  (0) est différent du signe passé en paramètre ( $+$ ) donc l'algorithme continue et le signe courant de  $B$  est actualisé à  $+$ . Il n'y a qu'une influence dont  $B$  est l'origine, celui qui a pour

**Algorithme 2** :  $I'$  : “Propagation”.**Données** :  $c_1, c_2$  : *Concept*;  $s$  : *Signe***Résultat** :  $r$  : *Signe***début**

// initialisation du resultat;

 $r \leftarrow 0$ ;

// condition pour ne pas boucler à l’infini;

**si**  $signeCourant(c_1) \neq s$  **alors**        // mise à jour du signe du concept  $n_1$ ;         $signeCourant(c_1) \leftarrow signeCourant(c_1) \wedge s$ ;

// parcours en largeur du graphe;

**pour** toute influence  $i \in InfluencesSortantes(c_1)$  **faire**

// modification du resultat par un appel recursif;

 $r \leftarrow r \wedge I'(cible(i), c_2, signeCourant(c_1) \vee signe(i))$ ;        **fin**    **fin**    // le resultat retourné est égale au signe de  $c_1$  si la concept    courant  $c_1$  est  $c_2$ ;    **si**  $c_1 = c_2$  **alors**  $r \leftarrow signeCourant(c_1)$ ;    **retourner**  $r$ ;**fin**

extrémité  $C$  avec un signe négatif.  $I'(C, C, (+ \vee -))$  est appelé. Le signe courant de  $C$  est différent, il est donc actualisé à  $-$  et l’algorithme continue. Le concept  $C$  s’influence lui-même positivement.  $I'(C, C, (- \vee +))$  est appelé. Le signe courant de  $C$  et le signe passé en paramètre sont égaux, l’algorithme ne continue donc pas dans cette direction pour ne pas boucler.  $I'(C, C, (- \vee +))$  retourne  $-$ .  $I'(C, C, (- \vee +))$  retourne  $-$ .  $I'(B, C, (+ \vee +))$  retourne  $-$ .  $I'(A, C, +)$  se poursuit, et l’algorithme s’occupe de l’influence négative qui a pour extrémité  $C$ .  $I'(C, C, (+ \vee -))$  est appelé une seconde fois. Le signe courant de  $C$  et le signe passé en paramètre sont égaux, l’algorithme ne va pas explorer la boucle par lequel il est déjà passé et il retourne directement le signe courant c’est à dire  $-$ . Dans  $I'(A, C, +)$  le résultat de  $I'(B, C, +)$  et  $I'(C, C, -)$  sont comparés :  $- \vee - = -$ .  $I'(A, C, +)$  se termine et retourne  $-$ . Enfin,  $I(A, C, \{A, B, C\})$  se termine et retourne  $-$ .

## 5.3 Stockage des cartes

Le début de notre travail de thèse a consisté à implémenter le modèle des cartes cognitives de graphes conceptuels. Ce travail a influencé le choix du format de stockage des cartes. Nous avons choisi d'enregistrer les cartes cognitives sous le format d'échange *CoGXML*<sup>9</sup> utilisé par cogitant pour les graphes conceptuels. Une carte cognitive est convertie en graphe conceptuel afin d'être enregistrée. L'intérêt de ce choix est de stocker dans un même format des cartes cognitives et des graphes conceptuels. Nous présentons dans cette section la conversion de chaque modèle de cartes cognitives que nous avons mis en œuvre.

### 5.3.1 Cartes cognitives classiques

Une carte cognitive classique est équivalente à un graphe conceptuel représenté sur un support particulier. La figure 5.5 fournit un exemple de conversion d'une carte cognitive simple en un graphe conceptuel. Un concept d'une carte cognitive simple est représenté par un nœud gconcept de type `_Concept_`. Lorsqu'un concept de la carte influence un autre concept, cette influence est représentée par un nœud relation de type `_Influence_`. Une influence positive (resp. négative) est représentée par un nœud relation de type `_Influence +_` (resp. `_Influence -_`). Un nœud relation de type `_Influence_` est relié par des arêtes numérotées aux deux nœuds gconcept représentant des concepts. La numérotation des arêtes définit la direction de l'influence. Le concept source (resp. cible) de l'influence est représentée par un nœud gconcept relié au nœud relation par une arête numérotée 1 (resp. 2).

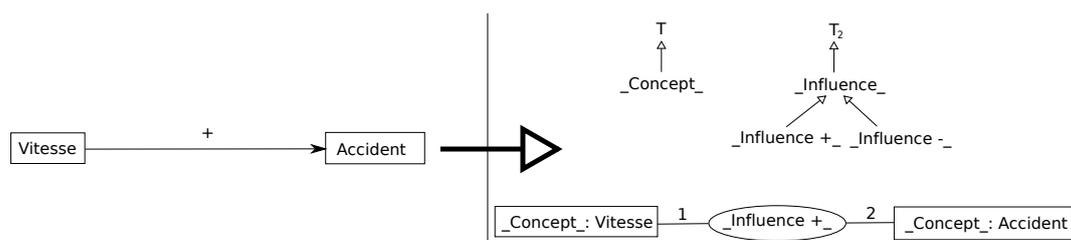


Figure 5.5 – Carte cognitive simple convertie en graphe conceptuel.

Le format CoGXML permet de représenter des graphes conceptuels sous la forme de documents XML. Le support contient le type de gconcept `_Concept_` qui est un sous-type du type de gconcept `_Universal_`. La partie du fichier CoGXML qui définit les types de gconcept est de la forme suivante :

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
```

9. [http://cogitant.sourceforge.net/cogitant\\_html/fr\\_cogxml.html](http://cogitant.sourceforge.net/cogitant_html/fr_cogxml.html)

```

<!DOCTYPE cogxml PUBLIC "-//COGITANT//CoGXML Format
Specification 1.3//EN" "http://cogitant.sourceforge.net/
cogxml.dtd">

<cogxml>
  <support>
    <conceptTypes>
      <ctype id="concept" label="_Concept_" />
      <ctype id="T" label="Universel"/>
      <order id1="concept" id2="T"/>
    </conceptTypes>

```

Le support contient les types de relation *\_Influence +\_* et *\_Influence -\_* qui sont des sous-types de *\_Influence\_*. Les types de relation sont définis de la façon suivante :

```

  <relationTypes>
    <rtype id="T2" label="Relation Binaire" idSignature="T"/>
    <rtype id="tr1" label="_Influence +" idSignature="concept concept" />
    <rtype id="tr2" label="_Influence -" idSignature="concept concept" />
    <order id1="tr1" id2="T2"/>
    <order id1="tr2" id2="T2"/>
  </relationTypes>

```

La carte cognitive simple de la figure 5.5 contient les concepts *Vitesse* et *Accident*. Ces concepts sont représentés par des nœuds de type *\_Concept\_* auxquels sont associés des marqueurs individuels respectivement *Vitesse* et *Accident*. Ces marqueurs individuels sont définis dans le fichier de la façon suivante :

```

  <conformity>
    <marker id="le1" label="Vitesse" idType="concept"/>
    <marker id="le2" label="Accident" idType="concept"/>
  </conformity>
</support>

```

La carte cognitive de la figure 5.5 est représentée par un graphe conceptuel défini dans le fichier de la façon suivante :

```

<graph id="cc" nature="fact" set="carte cognitive">
  <concept id="e1" idType="concept" referent="individual"
    idMarker="le1" />
  <concept id="e2" idType="concept" referent="individual"
    idMarker="le2" />

```

```

    <relation id="i1" idType="tr1" />
    <edge label="1" rid="i1" cid="e1"/>
    <edge label="2" rid="i1" cid="e2"/>
  </graph>
</cogxml>

```

La force d'une influence peut être stockée en ajoutant un attribut *force* à la balise *relation*.

```

<relation id="i1" idType="tr1" force="0.5" />

```

### 5.3.2 Cartes cognitives de graphes conceptuels

Comme les concepts d'une carte cognitive de graphes conceptuels sont décrits par des graphes conceptuels, il nous a paru naturel de représenter une telle carte par un graphe conceptuel dont certains gconcepts contiennent des graphes conceptuels emboîtés. La figure 5.6 fournit un exemple de conversion d'une carte cognitive de graphes conceptuels en un graphe conceptuel défini sur un support particulier. Chaque concept de la carte est un nœud gconcept de type *\_Concept\_*. Le graphe conceptuel de ce concept est emboîté dans le nœud gconcept de celui-ci.

Le support pour une carte cognitive de graphes conceptuels contient les mêmes types de gconcepts et de relations que pour les cartes cognitives classiques mais contient aussi les types nécessaires à la définition des graphes conceptuels décrivant les concepts.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE cogxml PUBLIC "-//COGITANT//CoGXML Format
  Specification 1.1//EN" "cogxml.dtd">

<cogxml>
  <support>
    <conceptTypes>
      <ctype id="concept" label="_Concept_" />
      <ctype id="T" label="Universel" />
      <ctype id="tdc3" label="Accident" />
      <ctype id="tdc1" label="Route" />
      <ctype id="tdc2" label="Mouille" />
      <order id1="tdc1" id2="T" />
      <order id1="tdc2" id2="T" />
      <order id1="tdc3" id2="T" />
      <order id1="concept" id2="T" />
    </conceptTypes>
    <relationTypes>

```

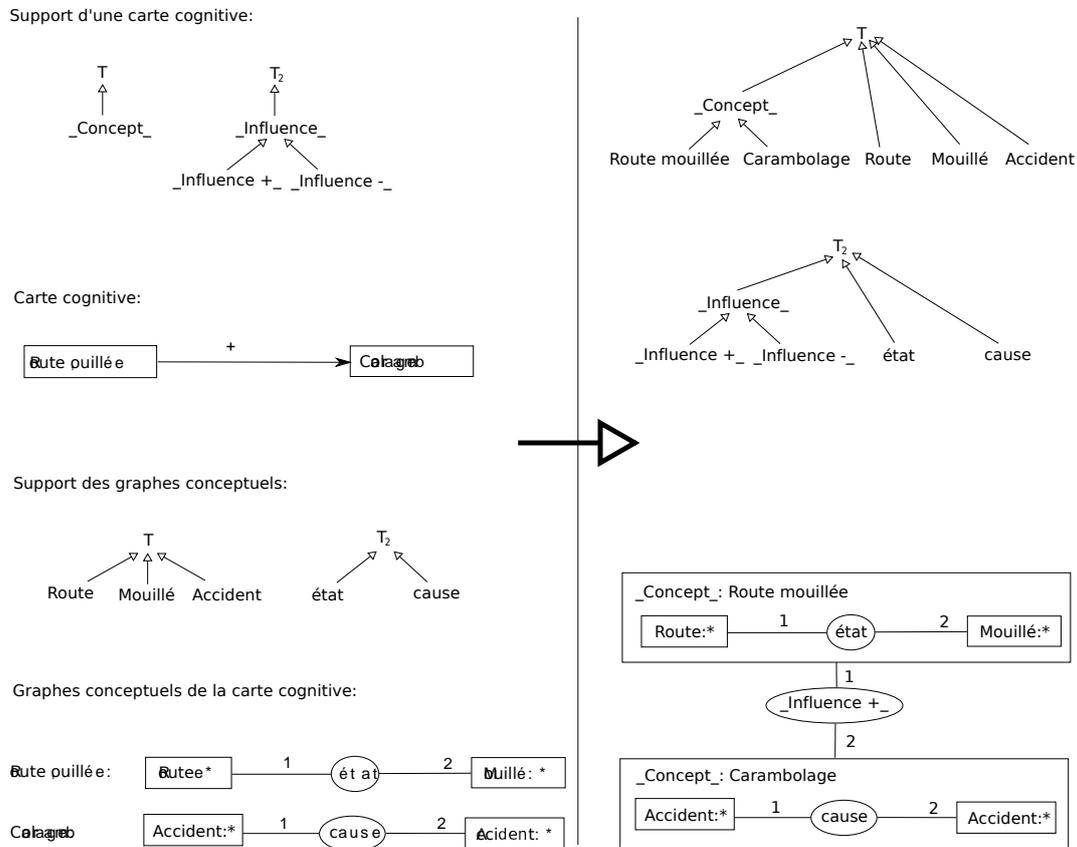


Figure 5.6 – Carte cognitive de graphes conceptuels convertie en graphe conceptuel.

```

<rtype id="tdr2" label="cause" idSignature="T T"/>
<rtype id="T2" label="Relation Binaire" idSignature="T
T"/>
<rtype id="tr0" label="influence" idSignature="concept
concept"/>
<rtype id="tr1" label="influence +" idSignature="
concept concept"/>
<rtype id="tr2" label="influence -" idSignature="
concept concept"/>
<rtype id="tdr1" label="état" idSignature="T T"/>
<order id1="tdr2" id2="T2"/>
<order id1="tdr1" id2="T2"/>
<order id1="tr0" id2="T3"/>
<order id1="tr1" id2="tr0"/>
<order id1="tr2" id2="tr0"/>
</relationTypes>

```

### 5.3 Stockage des cartes

---

Le support contient un type d'emboîtement `_Description_`.

```
<nestingTypes>
  <ntype id="description" label="_Description_" />
</nestingTypes>
```

La carte cognitive de graphes conceptuels de la figure 5.6 contient les concepts *Route mouillée* et *Carambolage*. Ces concepts sont représentés par des nœuds de type `_Concept_` auxquels sont associés des marqueurs individuels respectivement *Route mouillée* et *Carambolage*. Ces marqueurs individuels sont définis dans le fichier de la façon suivante :

```
<conformity>
  <marker id="le1" label="Route mouillée" idType="concept" />
  <marker id="le2" label="Carambolage" idType="concept" />
</conformity>
</support>
```

Les graphes conceptuels de la figure 5.6 décrivant les concepts *Route mouillée* et *Carambolage* sont définis de la façon suivante :

```
<graph id="de1" nature="fact" set="graphe conceptuel">
  <concept id="c1" idType="tdc1" referent="individual" />
  <concept id="c2" idType="tdc2" referent="individual" />
  <relation id="r1" idType="tdr1" />
  <edge id="edge1" label="1" rid="r1" cid="c1" />
  <edge id="edge2" label="2" rid="r1" cid="c2" />
</graph>
<graph id="de2" nature="fact" set="graphe conceptuel">
  <concept id="c1" idType="tdc3" referent="individual" />
  <concept id="c2" idType="tdc3" referent="individual" />
  <relation id="r1" idType="tdr2" />
  <edge id="edge1" label="1" rid="r1" cid="c1" />
  <edge id="edge2" label="2" rid="r1" cid="c2" />
</graph>
```

La carte cognitive de graphe conceptuel de la figure 5.6 est représentée dans le fichier par un graphe conceptuel défini de la façon suivante :

```
<graph id="cc" nature="fact" set="carte cognitive">
  <concept id="e1" idType="concept" referent="individual"
    idMarker="le1">
    <nesting idType="description" nestGraph="de1" />
  </concept>
```

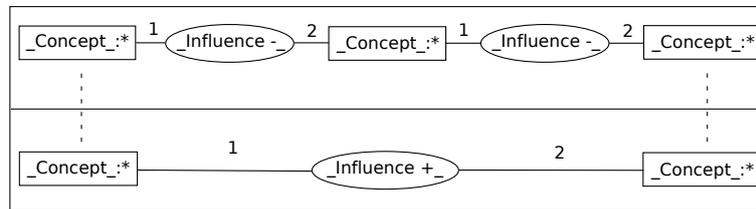


Figure 5.7 – Règle.

```

<concept id="e2" idType="concept" referent="individual"
  idMarker="le2">
  <nesting idType="description" nestGraph="de2"/>
</concept>
<relation id="i1" idType="tr1"/>
<edge label="2" rid="i1" cid="e1"/>
<edge label="1" rid="i1" cid="e2"/>
</graph>
</cogxml>

```

Les cartes cognitives et les graphes conceptuels étant des graphes, la différence entre ces deux modèles tient essentiellement dans les mécanismes qui s’y appliquent. Nous avons envisagé d’implémenter le mécanisme d’influence entre deux concepts en exploitant des règles de graphe conceptuels [Salvat, 1998][Salvat et Mugnier, 1996].

Les règles sont une extension du modèle des graphes conceptuels. Une règle permet d’ajouter de nouveaux sommets et arêtes à un graphe conceptuel en fonction d’un motif détecté dans celui-ci. Les règles utilisent l’opération de projection pour effectuer la détection du motif. La figure 5.7 donne un exemple de règle que nous avons envisagé d’utiliser : une influence négative suivie d’une autre influence négative donne lieu à une nouvelle influence positive. Pour effectuer la propagation de l’influence, des règles sont appliquées au graphe conceptuel de la carte cognitive jusqu’à ce que leur application n’ait plus d’effet. Cette idée n’a pas été réalisée car l’opération de projection, utilisée pour effectuer ce traitement, a une complexité plus importante que les mécanismes de propagation que nous avons définis.

### 5.3.3 Cartes cognitives contextuelles

Le support défini pour les cartes cognitives de graphes conceptuels a été modifié afin de représenter des cartes cognitives contextuelles. En plus de contenir le type de *gconcept* *\_Concept\_*, le support contient le type *\_Contexte\_*. Les relations de type *\_Influence\_* sont des relations ternaires car elles sont reliées à un nœud *gconcept* *\_Contexte\_* et à deux nœuds *gconcept* *\_Concept\_*. La figure 5.8 fournit un exemple de conversion d’une carte cognitive contextuelle en un graphe conceptuel défini sur

## 5.3 Stockage des cartes

un tel support.

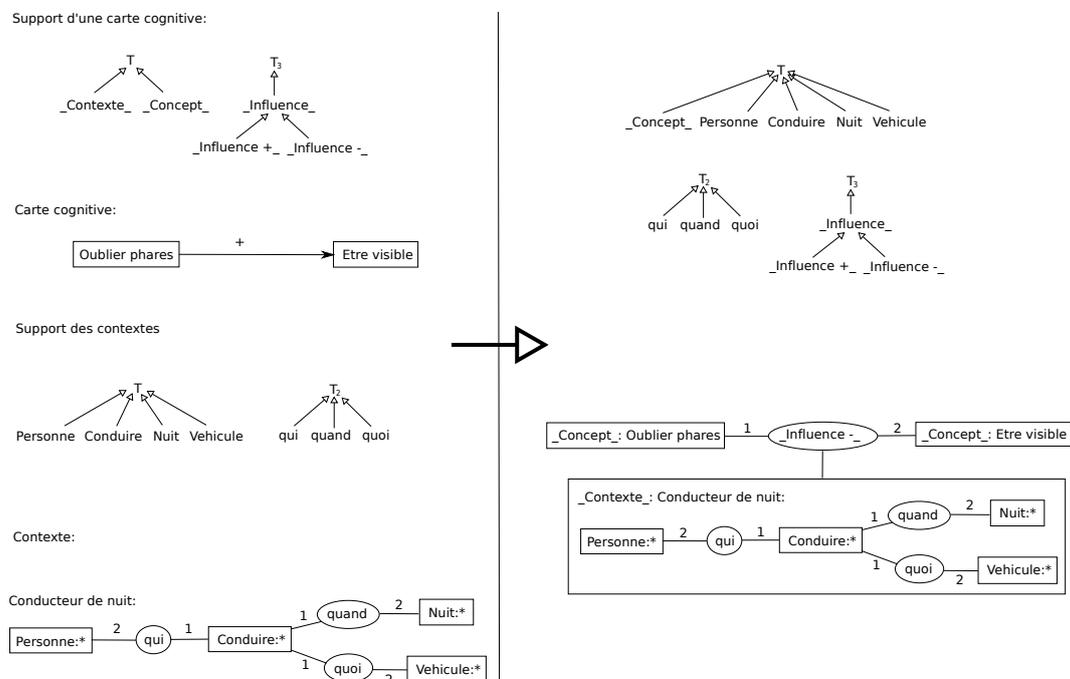


Figure 5.8 – Carte cognitive contextuelle convertie en graphe conceptuel.

Le support pour une carte cognitive contextuelle contient les types de gconcept et relation nécessaires à la définition du graphe conceptuel de la carte ainsi que les types de gconcept et relation nécessaire à la description des contextes. Le support pour une carte cognitive contextuelle de la figure 5.8 est défini dans le fichier CoGXML de la façon suivante :

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE cogxml PUBLIC "-//COGITANT//CoGXML Format
  Specification 1.1//EN" "cogxml.dtd">

<cogxml>
  <support>
    <conceptTypes>
      <ctype id="concept" label="_Concept_" />
      <ctype id="T" label="Universel" />
      <ctype id="tdc4" label="Vehicule" />
      <ctype id="tdc3" label="Nuit" />
      <ctype id="tdc1" label="Personne" />
      <ctype id="contexte" label="_Contexte_" />
      <ctype id="tdc2" label="Conduire" />
    </conceptTypes>
  </support>
</cogxml>
```

```

    <order id1="tdc4" id2="T"/>
    <order id1="tdc3" id2="T"/>
    <order id1="tdc2" id2="T"/>
    <order id1="tdc1" id2="T"/>
    <order id1="concept" id2="T"/>
    <order id1="contexte" id2="T"/>
</conceptTypes>
<relationTypes>
  <rtype id="tdr2" label="quand" idSignature="T T"/>
  <rtype id="tdr3" label="quoi" idSignature="T T"/>
  <rtype id="T2" label="Relation Binaire" idSignature="T
    T"/>
  <rtype id="tr0" label="_Influence_" idSignature="
    contexte concept concept"/>
  <rtype id="tr1" label="_Influence +" idSignature="
    contexte concept concept"/>
  <rtype id="tr2" label="_Influence -" idSignature="
    contexte concept concept"/>
  <rtype id="tdr1" label="qui" idSignature="T T"/>
  <order id1="tdr1" id2="T2"/>
  <order id1="tdr2" id2="T2"/>
  <order id1="tdr3" id2="T2"/>
  <order id1="tr0" id2="T3"/>
  <order id1="tr1" id2="tr0"/>
  <order id1="tr2" id2="tr0"/>
  <order id1="tr3" id2="tr0"/>
</relationTypes>
<nestingTypes>
  <ntype id="description" label="_Description_"/>
</nestingTypes>
<conformity>
  <marker id="le1" label="Oublier phares" idType="concept
    "/>
  <marker id="le2" label="Etre visible" idType="concept"/
    >
  <marker id="lc1" label="Conducteur de nuit" idType="
    contexte"/>
</conformity>
</support>

```

Le contexte *Conducteur de nuit* est défini dans le fichier par le graphe conceptuel suivant :

```
<graph id="dc1" nature="fact" set="graphe conceptuel">
```

### 5.3 Stockage des cartes

```
<concept id="c1" idType="tdc1" referent="individual"/>
<concept id="c2" idType="tdc2" referent="individual"/>
<concept id="c4" idType="tdc4" referent="individual"/>
<concept id="c3" idType="tdc3" referent="individual"/>
<relation id="r1" idType="tdr2"/>
<relation id="r2" idType="tdr3"/>
<relation id="r3" idType="tdr1"/>
<edge id="edge3" label="1" rid="r1" cid="c2"/>
<edge id="edge4" label="2" rid="r1" cid="c3"/>
<edge id="edge1" label="2" rid="r3" cid="c1"/>
<edge id="edge2" label="1" rid="r3" cid="c2"/>
<edge id="edge5" label="1" rid="r2" cid="c2"/>
<edge id="edge6" label="2" rid="r2" cid="c4"/>
</graph>
```

Enfin, la carte cognitive contextuelle de la figure 5.8 est représentée de la façon suivante :

```
<graph id="cc" nature="fact" set="carte cognitive">
  <concept id="e1" idType="concept" referent="individual"
    idMarker="le1">
    <nesting idType="description" nestGraph="de1"/>
  </concept>
  <concept id="e2" idType="concept" referent="individual"
    idMarker="le2">
    <nesting idType="description" nestGraph="de2"/>
  </concept>
  <relation id="i1" idType="tr1"/>
  <edge label="3" rid="i1" cid="e1"/>
  <edge label="2" rid="i1" cid="e2"/>
  <edge label="1" rid="i1" cid="c1"/>
  <concept id="c1" idType="contexte" referent="individual"
    idMarker="lc1">
    <nesting idType="description" nestGraph="dc1"/>
  </concept>
</graph>
</cogxml>
```

#### 5.3.4 Cartes cognitives ontologiques

Une carte cognitive ontologique est représentée comme une carte cognitive simple dont le support a été étendu. L'ensemble des types de relation contient en plus le type *\_Generalise\_* afin de représenter l'organisation des concepts dans l'ontologie.

La figure 5.9 fournit un exemple de conversion d'une carte cognitive ontologique en un graphe conceptuel défini sur un tel support. Dans le modèle des cartes cognitives ontologiques, les influences prennent des valeurs réelles comprises entre -1 et +1. Les graphes conceptuels ne permettent pas de représenter des valeurs numériques. La conversion d'une carte cognitive ontologique est donc incomplète.

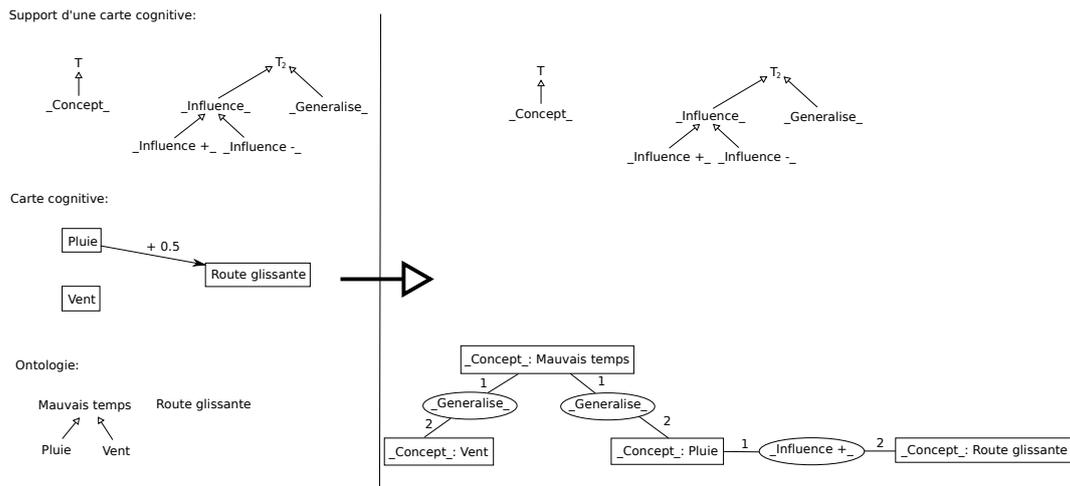


Figure 5.9 – Carte cognitive ontologique convertie en graphe conceptuel.

Le support pour une carte cognitive ontologique de la figure 5.9 est défini dans le fichier CoGXML de la façon suivante :

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE cogxml PUBLIC "-//COGITANT//CoGXML Format
  Specification 1.1//EN" "cogxml.dtd">

<cogxml>
  <support>
    <conceptTypes>
      <ctype id="concept" label="_Concept_" />
      <ctype id="T" label="Universel" />
      <order id1="concept" id2="T" />
    </conceptTypes>
    <relationTypes>
      <rtype id="trc" label="_Generalise_" idSignature="
        concept concept" />
      <rtype id="T2" label="Relation Binaire" idSignature="T
        T" />
      <rtype id="tr0" label="_Influence_" idSignature="
        concept concept" />
    </relationTypes>
  </support>

```

### 5.3 Stockage des cartes

```
<rtype id="tr1" label="_Influence +" idSignature="
  concept concept"/>
<rtype id="tr2" label="_Influence -" idSignature="
  concept concept"/>
<order id1="trc" id2="T2"/>
<order id1="tr0" id2="T3"/>
<order id1="tr1" id2="tr0"/>
<order id1="tr2" id2="tr0"/>
</relationTypes>
<conformity>
  <marker id="le3" label="Vent" idType="concept"/>
  <marker id="le4" label="Mauvais temps" idType="concept"
  />
  <marker id="le1" label="Pluie" idType="concept"/>
  <marker id="le2" label="Route glissante" idType="
  concept"/>
</conformity>
</support>
```

La carte cognitive ontologique de la figure 5.6 est représentée dans le fichier par un graphe conceptuel contenant des relations de types *Generalise* et des relations qui héritent de *Influence*. La conversion d'une carte cognitive ontologique en graphe conceptuel est incomplète mais le format CoGXML permet de compléter en ajoutant un attribut *force* aux balises relations de type *Influence*.

```
<graph id="cc" nature="fact" set="carte cognitive">
  <concept id="e3" idType="concept" referent="individual"
  idMarker="le3"/>
  <concept id="e4" idType="concept" referent="individual"
  idMarker="le4"/>
  <concept id="e1" idType="concept" referent="individual"
  idMarker="le1"/>
  <concept id="e2" idType="concept" referent="individual"
  idMarker="le2"/>
  <relation id="i1" idType="tr1" force="0.5"/>
  <edge label="1" rid="i1" cid="e1"/>
  <edge label="2" rid="i1" cid="e2"/>
  <relation id="ce4ce3" idType="trc"/>
  <edge label="1" rid="ce4ce3" cid="e4"/>
  <edge label="2" rid="ce4ce3" cid="e3"/>
  <relation id="ce4ce1" idType="trc"/>
  <edge label="1" rid="ce4ce1" cid="e4"/>
  <edge label="2" rid="ce4ce1" cid="e1"/>
</graph>
```

```
</cogxml>
```

## 5.4 Cas d'utilisations

Les programmes *SCCC* et *SCCO* peuvent être compilés avec des paramètres différents afin d'obtenir des interfaces adaptées aux différents modèles de cartes cognitives étudiés. Les différents cas d'utilisation présentés dans cette section peuvent être testés en ligne grâce à des applets disponibles à l'adresse suivante : <http://forge.info.univ-angers.fr/~lionelc/cognitivemap/fr/index.html>

Les déclinaisons de l'interface sont différentes mais elles partagent cependant quelques points communs. L'interface présente au minimum un onglet « Edition de la carte cognitive » destiné au concepteur de la carte cognitive et un onglet « Utilisation de la carte cognitive » destiné à l'utilisateur final (figure 5.10-1). Selon les déclinaisons du prototype des onglets supplémentaires sont ajoutés entre ces deux onglets. Chaque onglet contient une ou plusieurs zone contenant chacune une représentation graphique (carte cognitive, graphe conceptuel, ontologie, etc.) (figure 5.10-3). Chaque onglet contient sa propre barre d'outils (figure 5.10-2) qui présente les différentes actions pouvant être effectuées. Selon les objets sélectionnés dans les représentations graphiques, la barre d'outils est modifiée de manière dynamique.

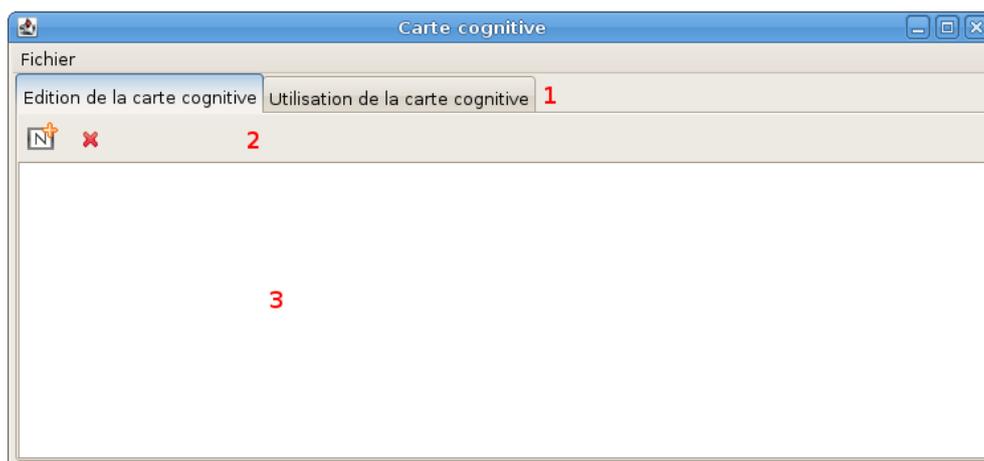


Figure 5.10 – Organisation générale de l'interface.

### 5.4.1 Carte cognitive

Pour éditer une carte cognitive, le concepteur sélectionne l'onglet « Edition de la carte cognitive » (figure 5.11). Pour ajouter un nouveau concept à la carte, le concepteur clique sur le bouton « Ajouter un nouveau concept » dans la barre d'outils (figure 5.11-a). Une autre manière d'effectuer cette action est de positionner le curseur dans la zone d'édition de la carte (figure 5.11-b) et de presser le bouton du milieu de la souris.



Figure 5.11 – Ajout d'un nouveau concept.

Pour sélectionner un concept, le concepteur clique sur celui-ci avec le bouton gauche de sa souris. Un concept sélectionné est affiché avec un contour en pointillé (figure 5.12-a). Lorsqu'un concept est sélectionné, des actions sont disponibles dans la barre d'outils. Un champ texte permet de modifier l'intitulé de le concept (figure 5.12-b).

Lorsque le concepteur sélectionne un concept et clique sur le bouton « Ajouter une influence » (figure 5.12-c), une influence est ajoutée à la carte. La source de cette influence est le concept sélectionné. L'extrémité de l'influence suit le curseur tant que le concepteur ne clique pas sur un concept (figure 5.13). Une seconde manière d'ajouter une influence est de positionner le curseur sur un concept et de presser le bouton du milieu de la souris.

Lorsque le concepteur sélectionne une influence, des paramètres de l'influence sont disponibles dans la barre d'outils (figure 5.14). Par exemple une boîte de sélection permettant de changer le signe de l'influence apparaît.

Pour exploiter une carte cognitive, l'utilisateur sélectionne l'onglet « Utilisation de la carte cognitive ». Cet onglet permet notamment à l'utilisateur de visualiser l'influence d'un concept sur un autre concept. Nous allons prendre comme exemple le calcul de l'influence des *dépenses publiques conjoncturelles* sur le *Déficit public* de la



Figure 5.12 – Edition d'un concept.

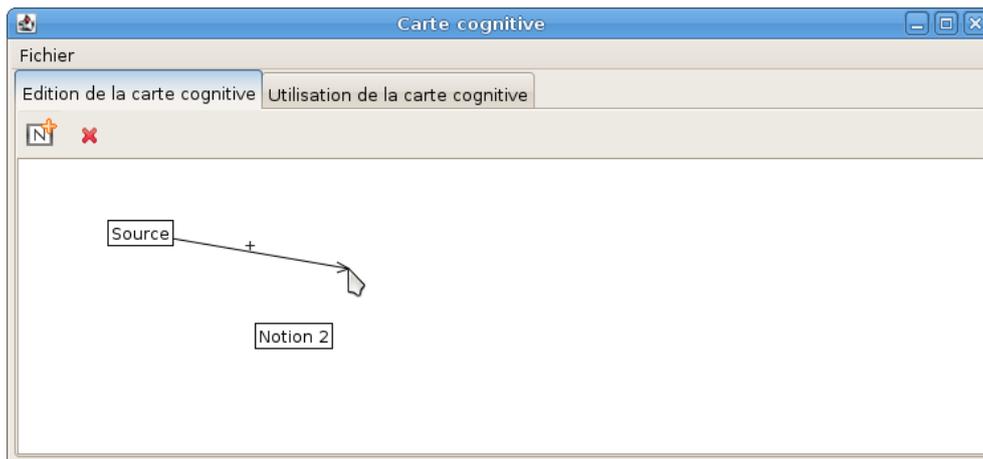


Figure 5.13 – Ajout d'influence.

figure 5.15. Le mode opératoire pour visualiser ce calcul est le suivant. L'utilisateur clique dans un premier temps sur le concept qui sera influencé, ici le concept *Déficit public* (figure 5.15-a). Ce concept est alors affiché avec un contour en pointillé. L'utilisateur la définit comme un concept influencé en cliquant sur le bouton « Sélectionner les concepts influencés » présent dans la barre d'outils (figure 5.15-b). Ce concept est alors coloré avec un dégradé bleu clair.

Dans un second temps, l'utilisateur définit le concept qui va influencer, ici le concept *Dépenses publiques conjoncturelles* (figure 5.16-a). L'utilisateur sélectionne ce concept et clique sur le bouton « Sélectionner les concepts qui influencent » présent dans la barre d'outils (figure 5.16-b). Ce concept est alors coloré avec un dégradé bleu foncé et la propagation de l'influence est automatiquement calculée. Les

## 5.4 Cas d'utilisations

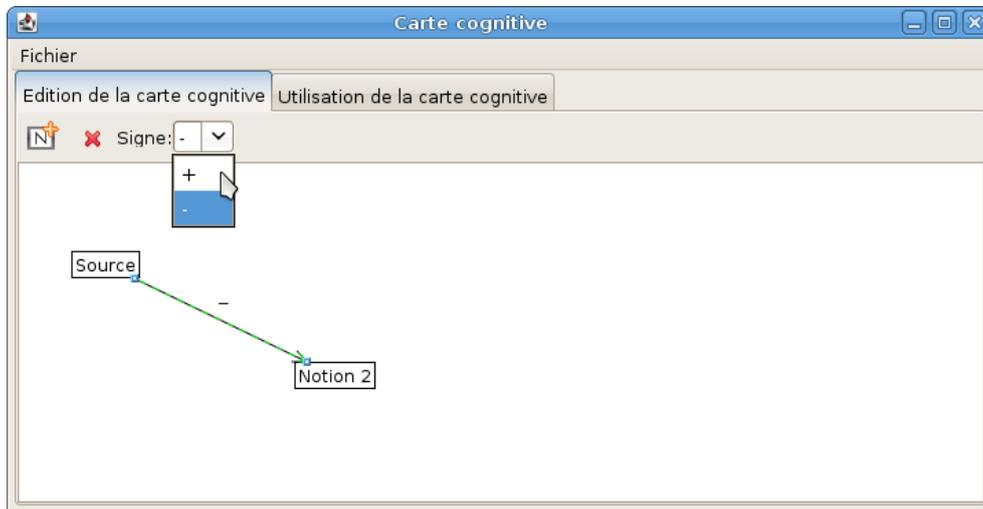


Figure 5.14 – Edition d'une influence.

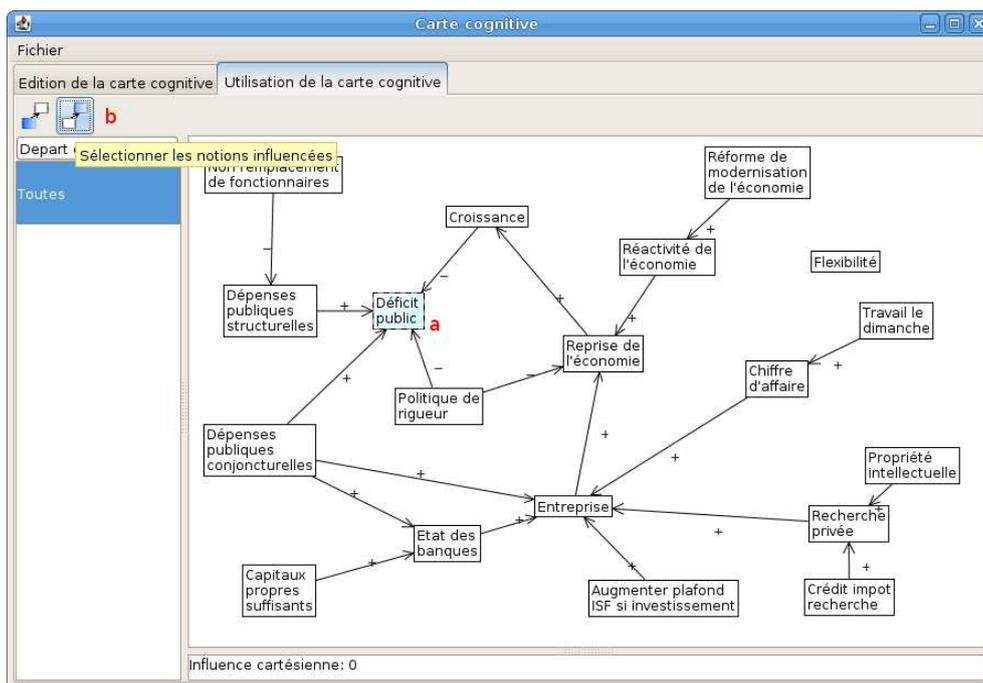


Figure 5.15 – Sélection d'un concept influencé.

concepts sont colorés en différentes couleurs selon la manière dont ils sont influencés par le concept *Dépenses publiques conjoncturelles*. Les concepts qui ne sont pas colorés ne sont pas influencés. Les concepts colorés en vert sont influencés positivement. Les concepts colorés en rouge sont influencés négativement. Les concepts colorés en



## 5.4 Cas d'utilisations

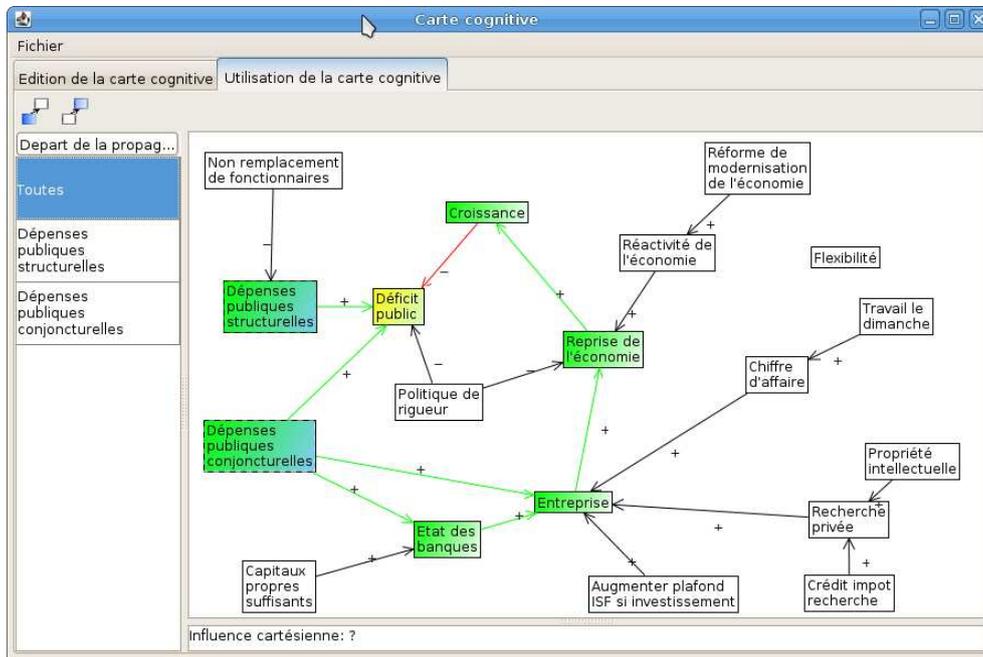


Figure 5.17 – Influence cartésienne.

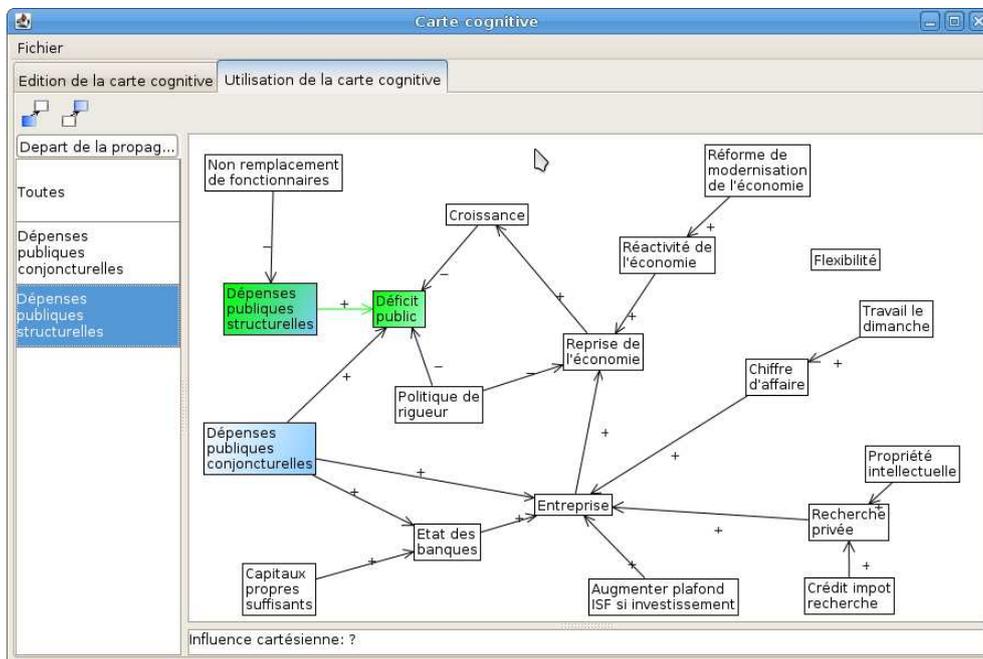


Figure 5.18 – Détail de l'influence cartésienne.

## 5.4.2 Carte cognitive contextuelle

En plus des onglets « Edition de la carte cognitive » et « Utilisation de la carte cognitive », la déclinaison du prototype adaptée aux cartes cognitives contextuelles contient trois onglets supplémentaires (figure 5.19). Comme une carte cognitive contextuelle contient des graphes conceptuels, des outils permettant d'éditer de tels graphes sont nécessaires au concepteur. L'onglet « Support » permet au concepteur d'éditer le support sur lequel les graphes conceptuels seront définis. L'onglet « Contexte de validité » permet au concepteur d'éditer les graphes conceptuels associés aux influences. L'onglet « Contexte d'utilisation » permet à l'utilisateur d'éditer un graphe conceptuel décrivant le contexte d'utilisation.

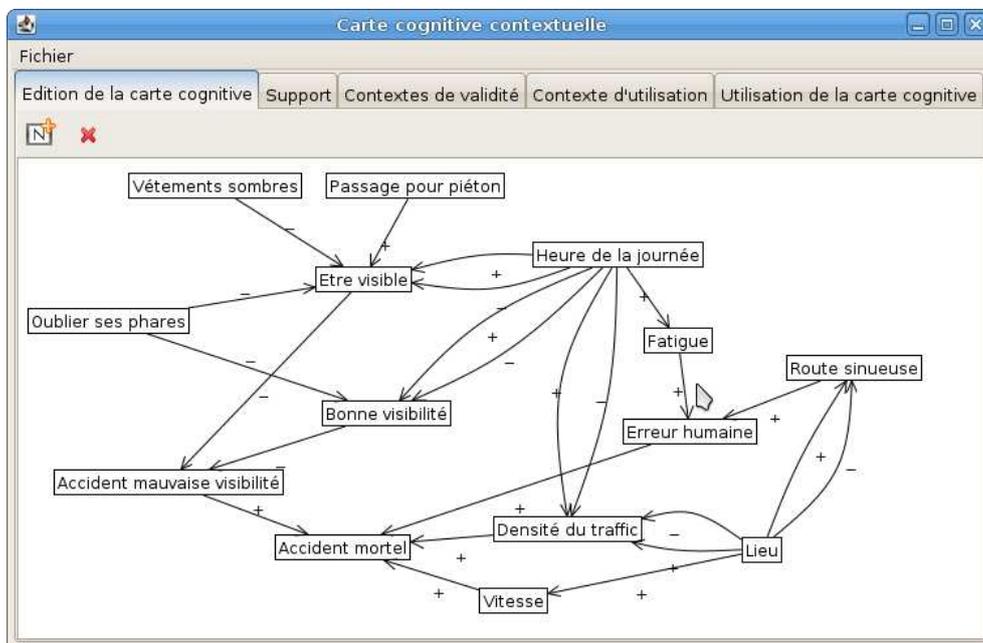


Figure 5.19 – Edition de la carte cognitive contextuelle.

Une fois que le concepteur a construit la carte cognitive à l'aide de l'onglet « Edition de la carte cognitive », il définit dans le support, un vocabulaire qui lui permettra de décrire les contextes de validité des influences. L'onglet « Support » (figure 5.20) est divisé en deux parties. La partie supérieure permet d'éditer les types de gconcepts. La partie inférieure permet d'éditer les types de relations. Chaque partie contient une barre d'outils dont le fonctionnement est similaire à celle de l'onglet « Edition de la carte cognitive » ainsi qu'une zone contenant une représentation graphique de l'ensemble ordonné des types. L'ensemble ordonné des types de gconcepts contient par défaut le type « Universel ». L'ensemble ordonné des types de relations contient par défaut le type « Relation binaire ».

## 5.4 Cas d'utilisations

Le bouton « Ajouter un type de gconcept » (figure 5.20-a) permet d'ajouter un type de gconcept à l'ensemble ordonné. Une fois un type sélectionné, un champ (figure 5.20-b) apparaît dans la barre qui permet de modifier l'intitulé du type. Le bouton « Ajouter une relation d'ordre » (figure 5.20-c) permet d'ajouter un arc dont l'origine est le type sélectionné et dont l'extrémité pourra être reliée à un autre type.

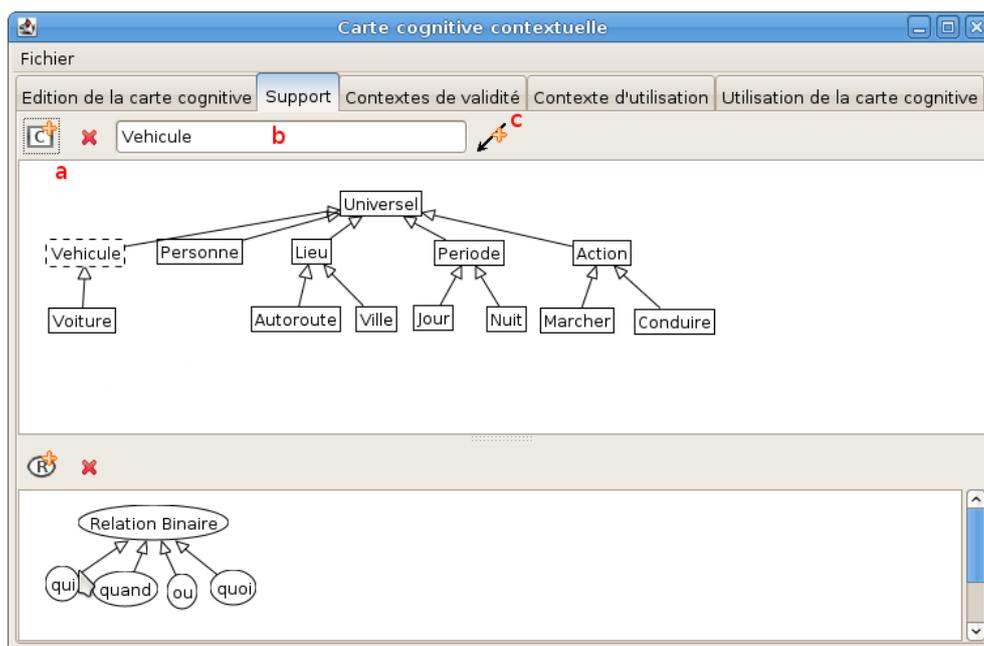


Figure 5.20 – Edition du support.

Une fois le support déterminé, le concepteur sélectionne l'onglet « Contextes de validité » (figure 5.21) afin d'éditer les contextes de validité des influences. Le mode opératoire pour créer un contexte de validité est le suivant. Le concepteur clique sur le bouton « Ajouter un contexte de validité » (figure 5.21-a) et un nouvel élément apparaît dans la liste à gauche (figure 5.21-b) correspondant à un nouveau contexte de validité. Pour éditer l'intitulé du contexte, le concepteur double-clique sur cet élément et saisit l'intitulé souhaité.

Le bouton « Ajouter un nouveau gconcept » (resp. « Ajouter une nouvelle relation ») (figure 5.21-c resp. d) permet au concepteur d'ajouter un nouveau gconcept (resp. une nouvelle relation) au graphe conceptuel du contexte. Par défaut, le concept ajouté (resp. la relation ajoutée) est un gconcept de type « Universel » (resp. « Relation binaire »). Pour modifier le marqueur individuel d'un gconcept (resp. cette relation) sélectionné, un champ texte apparaît dans la barre d'outils (figure 5.22-a). De la même manière, une liste déroulante permet de choisir le type de ce gconcept (resp. cette relation) (figure 5.22-b). Pour ajouter une arête entre un gconcept et une relation, le concepteur sélectionne un gconcept, puis clique sur le bouton « Ajouter

une arête » (figure 5.22-c) et enfin clique sur une relation. Les arêtes d'un graphe conceptuel sont ordonnées autour d'une relation. Lorsqu'une arête est sélectionnée, un champ permet de changer cette valeur d'ordre (figure 5.23-a).

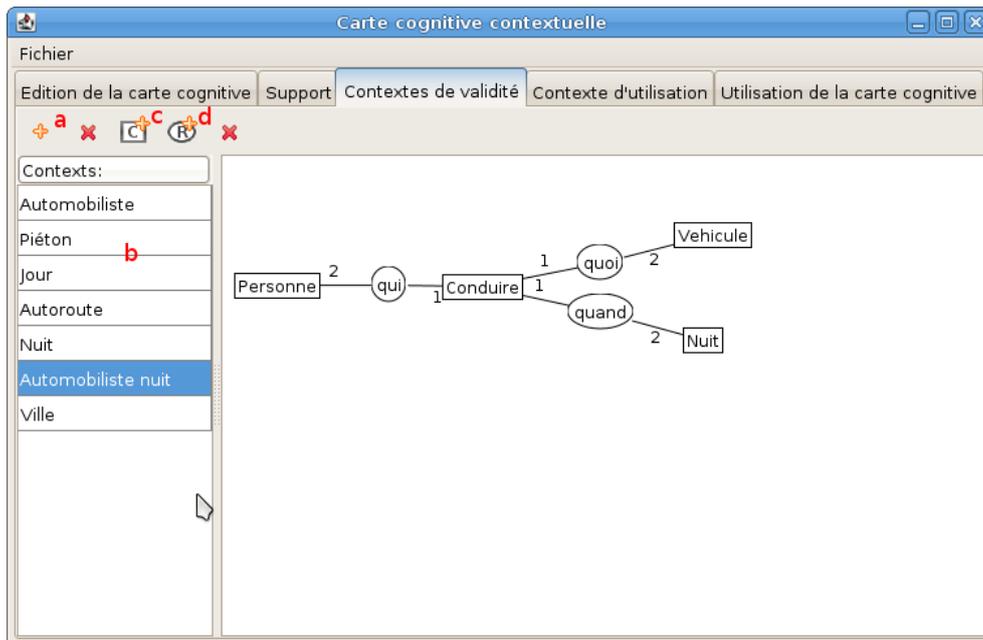


Figure 5.21 – Edition d'un contexte de validité de l'influence.

Après que des contextes de validité aient été définis, le concepteur peut retourner à l'onglet « Edition de la carte cognitive » et effectuer l'association entre les influences et les contextes de validités. Par défaut le contexte associé à une influence est un contexte de validité particulier : le « contexte vide ». Lorsque le concepteur sélectionne une influence, la liste des contextes précédemment définis apparaît dans la barre d'outils. Le concepteur peut choisir un contexte de cette liste et ainsi l'associer à l'influence sélectionnée (figure 5.24-a).

Au cours de la construction de la carte cognitive contextuelle, le concepteur peut effectuer plusieurs allers et retours entre les onglets « Edition de la carte cognitive », « Support » et « Contextes de validités ». En effet, il est difficile pour le concepteur de prévoir à l'avance quels seront les contextes, il les ajoute donc à la création des influences. L'ajout d'un contexte nécessite l'ajout de nouveaux types de gconcepts et de relations dans le support.

L'onglet « Contexte d'utilisation » permet à l'utilisateur de décrire dans quel contexte la carte est utilisée (figure 5.25). L'utilisateur saisit un graphe conceptuel. Le prototype pourrait être amélioré en présentant une liste de contextes d'utilisation prédéfinis par le concepteur. L'utilisateur sélectionnerait celui qui lui convient.

## 5.4 Cas d'utilisations

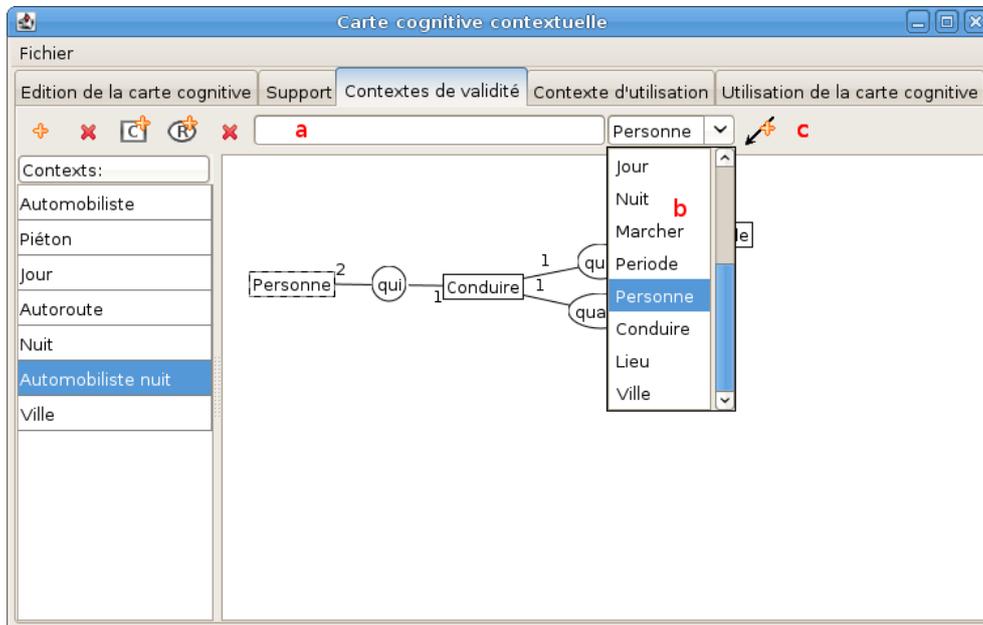


Figure 5.22 – Edition d'un contexte : édition d'un concept.

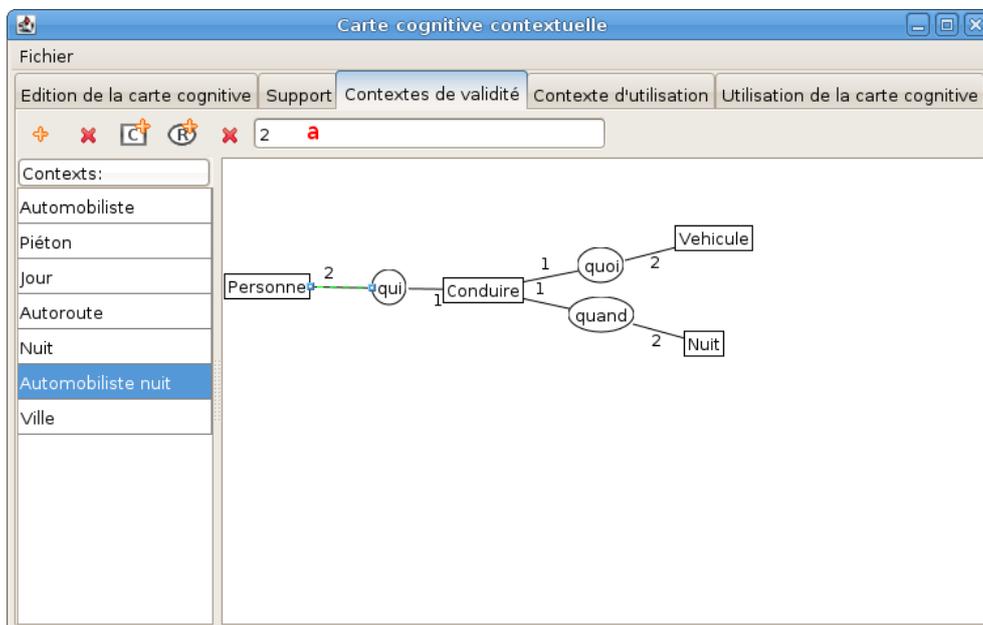


Figure 5.23 – Edition d'un contexte : édition d'une arête.

L'onglet « Utilisation de la carte cognitive » permet de visualiser la carte cognitive adaptée au contexte d'utilisation. Lorsque l'utilisateur sélectionne cet onglet, le

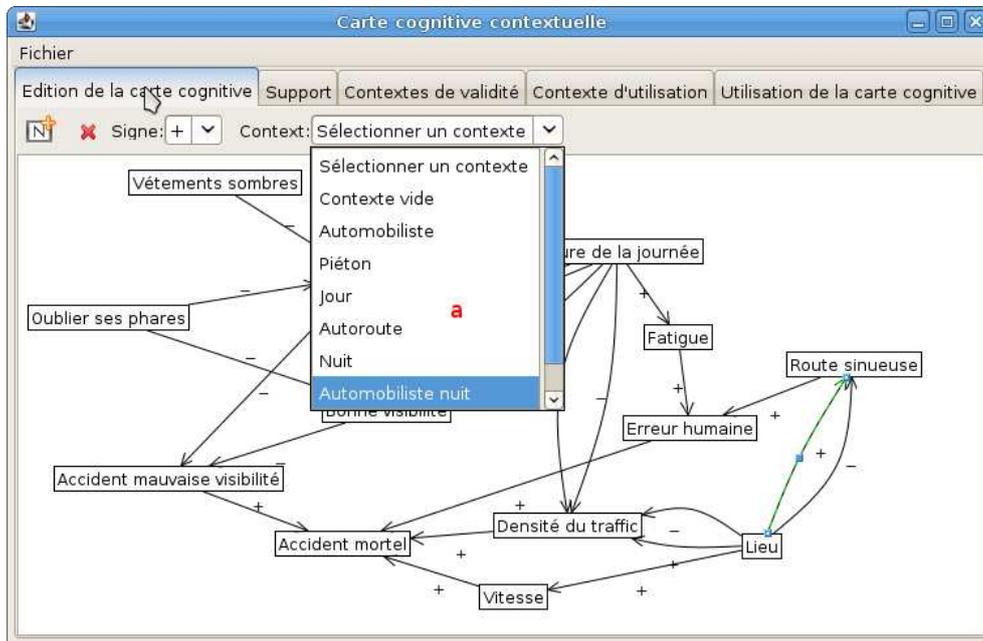


Figure 5.24 – Association d'un contexte à une influence.

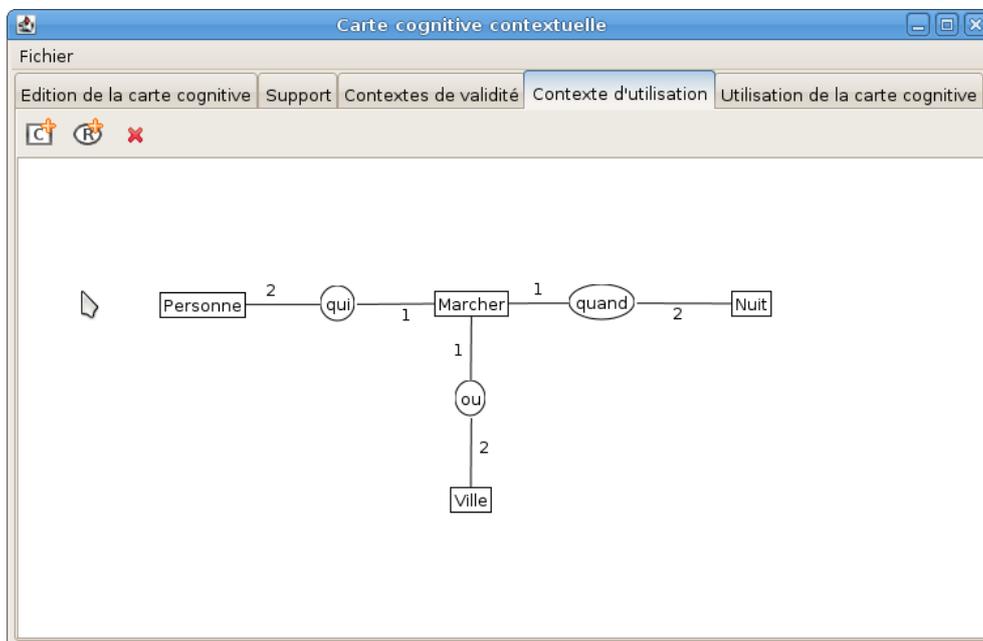


Figure 5.25 – Edition du contexte d'utilisation.

mécanisme de filtrage 4.2 est appliqué. Ce mécanisme vérifie pour chaque influence

## 5.4 Cas d'utilisations

si elle est valide pour le contexte d'utilisation. Ce mécanisme exploite la projection d'un graphe conceptuel dans un autre. Il vérifie que la projection du contexte de validité de l'influence dans le contexte d'utilisation existe. Si cette projection existe, l'influence est activée. Un concept relié à une influence activée est lui aussi activé. Les concepts et influences qui ne sont pas activés sont affichés avec des bordures grises (figure 5.26).

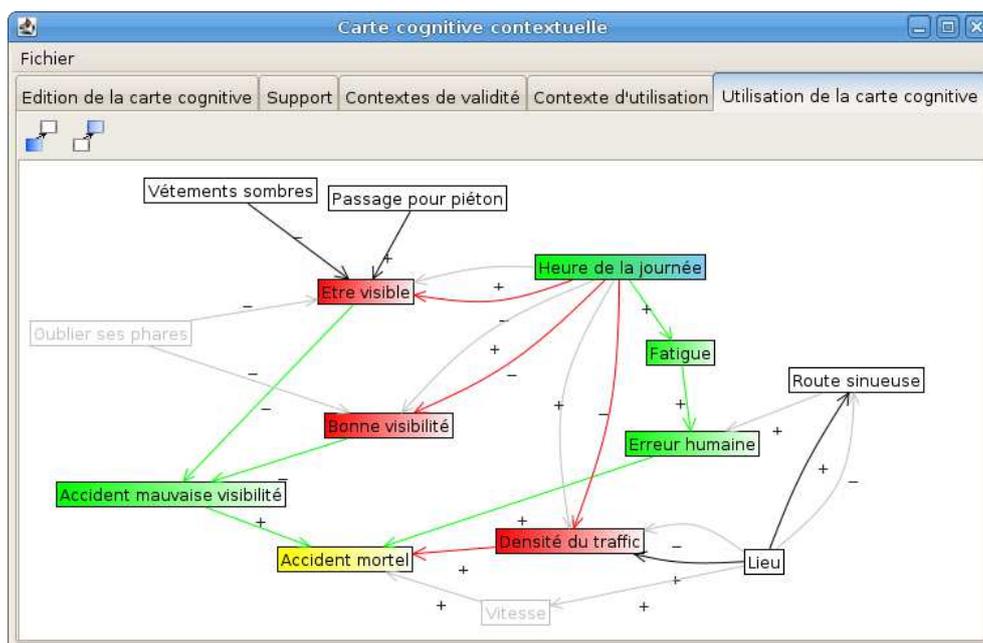


Figure 5.26 – Influence dans une vue contextuelle.

Seules les influences activées sont utilisées dans le calcul de l'influence entre deux concepts, les résultats sont donc plus précis et moins ambigus (figure 5.26).

### 5.4.3 Carte cognitive de graphes conceptuels

Comme la déclinaison du prototype adaptée aux cartes cognitives contextuelles, celle adaptée aux cartes cognitives de graphes conceptuels contient un onglet « Support » permettant d'éditer le support (figure 5.20) et un onglet permettant d'éditer des graphes conceptuels (similaire à celui de la figure 5.21). L'onglet permettant d'éditer des graphes conceptuels est intitulé « Concepts » car dans cette déclinaison ils sont associés aux concepts.

La différence entre ces deux déclinaisons tient dans l'onglet « Sélection » 5.27 qui permet à l'utilisateur de sélectionner un ensemble de concepts dans la carte qui partagent des caractéristiques communes. L'utilisateur saisit un graphe conceptuel

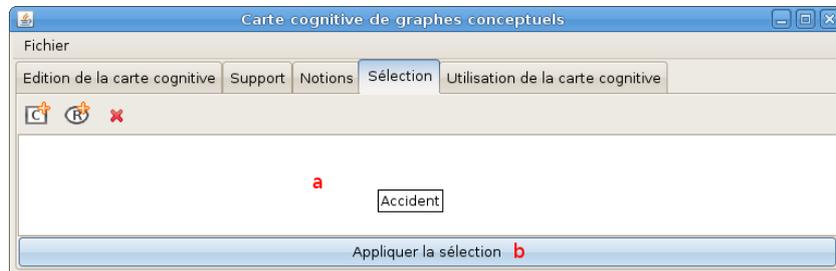


Figure 5.27 – Edition d’un graphe conceptuel requête.

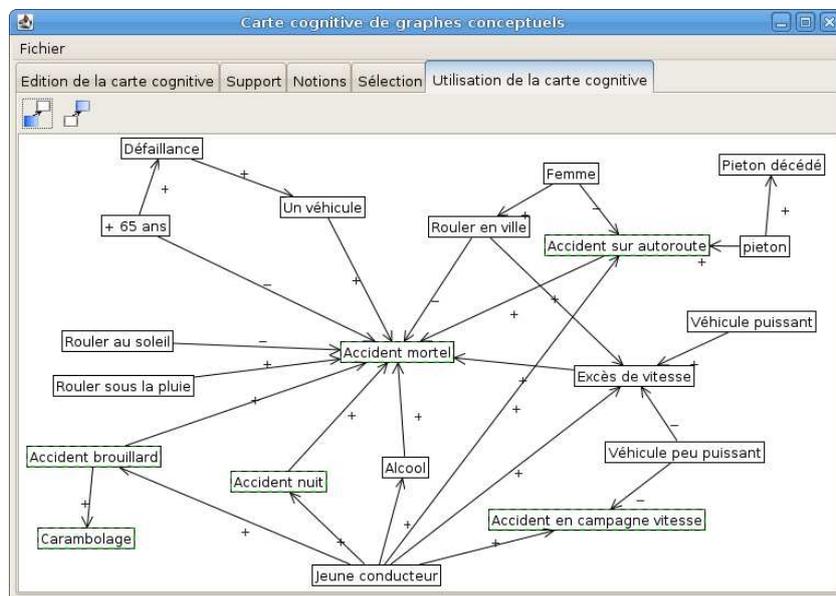


Figure 5.28 – Sélection d’une classe de concepts.

requête (figure 5.27-a). Il clique sur le bouton « Sélection » en bas de l’onglet (figure 5.27-b), L’onglet « Utilisation de la carte cognitive » obtient alors automatiquement le focus et certains concepts sont automatiquement sélectionnés (figure 5.28). Un concept est sélectionné si le graphe conceptuel requête se projette dans le graphe conceptuel associé à ce concept.

#### 5.4.4 Carte cognitive ontologique

L’organisation de la déclinaison du prototype adaptée aux cartes cognitives ontologiques est la même organisation que celle du prototype pour la carte cognitive. L’interface contient un onglet « Edition de la carte cognitive » pour le concepteur et un onglet « Utilisation de la carte cognitive » pour l’utilisateur (figure 5.31). En plus



Figure 5.29 – Grouper des concepts.

de la carte, les onglets contiennent une représentation de l'ontologie (figure 5.31-a).

Dans l'onglet « Edition de la carte cognitive », le concepteur peut construire l'ontologie de deux manières différentes. Le premier mode opératoire est le suivant. Le concepteur ajoute un ou plusieurs concepts dans la carte puis les sélectionne. Il clique ensuite sur le bouton « Grouper les concepts » (figure 5.29). Un concept supérieur aux concepts sélectionnés est alors ajouté à l'ontologie. Le second mode opératoire est le suivant. Le concepteur ajoute des concepts à la carte. Le concepteur ordonne les concepts par une relation de spécialisation. Pour ajouter une telle relation entre un concept inférieur et un concept supérieur, le concepteur sélectionne dans l'ontologie le concept inférieur (figure 5.30-a) et presse le bouton du milieu de sa souris. Un arc dont l'origine est le concept inférieur apparaît et le concepteur clique enfin sur le concept supérieur. Dans la carte, les bords du concept supérieur entourent les concepts inférieurs. Les bords et l'intitulé d'un tel concept sont colorés en gris (figure 5.30-b).

Dans l'onglet « Utilisation de la carte cognitive », l'utilisateur peut obtenir des vues ontologies de la manière suivante. L'utilisateur sélectionne dans la carte ou dans l'ontologie les concepts pour lesquels il veut masquer les concepts inférieurs puis clique sur le bouton « Plier » (figure 5.31-a). La vue ontologique est alors automatiquement calculée (figure 5.32). Les concepts sélectionnés ont un bord épais.

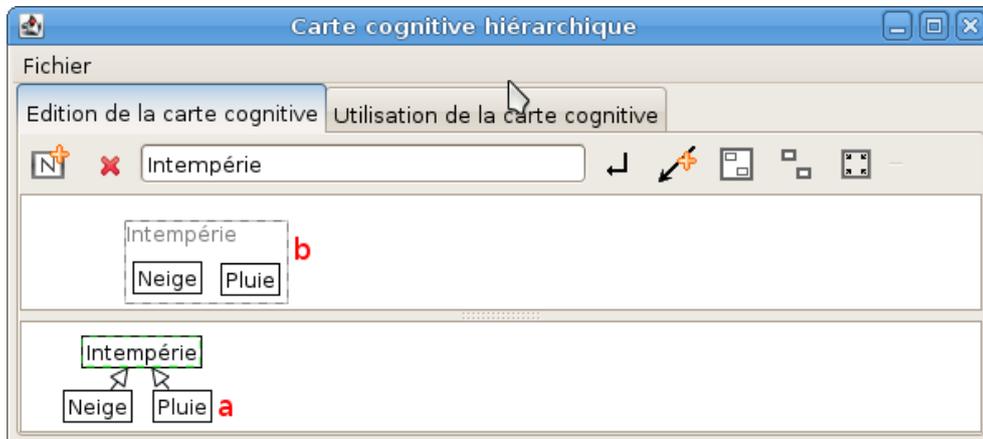


Figure 5.30 – Concepts groupés.

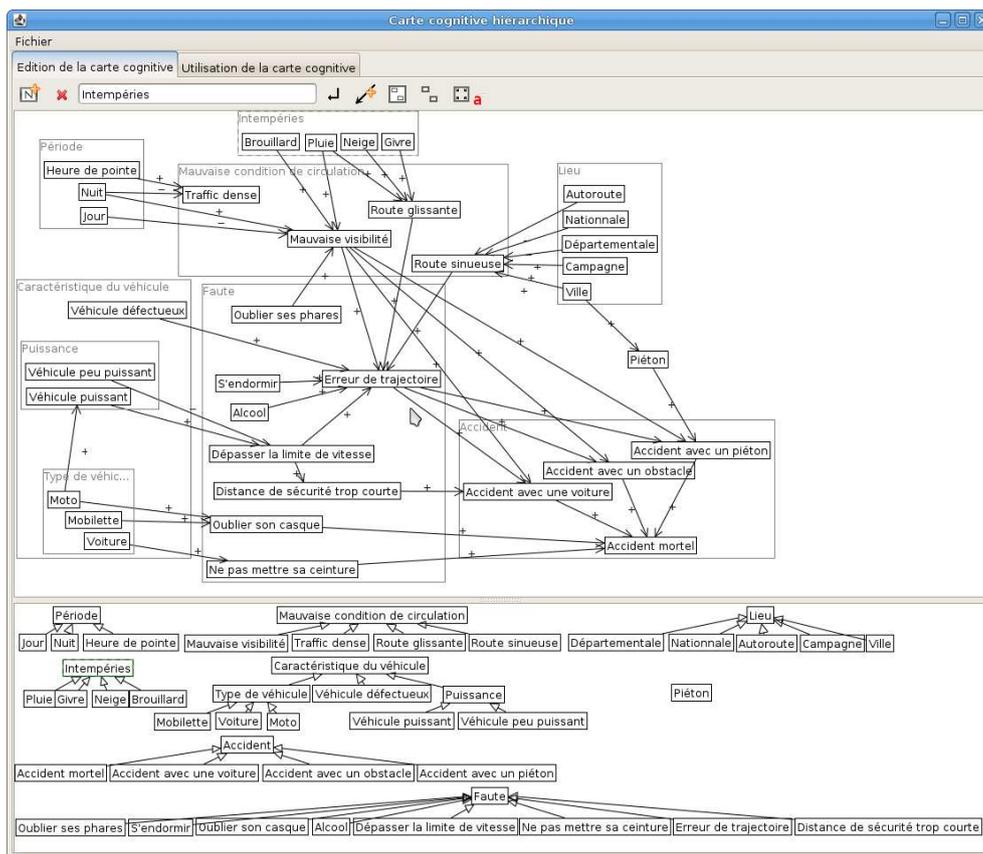


Figure 5.31 – Sélection des concepts.

## 5.4 Cas d'utilisations

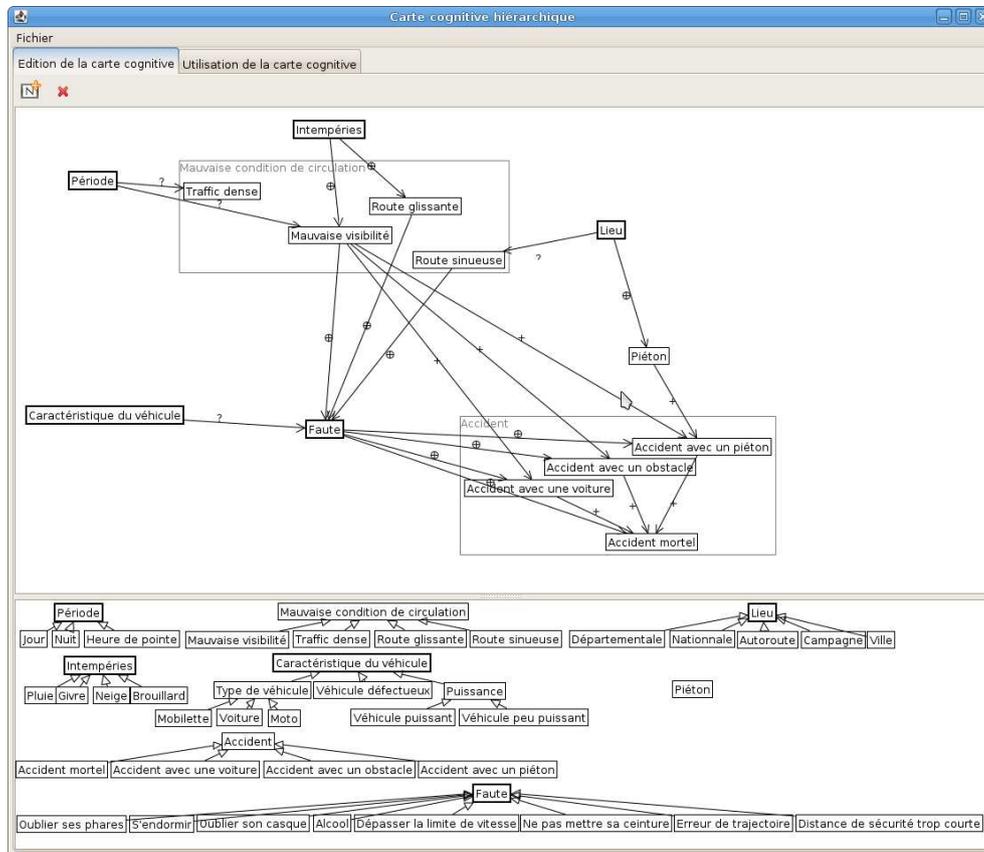


Figure 5.32 – Concepts pliés.

## Conclusion

Les programmes développés ont permis de réaliser des exemples pour nos différents modèles de cartes cognitives. Les différents mécanismes étudiés ont ainsi pu être testés sur ces cartes et ainsi valider notre approche. Le programme *SCCC* contient environ 10000 lignes de code. Le programme *SCCO* contient environ 12000 lignes de code. Le développement a été recommencé avec le programme *SCCO* afin de pallier les limitations de *SCCC*. Il serait intéressant de réintégrer l'ensemble des fonctionnalités de *SCCC* dans *SCCO*. Les prototypes ont adaptés pour fournir des applets Java et ainsi les rendre utilisable depuis internet sans nécessiter d'installation. En revanche, les applets qui utilisent la bibliothèque cogitant pour les opérations sur les graphes conceptuels sont difficiles à déployer sur internet car pour des raisons de sécurité un applet ne devrait pas exécuter du code compilé.



# Conclusion générale

Les recherches menées dans ce travail de thèse ont pour but d'étendre le modèle des cartes cognitives et les mécanismes de raisonnement de sorte à organiser les concepts utilisés, fournir des vues synthétiques d'une carte cognitive, expliciter un mécanisme d'échelle pour voir à différents « niveaux conceptuels » une carte, et enfin proposer de prendre en compte l'utilisateur pour lui adapter sa carte. L'idée sous jacente à ces extensions est qu'aussi bien lors de sa construction que lors de son utilisation, il est important de pouvoir « naviguer » dans l'espace carte de sorte à en avoir différents points de vue ; les informations jugées importantes d'un certain point de vue n'étant pas les mêmes que celles jugées importantes d'un autre point de vue. Cette idée de navigation dans une carte cognitive est nouvelle : les travaux précédents sur les cartes cognitives s'intéressent en effet soit à la simple édition de cartes, soit à la mécanique algorithmique de calcul de propagation entre concepts, soit à la comparaison de cartes. Cette thèse a donné lieu à deux modèles de cartes cognitives, les modèles de cartes cognitives ontologiques et de cartes cognitives contextuelles, et à deux prototypes qui implémentent ces modèles : SCCO et SCCC. SCCO ajoute une ontologie aux cartes cognitives, fournit des mécanismes pour calculer l'influence ontologique d'un concept de l'ontologie à un autre, définit une échelle comme un sous ensemble d'une ontologie vérifiant des propriétés de représentabilité et d'incomparabilité, utilise une échelle pour produire une vue adaptée. SCCC ajoute aux cartes cognitives la possibilité de lier les influences à des graphes conceptuels et d'exploiter ces graphes de sorte à fournir une carte composée uniquement des influences adaptées à la requête de l'utilisateur. Ces prototypes ont été utilisés sur de petites applications issues de travaux précédents et des exemples construits dans le cadre de cette thèse.

Deux critiques principales peuvent, à notre sens, être adressées à nos travaux ; elles fournissent tous les deux des pistes pour des travaux ultérieurs. La première porte sur la construction de deux modèles différents dans le cadre de la thèse (cartes cognitives ontologiques, cartes cognitives contextuelles). Il est dommage de ne pas avoir proposé un modèle unificateur qui tire profit et d'une ontologie et de l'utilisation de graphes conceptuels dans une carte cognitive. L'idée de vue est la clef unificatrice des deux modèles que nous avons proposés. D'une certaine manière, les

cartes cognitives contextuelles fournissent les bases à une notion d'échelle portant sur les influences, alors que les cartes cognitives ontologiques fournissent, elles, formellement une notion d'échelle portant sur les concepts.

La seconde critique porte sur le peu d'expérimentation de nos outils afin de montrer la pertinence et les manques de nos modèles. Malgré cela, quelques points d'appréciation de la pertinence pratique de nos approches peuvent être fournis. Ils s'appuient sur l'expérience des différents membres de l'équipe dans l'usage des graphes conceptuels et du modèle des cartes cognitives. L'utilisation des cartes cognitives s'avère effectivement aisée pour des non informaticiens ce qui explique le succès du modèle. La notion d'ontologie s'avère compréhensible par un non informaticien, et les notions d'échelle et de vue nous semblent exploitables par tout usager des cartes cognitives. L'utilisation des graphes conceptuels comme interface graphique portant une sémantique claire s'avère elle de fait un média souvent trop complexe à comprendre par un utilisateur non informaticien. À notre sens SCCO pourrait donc être utilisable par les utilisateurs de cartes cognitives, alors que SCCC devrait être recentré comme un outil d'aide à la construction de cartes cognitives.

# Annexe

Cette annexe est un document de travail en cours, nous le fournissons car il donne quelques idées sur ce type de cartes.

Les cartes cognitives ont été étudiées par les chercheurs en informatique à partir des années 80 lorsque Bart Kosko choisi de fournir une nouvelle formalisation des cartes cognitives d'Axelrod. Kosko remarque que les cartes cognitives d'Axelrod appliquées à des domaines tels que la politique, l'histoire, les relations internationales, contiennent des concepts et des influences entre concepts qui sont par nature flous. Il formalise donc le modèle des cartes cognitives floues à l'aide de la théorie des ensembles flous [Bandlers et Kohout, 1980].

Les cartes cognitives d'Axelrod et les cartes cognitives floues de Kosko ont le défaut de ne pas permettre de voir évoluer la valeur d'un concept au cours du temps. Les mécanismes de propagation de l'influence ont donc été repensés. Nous appelons les modèles de cartes cognitives qui mettent en œuvre ces nouveaux mécanismes des cartes cognitives dynamiques. Au lieu de déterminer l'effet total entre deux concepts en fonction des chemins qui les relie, l'effet sur chaque concept est calculé itérativement en fonction des concepts qui l'influencent. Avec un tel mécanisme, un concept peut par exemple à un moment être influencé négativement puis à un autre moment être influencé positivement.

Les cartes cognitives floues à base de règles sont une évolution des cartes cognitives dynamiques qui permettent de définir de manière plus précise comment au cours de l'exécution du mécanisme de propagation, un concept sera influencé par d'autres concepts. Chaque concept d'une carte cognitive floue à base de règles contient un ensemble de règles logiques floues.

La partie A présente les cartes cognitives floues. La partie B présente les cartes cognitives dynamiques.

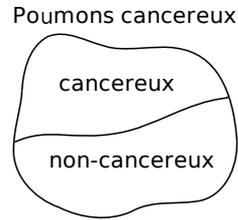


Figure 33 – Exemple de concept flou.

## A Les cartes cognitives floues

### ■ Formalisation

Kosko considère qu'un concept est l'association d'une quantité et d'une dis-quantité. Kosko formalise donc un concept  $C_i$  comme l'union floue d'un ensemble flou de quantité et de son ensemble flou complémentaire de dis-quantité. Une dis-quantité peut être vue comme la négation de la quantité.

#### Définition 1 (Concept flou)

Un concept flou  $C$  est défini tel que :

$$C = Q \cup \tilde{Q}$$

avec  $Q$  et  $\tilde{Q}$  deux ensembles flous complémentaires.

#### Exemple 1

Le concept flou *poumons cancéreux* (figure 1) est composé d'une quantité de poumons cancéreux et d'une dis-quantité de poumons cancéreux, c'est à dire d'une quantité de poumons non-cancéreux.

Un dis-concept est la négation d'un concept, c'est à dire que la quantité est la dis-quantité sont inversés. Le dis-concept d'un concept  $C$  est noté  $\tilde{C}$ .

#### Exemple 2

Le concept flou *poumons cancéreux* a pour dis-concept *poumons non-cancéreux*.

Une influence est formalisée à l'aide de l'inclusion entre deux ensembles flous.

#### Définition 2 (Influence floue)

Soit  $C_i$  et  $C_j$  deux concepts flous. Soit  $Q_i$  (resp.  $Q_j$ ) la quantité de  $C_i$  (resp.  $C_j$ ). Soit  $\tilde{Q}_i$  (resp.  $\tilde{Q}_j$ ) la dis-quantité de  $C_i$  (resp.  $C_j$ ).

- $C_i$  influence positivement  $C_j$  ssi  $Q_i \subset Q_j$  et  $\tilde{Q}_i \subset \tilde{Q}_j$

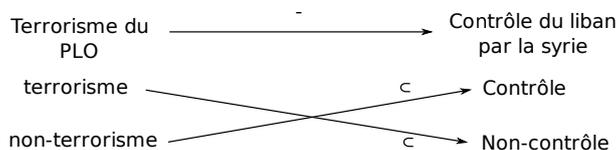


Figure 34 – Exemple d’influence floue négative.

- $C_i$  influence négativement  $C_j$  ssi  $Q_i \subset \tilde{Q}_j$  et  $\tilde{Q}_i \subset Q_j$

### Exemple 3

Comme les objets causaux sont variables, ils peuvent être représentés par des sous-ensembles flous d’un espace de concepts, où les changements dans le degré d’appartenance représentent les variations des concepts<sup>10</sup>.

#### Définition 3 (Carte cognitive floue)

Soit  $X$  un ensemble non vide. Soit  $F(2^X)$  l’ensemble de tous les sous-ensembles flous de  $X$ . Soit  $\mathcal{C}$  l’espace des concepts qui est une catégorie de sous-ensemble flous inclus dans  $F(2^X)$  respectant les définitions précédentes.

- Une carte cognitive floue<sup>11</sup> définie sur  $X$  est un graphe  $(\mathcal{C}, e)$  acyclique tel que :
- $\mathcal{C}$  contient des concepts.
  - $e : \mathcal{C} \times \mathcal{C} \rightarrow P$  est une fonction d’étiquetage d’arc entre deux concepts définie comme le degré d’appartenance :  $e(C_i, C_j) = m_{F(2^{C_j})}(C_i)$  citer.

Les étiquettes des arcs d’une carte cognitive floue appartiennent à n’importe quel ensemble partiellement ordonné  $P$ , classiquement  $[0, 1]$ .

### Exemple 4

La figure 35 présente une carte construite par Kosko à partir d’un article de journal de Kissinger[Kissinger, 1982]

Kosko propose des règles de construction de la carte permettant de remplacer les influences négatives par des influences positives.

#### Définition 4 (Règles de construction)

Pour chaque concept, le dis-concept correspondant est systématiquement ajouté.

Pour chaque influence :

- Si  $C_1$  influence positivement  $C_2$  alors

---

10. « Since causal objects are variable, they can be represented as fuzzy subsets of some concept space, where change in the fuzzy-set membership degree represents concept variation. » [Kosko, 1986]

11. cette définition est une version simplifiée de celle de Kosko qui ne définit pas de modificateurs linguistiques pour les concepts.

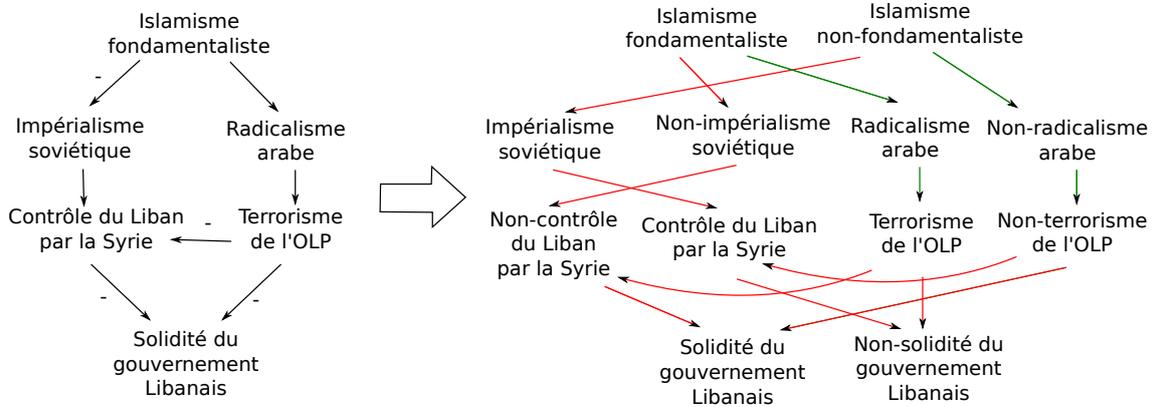


Figure 35 – Exemple de remplacement des influences négatives.

- $C_1$  influence positivement  $C_2$  et
- $\tilde{C}_1$  influence positivement  $\tilde{C}_2$ .
- Si  $C_1$  influence négativement  $C_2$  alors
- $C_1$  influence positivement  $\tilde{C}_2$  et
- $\tilde{C}_1$  influence positivement  $C_2$ .

### Exemple 5

Sur la figure 35, les influences positives sont remplacées par des influences positives représentées en vert, les influences négatives sont remplacées par des influences positives représentées en rouge.

Par exemple, *le terrorisme de l'OLP influence négativement le contrôle du Liban par la Syrie* est remplacé par *le terrorisme de l'OLP influence positivement le non contrôle du Liban par la Syrie* et *le non-terrorisme de l'OLP influence positivement le contrôle du Liban par la Syrie*.

### ■ Mécanismes

#### ■■ Inférence

Kosko propose un mécanisme de propagation inspiré de celui d'Axelrod [Axelrod, 1976] à la différence qu'il est dépendant d'un choix de l'ensemble partiellement ordonné  $P$  et du choix des opérateurs *min* et *max*. Ce mécanisme n'exploite pas les polarités. Il n'y a donc pas de problème d'ambiguïté.

#### Définition 5 (Influence indirecte)

L'influence indirecte  $I_l$  dans un chemin  $l$  entre deux concepts  $C_i$  et  $C_j$  est définie par :

$$I_l(C_i, C_j) = \min\{e(C_p, C_{p+1}) \mid (p, p+1) \in (i, k_1^l, \dots, k_n^l, j)\}$$

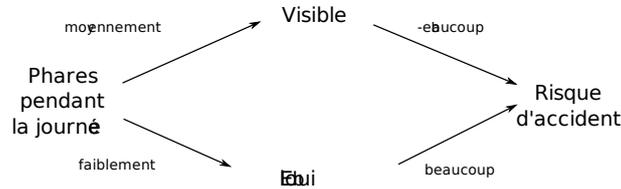


Figure 36 – Exemple de carte cognitive floue.

**Exemple 6**

$I_1 = (\text{Phares pendant la journée}, \text{Visible}, \text{Risque d'Accident})$ .

$I_{11}(\text{Phares pendant la journée}, \text{Risque d'Accident}) = \min(\{\text{moyennement}, \text{beaucoup}\}) = \text{moyennement}$ .

$I_2 = (\text{Phares pendant la journée}, \text{Ebloui}, \text{Risque d'Accident})$ .

$I_{12}(\text{Phares pendant la journée}, \text{Risque d'Accident}) = \min(\{\text{faiblement}, \text{beaucoup}\}) = \text{faiblement}$ .

**Définition 6 (Influence totale)**

L'influence totale  $T$  entre deux concepts  $C_i$  et  $C_j$  est définie par :

$$T(C_i, C_j) = \max_{1 \leq l \leq m} I_l(C_i, C_j)$$

gérer le max

**Exemple 7**

$T(\text{Phares pendant la journée}, \text{Risque d'Accident}) = \max(\{I_{11}, I_{12}\}) = \max(\text{moyennement}, \text{faiblement}) = \text{moyennement}$ .

**■■ Calcul**

L'influence totale peut être calculée en exploitant la matrice d'adjacence représentant la carte. Soit  $E = (e_{ij})_{1 \leq i, j \leq n}$  la matrice d'adjacence représentant la carte. Cette matrice représente tous les chemins de longueur 1. Le produit matriciel de  $E$  par  $E$  est une matrice notée  $E^2$  qui représente les chemins de longueur 2. Comme les cartes cognitives floues sont acycliques, il n'y a pas de chemins de longueur supérieure à  $n - 1$ .

**Définition 7 (Matrice résultat de l'influence totale)**

Soit  $E = (e_{ij})_{1 \leq i, j \leq n}$  une matrice d'adjacence. La matrice  $T$  de l'influence totale est définie de la manière suivante :

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} E^i$$

Il est possible de vérifier que la carte est acyclique en observant la diagonale de la matrice  $T$  qui doit contenir uniquement des zéros.

## B Les cartes cognitives floues dynamiques

Kosko [Dickerson et Kosko, 1994] propose un mécanisme de propagation qui permet de simuler un système dynamique.

### ■ Mécanisme

Une valeur initiale est affectée à chaque concept et cette valeur évolue au cours du temps. La valeur de chaque concept  $C_i$  au temps  $t_{n+1}$  est actualisée en fonction des valeurs au temps  $t_n$  des concepts qui le précèdent. Cette opération est répétée jusqu'à ce que les valeurs des concepts ne varient plus.

### Définition 8 (Inférence)

$$C_i(t_{n+1}) = S\left[\sum_{k=1}^N e_{ki}(t_n)C_k(t_n)\right]$$

avec

$$S(y) = \begin{cases} 1 & y > 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Dans son article Kosko propose comme fonction de seuil la sigmoïde  $S(y) = \frac{1}{1+e^{-c(y-1)}}$ . Pour un  $c$  grand et positif, cette sigmoïde s'approche de la fonction de seuil présentée dans la définition précédente. La variable  $c$  permet d'ajuster le seuil ou  $S(y)$  passe de la valeur 0 à la valeur 1.

### Exemple 8

On souhaite connaître ce qu'il va se passer si le concept  $A$  se produit (figure 8).

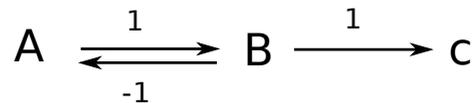


Figure 37 – Exemple de propagation dynamique.

Le concept  $A$  est initialisé à 1 les autres à 0.

$$\begin{aligned} A(t_0) &= 1 \\ B(t_0) &= 0 \\ C(t_0) &= 0 \end{aligned}$$

Au temps  $t_1$  le concept  $B$  est influencé. Les autres concepts ne sont plus influencés.

$$\begin{aligned} A(t_1) &= S(-1 \times B(t_0)) = S(-1 \times 0) = 0 \\ B(t_1) &= S(1 \times A(t_0)) = S(1 \times 1) = 1 \\ C(t_1) &= S(1 \times B(t_0)) = S(1 \times 0) = 0 \end{aligned}$$

Au temps  $t_2$  le concept  $C$  est influencé. Le concept  $A$  a pour valeur 0, bien qu'il soit influencé négativement.

$$\begin{aligned} A(t_2) &= S(-1 \times B(t_1)) = S(-1 \times 1) = S(-1) = 0 \\ B(t_2) &= S(1 \times A(t_1)) = S(1 \times 0) = 0 \\ C(t_2) &= S(1 \times B(t_1)) = S(1 \times 1) = 1 \end{aligned}$$

Au temps  $t_3$  plus aucun concept n'est influencé.

$$\begin{aligned} A(t_3) &= S(-1 \times B(t_2)) = S(-1 \times 0) = 0 \\ B(t_3) &= S(1 \times A(t_2)) = S(1 \times 0) = 0 \\ C(t_3) &= S(1 \times B(t_2)) = S(1 \times 0) = 0 \end{aligned}$$

Les résultats au temps  $t_4$  sont les mêmes. On peut arrêter le mécanisme.

Lorsque la carte est codée sous la forme d'une matrice d'adjacence, le mécanisme précédent est défini de la manière suivante :

**Définition 9 (Inférence par matrice d'adjacence)**

Soit  $E$  la matrice d'adjacence codant la carte cognitive floue. Soit  $C(t)$  le vecteur d'état représentant l'ensemble des valeurs des concepts de la carte au temps  $t$ .

$$C(t + 1) = S[C(t) \bullet E]$$

$C(t) \bullet E$  est le produit du vecteur  $C(t)$  par la matrice  $E$ . Le résultat de ce produit est un vecteur. La fonction de seuil  $S$  est appliquée à chaque valeur de ce vecteur afin d'obtenir le vecteur d'état au temps  $t + 1$  :  $C(t + 1)$ .

**Exemple 9**

$$\begin{aligned} C(0) &= [1, 0, 0] \\ C(1) &= S(C(0) \times E) = S([0, 1, 0]) = [0, 1, 0] \\ C(2) &= S(C(1) \times E) = S([0, 0, 1]) = [0, 1, 0] \\ C(3) &= S(C(2) \times E) = S([0, 0, 0]) = [0, 0, 0] \end{aligned}$$

■ Les cartes cognitives floues augmentées

Une carte cognitive floue augmentée est une fusion de plusieurs cartes cognitives floues. La fusion des cartes est effectuée en faisant la somme des matrices. Cela permet de fusionner les connaissances de plusieurs experts.

Kosko[Dickerson et Kosko, 1994] présente un exemple de carte cognitive augmentée pour un monde virtuel aquatique avec des bancs de poissons, des requins, des dauphins. La fusion des cartes cognitives des agents et de l'environnement forme une carte cognitive augmentée représentant le monde virtuel.

Banini[Banini et Bearman, 1998] fournit un exemple de carte cognitive floue augmentée appliquée aux facteurs affectant la viscosité de fluides. En fusionnant les connaissances des experts sur ce domaine un modèle plus précis a pu être obtenu.

### ■ Les cartes cognitives floues emboîtées

Une carte cognitive emboîtée est une carte dont les concepts « entrées » et les concepts « sorties » sont divisés en sous concepts. En fonction de la valeur du concept, le sous-concept le plus adapté est utilisé.

$$C_j = \bigcup_{i=1}^{N_j} Q_{ij}$$

Les arcs entre les concepts entrés et les concepts sortis forment un ensemble de règles floues.

Kosko donne comme exemple la carte emboîtée suivante : “menace“ influence ”fuir“ contient deux cartes : “menace faible” influence “éviter” et “menace importante” influence “échapper”.

# Liste des figures

1	Carte cognitive avec des valeurs d'influences « + » ou « - » : l'influence propagée, calculée de <i>fumer</i> à <i>essoufflement</i> est positive (de valeur « + »).	7
1.1	Arbre de Porphyre.	12
1.2	L'arbre des sciences, Raymond Lulle. Copie de l'ouvrage de 1515 à Lyon par J. Pillehotte en 1635.	13
1.3	Carte mentale sur le thème des cartes mentales.	15
1.4	Une carte conceptuelle décrivant les caractéristiques d'une carte conceptuelle.	16
1.5	Évolution des travaux sur les cartes cognitives.	19
1.6	Direction d'une influence.	21
1.7	Polarité d'une influence.	21
1.8	Force d'une influence.	22
1.9	Probabilité d'une influence.	22
1.10	Carte cognitive construite à partir d'un entretien de Mme Lagarde par le journal Le Monde 11/05/09.	25
1.11	Description d'une influence.	28
1.12	Exemple de carte cognitive (a) et de la matrice d'adjacence associée (b) [Kandasamy, 2003].	28
1.13	Comparatif entre les cartes conceptuelles, les cartes mentales et les cartes cognitives.	29
2.1	L'ontologie <i>O1</i> .	33
2.2	Carte cognitive <i>CC1</i> .	36
2.3	Exemple de propagation de l'influence dans un chemin	42
2.4	Exemple d'influence propagée entre deux concepts	43
2.5	Carte cognitive ontologique <i>CC2</i> .	44
2.6	Carte avec valeurs symboliques.	45
3.1	Exemple de vue non uniforme.	49

3.2	Carte cognitive ontologique <i>OCC1</i> composée de la carte cognitive <i>CC1</i> et de l'ontologie <i>O1</i> . . . . .	50
3.3	Vue d' <i>OCC1</i> . . . . .	53
3.4	Vue pour l'utilisateur « météorologiste ». . . . .	55
3.5	Vue partagée pour $P_r$ et $P_m$ . . . . .	56
3.6	Vue pour une influence. . . . .	58
4.1	Support. . . . .	63
4.2	Graphe conceptuel. . . . .	64
4.3	Carte cognitive contextuelle. . . . .	66
4.4	Ensemble des contextes de validité des influences. . . . .	67
4.5	Contexte d'utilisation pour un automobiliste conduisant de jour sur une autoroute. . . . .	68
4.6	Contexte d'utilisation pour un piéton marchant la nuit dans une ville. . . . .	68
4.7	Projection du graphe conceptuel <i>utilisateur de véhicule</i> dans le graphe <i>automobiliste</i> . . . . .	69
4.8	Vue contextuelle pour <i>un piéton marchant la nuit dans une ville</i> . . . . .	72
4.9	Vue contextuelle pour <i>un automobiliste conduisant de jour sur une autoroute</i> . . . . .	72
5.1	Organisation générale du projet <i>SCCC</i> . . . . .	77
5.2	Organisation du modèle <i>SCCO</i> . . . . .	79
5.3	Organisation générale du projet <i>SCCO</i> . . . . .	80
5.4	Exemple de propagation. . . . .	81
5.5	Carte cognitive simple convertie en graphe conceptuel. . . . .	83
5.6	Carte cognitive de graphes conceptuels convertie en graphe conceptuel. . . . .	86
5.7	Règle. . . . .	88
5.8	Carte cognitive contextuelle convertie en graphe conceptuel. . . . .	89
5.9	Carte cognitive ontologique convertie en graphe conceptuel. . . . .	92
5.10	Organisation générale de l'interface. . . . .	94
5.11	Ajout d'un nouveau concept. . . . .	95
5.12	Edition d'un concept. . . . .	96
5.13	Ajout d'influence. . . . .	96
5.14	Edition d'une influence. . . . .	97
5.15	Sélection d'un concept influencé. . . . .	97
5.16	Sélection d'un concept qui influence. . . . .	98
5.17	Influence cartésienne. . . . .	99
5.18	Détail de l'influence cartésienne. . . . .	99
5.19	Edition de la carte cognitive contextuelle. . . . .	100
5.20	Edition du support. . . . .	101
5.21	Edition d'un contexte de validité de l'influence. . . . .	102

## Liste des figures

---

5.22	Edition d'un contexte : édition d'un gconcept. . . . .	103
5.23	Edition d'un contexte : édition d'une arête. . . . .	103
5.24	Association d'un contexte à une influence. . . . .	104
5.25	Edition du contexte d'utilisation. . . . .	104
5.26	Influence dans une vue contextuelle. . . . .	105
5.27	Edition d'un graphe conceptuel requête. . . . .	106
5.28	Sélection d'une classe de concepts. . . . .	106
5.29	Grouper des concepts. . . . .	107
5.30	Concepts groupés. . . . .	108
5.31	Sélection des concepts. . . . .	108
5.32	Concepts pliés. . . . .	109
33	Exemple de concept flou. . . . .	114
34	Exemple d'influence floue négative. . . . .	115
35	Exemple de remplacement des influences négatives. . . . .	116
36	Exemple de carte cognitive floue. . . . .	117
37	Exemple de propagation dynamique. . . . .	118



# Références bibliographiques

- [Ackermann *et al.*, 1992] F. Ackermann, S. Cropper, and C. Eden. Get started with cognitive mapping, 1992.
- [Aguilar, 2003] Jose Aguilar. Dynamic fuzzy-cognitive-map approach based on random neural networks. *International Journal of Computational Cognition* (<http://www.yangsky.com/yangijcc.htm>), Yang's Scientific Research Institute, 1 :91–107, 2003.
- [Allard-Poesi, 1996] F. Allard-Poesi. Cartes cognitives : pour ne pas jeter le bébé avec l'eau du bain. *Ve Conférence Internationale de Management Stratégique*, 1996.
- [Arabnia, 2006] H. R. Arabnia, editor. *Proceedings of the 2006 International Conference on Artificial Intelligence, ICAI 2006, Las Vegas, Nevada, USA, June 26-29, 2006, Volume 2*. CSREA Press, 2006.
- [Avila, 2001] Fabiola Mata Avila. Utilisation des cartes cognitives dans les systèmes multi-agents. Master's thesis, Université de Laval, Canada, July 2001.
- [Avila, 2002] Fabiola Mata Avila. Raisonnement qualitatif dans les systèmes multi-agents basé sur les cartes causales. Master's thesis, Université de Laval, Canada, August 2002.
- [Axelrod, 1976] R. Axelrod. *Structure of decision : the cognitive maps of political elites*. Princeton, N.J., 1976.
- [Ayala *et al.*, 2007] Alejandro Peña Ayala, Humberto Sossa, and Francisco Gutiérrez. Ontology agent based rule base fuzzy cognitive maps. In Nguyen *et al.* [2007], pages 328–337.
- [Baader *et al.*, 2003] Franz Baader, Diego Calvanese, Deborah L. McGuinness, Daniele Nardi, and Peter F. Patel-Schneider, editors. *The Description Logic Handbook : Theory, Implementation, and Applications*. Cambridge University Press, 2003.
- [Baget *et Mugnier*, 2002] J. F. Baget and M. L. Mugnier. Extensions of Simple Conceptual Graphs: the Complexity of Rules and Constraints. *Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR)*, 16(12) :425–465, 2002.
- [Baget, 2007] Jean-François Baget. A Datatype Extension for Simple Conceptual Graphs and Conceptual Graphs Rules. In Priss *et al.* [2007], pages 83–96.
- [Bandler *et Kohout*, 1980] W. Bandler and L. Kohout, editors. *Fuzzy power sets and fuzzy implication operators*, volume 4. 1980.

- [Banini et Bearman, 1998] G. A. Banini and R. A. Bearman. Application of fuzzy cognitive maps to factors affecting slurry rheology. *International Journal of Mineral Processing*, 52 :233–244, 1998.
- [Borisov et Fedulov, 2004] Vadim V. Borisov and Alexander S. Fedulov. Generalized rule-based fuzzy cognitive maps : Structure and dynamics model. In Nikhil R. Pal, Nikola Kasabov, Rajani K. Mudi, Srimanta Pal, and Swapan K. Parui, editors, *Proceedings in the 11th international conference on neural information processing (ICONIP 2003)*, volume 3316 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 918–922. Springer, 2004.
- [Bougon et al., 1977] Michel Bougon, Karl E. Weick, and Din Binkhorst. Cognition in organizations : An analysis of the utrecht jazz orchestra. *Administrative Science Quarterly*, 22(4), 1977.
- [Bougon, 1983] Michel Bougon. Uncovering cognitive maps-the self-q technique. *Beyond Method, a study of organizational research strategies*, pages 173–188, 1983.
- [Bousquet, 1995] Bousquet. Simulating the management of renewable resources with multi-agents systems. *Reinventing the commons, IASCP annual conference*, 1995.
- [Brown, 1992] S. M. Brown. Cognitive mapping and repertory grids for qualitative survey research : some comparative observations. *Journal of Management Studies*, 29(3) :287–307, 1992.
- [Buzan et Buzan, 2003] Tony Buzan and Barry Buzan. *The Mind Map Book*. BBC Active, May 2003.
- [Carley et Palmquist, 1992] K. Carley and M. Palmquist. Extracting, representing, and analyzing mental. *Social Forces*, 70(3) :601–636, 1992.
- [Carlsson et Fuller, 1996] Christer Carlsson and Robert Fuller. Adaptive fuzzy cognitive maps for hyperknowledge representation in strategy formation process. In *Proceedings of the International Panel Conference on Soft and Intelligent Computing*, pages 43–50, 1996.
- [Carvalho et Tomé, 1999] J. Carvalho and J. Tomé. Rule based fuzzy cognitive maps – qualitative systems dynamics. In *Proceedings of the 19th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS 2000)*, pages 407 – 411, 1999.
- [Celik et al., 2005] F. Dadaser Celik, U. Ozesmi, and A. A. Akdogan. Participatory ecosystem management planning at tuzla lake (turkey) using fuzzy cognitive mapping, oct 2005.
- [Chaib-draa, 2002] Brahim Chaib-draa. Causal Maps : Theory, Implementation and Practical Applications in Multiagent Environments. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 14(2) :1–17, 2002.
- [Chauvin et al., 2007] Lionel Chauvin, David Genest, and Stéphane Loiseau. Le modèle des cartes cognitives contextuelles. In *Actes des quatrièmes journées francophones Modèles Formels de l’Interaction (MFI’07)*, volume 8 of *Annales de LAMSADE*, pages 285–292, 2007.

- [Chauvin *et al.*, 2008a] Lionel Chauvin, David Genest, and Stéphane Loiseau. Contextual cognitive map. In Peter W. Eklund and Ollivier Haemmerlé, editors, *Proceedings of the 16th International Conference on Conceptual Structures (ICCS 2008)*, volume 5113 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 231–241. Springer, 2008.
- [Chauvin *et al.*, 2008b] Lionel Chauvin, David Genest, and Stéphane Loiseau. Les cartes cognitives hiérarchiques. In Guillet and Trousse [2008], pages 91–102.
- [Chauvin *et al.*, 2008c] Lionel Chauvin, David Genest, and Stéphane Loiseau. Ontological cognitive map. In *Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'08)*, volume 2, pages 225–232, November 2008.
- [Chauvin *et al.*, 2009] Lionel Chauvin, David Genest, and Stéphane Loiseau. Ontological cognitive map. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 18(5) :697–716, 2009.
- [Chein *et al.*, 1998] M. Chein, M.L. Mugnier, and G. Simonet. Nested graphs : A graph-based knowledge representation model with FOL semantics. In *Proceedings of Knowledge Representation and Reasoning (KR'98)*, pages 524–534. Morgan Kaufmann Publishers, 1998.
- [Chein et Genest, 2000] Michel Chein and David Genest. CGs Applications : Where Are We 7 Years After the First ICCS. In Ganter and Mineau [2000], pages 127–139.
- [Chein et Mugnier, 1992] M. Chein and M. L. Mugnier. Conceptual Graphs: Fundamental Notions. *Revue d'Intelligence Artificielle (RIA)*, 6(4) :365–406, 1992.
- [Chein et Mugnier, 1997] M. Chein and M. L. Mugnier. Positive Nested Conceptual graphs. In Lukose *et al.* [1997], pages 95–109.
- [Chein et Mugnier, 2004] M. Chein and M. L. Mugnier. Concept types and coreference in simple conceptual graphs. In Wolff *et al.* [2004], pages 303–318.
- [Corby *et al.*, 2000] O. Corby, R. Dieng, and E. Hébert. A Conceptual Graph Model for W3C Resource Description Framework. In Ganter and Mineau [2000], pages 468–482.
- [Cossette, 1989] P. Cossette. *Les schèmes d'interprétation idiosyncratiques de propriétaires dirigeants de PME : Une étude de cartographie cognitive*. PhD thesis, Université de Laval, Canada, 1989.
- [Cossette, 1994] P. Cossette. *Introduction, Cartes cognitives et organisations*. Les presses de l'université de Laval, cossette edition, 1994.
- [Cossette, 2008] Pierre Cossette. La cartographie cognitive vue d'une perspective subjective : mise à l'épreuve d'une nouvelle approche. *Management*, 11(3) :259–281, 2008.
- [Damart, 2006] S. Damart. La construction de cartes cognitives collectives pour l'aide à la structuration de formes de coopération hybrides. *XV ème Conférence Internationale de Management Stratégique, Annecy / Genève*, 2006.
- [Davey et Priestley, 2002] B. A. Davey and H. A. Priestley. *Introduction to Lattices and Order*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2002.

- [Dean *et al.*, 2004] M. Dean, D. Connolly, F. van Harmelen, J. Hendler, I. Horrocks, D. L. McGuinness, P. F. Patel-Schneider, and L. A. Stein. OWL Web Ontology Language Reference. Technical report, 2004. W3C Recommendation <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>.
- [Delugach et Stumme, 2001] Harry S. Delugach and Gerd Stumme, editors. *Conceptual Structures : Broadening the Base, proceedings of ninth International Conference on Conceptual Structures (ICCS 2001), Stanford, CA, USA*, volume 2120 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI)*. Springer, 2001.
- [Delugach, 2001] H. S. Delugach. CharGer: A Graphical Conceptual Graph Editor. In *Proceedings of CG Tools Workshop of ICCS'01*, 2001. <http://charger.sourceforge.net/>.
- [Dickerson et Kosko, 1994] Julie A. Dickerson and Bart Kosko. Virtual worlds as fuzzy cognitive maps. *Presence*, 3(2) :73–89, 1994.
- [Dobrev et Toutanova, 2000] Pavlin Dobrev and Kristina Toutanova. CGWorld - A Web Based Workbench for Conceptual Graphs Management and Applications. In Gerd Stumme, editor, *Proceedings of CG Tools Workshop of ICCS'00*, pages 243–256. Shaker Verlag, 2000.
- [Doyle et Ford, 1999] James K. Doyle and David N. Ford. Mental models concepts revisited : some clarifications and a reply to lane. *System Dynamics Review*, 15(4) :411–415, 1999.
- [Eden *et al.*, 1983] C. Eden, S. Jones, and D. Simms. Messing about in problems : An informal structured approach to their identification an manangement. *R&D Management*, 15(12) :255–255, 1983.
- [Eden et Ackermann, 1992] C. Eden and F. Ackermann. The analysis of cause maps. *Journal of Management Studies*, 29(3) :309–324, 1992.
- [Eden, 1988] C. Eden. Cognitive mapping. *European Journal of Operational Research*, 36 :1–13, 1988.
- [Eden, 1990] C. Eden. Strategic thinking with computers. *Long Range Planning*, 23(6) :35–43, 1990.
- [Eden, 1992] C. Eden. On the nature of cognitive maps. *Journal of Management Studies*, 29(3) :261–265, 1992.
- [Eden, 1993] C. Eden. Strategy development and implementation - cognitive mapping for group support. *Thinking : Leadership and the Management of Change*, pages 115–135, 1993.
- [Eden, 1994] C. Eden. Cognitive mapping and problem structuring for system dynamics model building. *System Dynamics Review*, 10(2/3) :257–276, 1994.
- [Eklund *et al.*, 1996] Peter W. Eklund, Gerard Ellis, and Graham Mann, editors. *Conceptual Structures : Knowledge Representation as Interlingua, proceedings of the fourth International Conference on Conceptual Structures (ICCS'96), Sydney, Australia*, volume 1115 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI)*. Springer, 1996.

- [Elhinger, 1995] S. Elhinger. Organizational cognition development through strategy making process within multiple unit organizations. *3rd International Workshop on Managerial and Organizational Cognition*, juin 1995.
- [Fahey et Narayanan, 1989] L. Fahey and V. K. Narayanan. Linking changes in revealed causal maps and environmental change : An empirical study. *Journal of Management Studies*, 26(4) :361–378, 1989.
- [Ford et Hegarty, 1984] J. D. Ford and W. H. Hegarty. Decision makers’ beliefs about the causes and effects of structure : An exploratory study. *The Academy of Management Journal*, 27(2) :271–291, Jun 1984.
- [Forster *et al.*, 1999] Michael Forster, Andreas Pick, and Marcus Raitner. Graph template library. University of Passau, 1999. <http://infosun.fmi.uni-passau.de/GTL>.
- [Ganter et Mineau, 2000] Bernhard Ganter and Guy W. Mineau, editors. *Conceptual Structures : Logical, Linguistic and Computational Issues, proceedings of the eighth International Conference on Conceptual Structures (ICCS’2000), Darmstadt, Germany*, volume 1867 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI)*. Springer, 2000.
- [Genest et Loiseau, 2007] D. Genest and S. Loiseau. Modélisation, classification et propagation dans des réseaux d’influence. *Technique et Science Informatiques*, 26(3-4) :471–496, 2007.
- [Genest, 2007] David Genest. CoGITaNT 5.1.9 - Manuel de référence, 2007. <http://cogitant.sourceforge.net>.
- [Gopnik *et al.*, 2004] A. Gopnik, C. Glymour, D. M. Sobel, L. E. Schulz, T. Kushnir, and D. Danks. A theory of causal learning in children : causal maps and bayes nets. *Psychological Review*, 111(1) :3–32, January 2004.
- [Gruber, 1993] Thomas R. Gruber. A translation approach to portable ontology specifications. *KNOWLEDGE ACQUISITION*, 5 :199–220, 1993.
- [Gruber, 2008] T. Gruber. Ontology. In Ling Liu and M. Tamer Özsu, editors, *Encyclopedia of Database Systems*. Springer-Verlag, 2008.
- [Guarino et Giaretta, 1995] Nicola Guarino and Pierdale Giaretta. Ontologies and knowledge bases - towards a terminological clarification. In N. J. Mars, editor, *Towards Very Large Knowledge Bases - Knowledge Building and Knowledge Sharing*, pages 25–32. IOS Press, 1995.
- [Guillet et Trousse, 2008] Fabrice Guillet and Brigitte Trousse, editors. *Extraction et gestion des connaissances (EGC’2008), Actes des 8èmes journées Extraction et Gestion des Connaissances, Sophia-Antipolis, France, 29 janvier au 1er février 2008, 2 Volumes*, volume RNTI-E-11 of *Revue des Nouvelles Technologies de l’Information*. Cépaduès-Éditions, 2008.
- [Gutierrez, 2005] A. Gutierrez. In *Proceedings of CG Tools Workshop of ICCS’05*, 2005. <http://www.lirmm.fr/cogui/>.
- [Himsolt, 1996] Michael Himsolt. The Graphlet System. In *Proceedings of Graph Drawing*, volume 1190 of *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, pages 233–240. Springer-Verlag, 1996.

- [Huff et Fiol, 1992] A. S. Huff and M. Fiol. Maps for managers : where are we ? where do we go from here ? *Journal of Management Studies*, 29, 1992.
- [Huff, 1990] A. S. Huff. *Mapping Strategic Thought*. Wiley, reprint edition, 1990.
- [Hume, 1739] David Hume. *A Treatise of Human Nature (I) Of the Understanding*, volume 1 of *History of Economic Thought Books*. McMaster University Archive for the History of Economic Thought, 1739.
- [Hume, 1758] David Hume. *An Enquiry Concerning Human Understanding*. Number hume1758 in *History of Economic Thought Books*. McMaster University Archive for the History of Economic Thought, 1758.
- [IRIT, 2001] IRIT. L'intelligence artificielle, mais enfin de quoi s'agit-il ? des chercheurs de l'irit répondent ..., 2001.
- [Jenkins, 1994] M. Jenkins. Creating and comparing strategic causal maps : Issues in mapping accross multiple organizations. May 1994.
- [Jung et al., 2003] Jason J. Jung, Kyung-Yong Jung, and GeunSik Jo. Ontological cognitive map for sharing knowledge between heterogeneous businesses. In Adnan Yazici and Cevat Sener, editors, *Proceedings in the 18th International Symposium of Computer and Information Sciences (ISCIS 2003)*, volume 2869 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 91–98. Springer, 2003.
- [Kabbaj et al., 2001] A. Kabbaj, B. Moulin, J. Gancet, D. Nadeau, and O. Rouleau. Uses, Improvements, and Extensions of Prolog+CG: Case Studies. In Delugach and Stumme [2001], pages 346–359.
- [Kabbaj, 1999] Adil Kabbaj. Synergy as an Hybrid Object-Oriented Conceptual Graph Language. In Tepfenhart and Cyre [1999], pages 198–213.
- [Kabbaj, 2006] Adil Kabbaj. Development of Intelligent Systems and Multi-Agents Systems with Amine Platform. In Schärfe et al. [2006], pages 286–299.
- [Kandasamy et Smarandache, 2003] Dr. W. B. Vasantha Kandasamy and Florentin Smarandache. Fuzzy cognitive maps and neutrosophic cognitive maps. 2003.
- [Kant, 1997] Emmanuel Kant. *Lectures on metaphysics - Part V. Metaphysik L2 (1790-1791 ?)*. Cambridge University Press, Cambridge, 1997. Traduit et édité par Karl Ameriks et Steve Naragon.
- [Karel, ] Mls. Karel. From concept mapping to qualitative modeling in cognitive research. Technical report, University of Hradec Kralove, Czech republic.
- [Kelly, 1955] G. Kelly. *The Psychology of Personal Constructs*. 1955.
- [Kim, 2000] DH. Kim. A method for direct conversion of causal maps into sd models : Abstract simulation with number. In *Proceedings of International System Dynamics Conference*, 2000.
- [Kissinger, 1982] Henry A. Kissinger. Starting out in the direction of middle east peace. *Los Angeles Times*, 1982.

- [Kjaerulff et Madsen, 2008] Uffe B. Kjaerulff and Anders L. Madsen. *Bayesian Networks and Influence Diagrams : A Guide to Construction and Analysis*, volume 18 of *Information Science and Statistics*. Springer, 2008.
- [Kosko, 1986] Bart Kosko. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machines Studies*, 24 :65–75, 1986.
- [Kosko, 1991] Bart Kosko. *Neural Networks and Fuzzy Systems : A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*. Prentice Hall, 1991.
- [Langfield-Smith et Wirth, 1992] K. Langfield-Smith and A. Wirth. Measuring differences between cognitive maps. *The Journal of the Operational Research Society*, 43(12) :1135–1150, 1992.
- [Laukkanen, 1989] M. Laukkanen. Understanding the formation of managers’ cognitive maps : a comparative case study of context traces. 1989.
- [Laukkanen, 1992] M. Laukkanen. Comparative cause mapping of management cognitions : A computer database method for natural data. 1992.
- [Laukkanen, 1994] M. Laukkanen. Comparative cause mapping of organizational cognitions. *Organization science*, (5) :322–343, 1994.
- [Leclère, 1997] M. Leclère. Reasoning with type definitions. In Lukose et al. [1997], pages 401–415.
- [Liu et Zhang, 2003] Z.-Q. Liu and J. Y. Zhang. Interrogating the structure of fuzzy cognitive maps. *Soft Computing*, 7(3) :148–153, 2003.
- [Louça, 2000] Jorge A. Louça. *Cartographie Cognitive, Réflexion Stratégique et Interaction Distribuée : une Approche Multi-Agent*. PhD thesis, Université Paris Dauphine, France, 2000.
- [Louça, 2003] Jorge A. Louça. Modeling context-aware distributed knowledge. In *International symposium on Agent-Mediated Knowledge Management (AMKM 2003)*, volume 2926 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 201–212, 2003.
- [Lukose et al., 1997] Dickson Lukose, Harry Delugach, Mary Keeler, Leroy Searle, and John F. Sowa, editors. *Conceptual Structures : Fulfilling Peirce’s Dream, proceedings of the fifth International Conference on Conceptual Structures (ICCS ’97), Seattle, USA*, volume 1257 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI)*. Springer, 1997.
- [Markóczy et Goldberg, 1995] Markóczy and Goldberg. A method for eliciting and comparing causal maps. *Journal of Management*, 21 :305–333, 1995.
- [Mateou et Andreou, 2005] Nicos H. Mateou and Andreas S. Andreou. Tree-structured multi-layer fuzzy cognitive maps for modelling large scale, complex problems. In *Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC 2006)*, volume 2, pages 131–139. IEEE Computer Society, 2005.
- [Mehlhorn et Näher, 1999] Kurt Mehlhorn and Stefan Näher. *LEDA - A Platform for Combinatorial and Geometric Computing*. Cambridge University Press, 1999. <http://www.mpi-sb.mpg.de/LEDA/leda.html>.

- [Miao *et al.*, 1999] Yuan Miao, Chee Kheong Siew, Zhi-Qiang Liu, and Shi Li. Dynamical cognitive network an extension of fuzzy cognitive map. In *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 1999)*, page 43, Washington, DC, USA, 1999. IEEE Computer Society.
- [Michel, 2003] H-M. Michel. Les cartes cognitives du vote électronique : Une approche exploratoire des systèmes de représentations des citoyens, 2003.
- [Mugnier et Chein, 1996] M. L. Mugnier and M. Chein. Représenter des connaissances et raisonner avec des graphes. *Revue d'Intelligence Artificielle (RIA)*, 10(1) :7–56, 1996.
- [Nguyen *et al.*, 2007] Ngoc Thanh Nguyen, Adam Grzech, J. Robert Howlett, and Lakhmi C. Jain, editors. *Agent and Multi-Agent Systems : Technologies and Applications, First KES International Symposium, KES-AMSTA 2007, Wroclaw, Poland, May 31-June 1, 2007, Proceedings*, volume 4496 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 2007.
- [Novak et Cañas, 2006] J. D. Novak and A. J. Cañas. The theory underlying concept maps and how to construct them, technical report ihmc cmaptools. Technical report, Florida Institute for Human and Machine Cognition, 2006.
- [Novak et Gowin, 1984] J. D. Novak and D. B. Gowin. *Learning how to learn*. Cambridge University Press, New York, NY, 1984.
- [Ozesmi et Ozesmi, 1999] U. Ozesmi and S.L. Ozesmi. An artificial neural network approach to spatial habitat modelling with interspecific interaction. *Ecological Modelling*, 116 :15–31, 1999.
- [Ozesmi, 1999] U. Ozesmi. *Conservation strategies for sustainable resource use in the Kizilirmak delta in Turkey*. PhD thesis, University of Minnesota, 1999.
- [Park et Kim, 1995] Kyung Sam Park and Soung Hie Kim. Fuzzy cognitive maps considering time relationships. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, 42(2) :157–168, 1995.
- [Perusich, 1996] K. Perusich. Fuzzy cognitive maps for policy analysis. *Technology and Society Technical Expertise and Public Decisions*, 10 :369–373, 1996.
- [Poignonec, 2006] D. Poignonec. *Apport de la combinaison cartographie cognitive/ontologie dans la compréhension de la perception du fonctionnement d'un écosystème récifolagunaire de Nouvelle-Calédonie par les acteurs locaux*. PhD thesis, ENSA Rennes France, 2006.
- [Priss *et al.*, 2007] Uta Priss, Simon Polovina, and Richard Hill, editors. *Conceptual Structures : Knowledge Architectures for Smart Applications, 15th International Conference on Conceptual Structures (ICCS 2007), Sheffield, UK*, volume 4604 of *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*. Springer, 2007.
- [Raimbault, 2008] T. Raimbault. *Transition de modèles de connaissances. Un système de connaissance fondé sur OWL, Graphes Conceptuels et UML*. PhD thesis, Université de Nantes, France, 2008.
- [Salvat et Mugnier, 1996] Éric Salvat and Marie-Laure Mugnier. Sound and Complete Forward and Backward Chaining of Graph Rules. In Eklund *et al.* [1996], pages 248–262.

- [Salvat, 1997] Éric Salvat. *Raisonnement avec des opérations de graphes : Graphes conceptuels et règles d'inférence*. PhD thesis, Université Montpellier II, France, 1997.
- [Salvat, 1998] Éric Salvat. Theorem Proving Using Graph Operations in the Conceptual Graph Formalism. In *Proceedings of the 13th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'98), Brighton, UK, 1998*.
- [Satur et Liu, 1999] R. Satur and Zhi-Qiang Liu. A contextual fuzzy cognitive map framework for geographic information systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 7(5) :481–494, Oct 1999.
- [Scavarda *et al.*, 2006] Jose Annibal Scavarda, Tatiana Bouzdine-Chameeva, Susan Meyer Goldstein, Julie M. Hays, and Arthur V. Hill. A methodology for constructing collective causal maps. *Decision Sciences*, 37(2) :263–283, May 2006.
- [Schärfe *et al.*, 2006] Henrik Schärfe, Pascal Hitzler, and Peter Øhrstrøm, editors. *Conceptual Structures : Inspiration and Application, proceedings of 14th International Conference on Conceptual Structures (ICCS 2006), Aalborg, Denmark*, volume 4068 of *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*. Springer, 2006.
- [Skiena, 1990] S. Skiena. *Implementing Discrete Mathematics : Combinatorics and Graph Theory with Mathematica.*, pages 163, 169–170, 206–208. Addison-Wesley, 1990.
- [Southey et Linders, 1999] F. Southey and J. G. Linders. Notio - A Java API for Developing CG Tools. In Tepfenhart and Cyre [1999], pages 262–271.
- [Sowa, 1984] J. F. Sowa. *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*. Addison Wesley, 1984.
- [Studer *et al.*, 1998] Rudi Studer, V. Richard Benjamins, and Dieter Fensel. Knowledge engineering : principles and methods. *Data Knowl. Eng.*, 25(1-2) :161–197, 1998.
- [Styblinski et Meyer, 1988] M.A. Styblinski and B.D. Meyer. Fuzzy cognitive maps, signal flow graphs, and qualitative circuit analysis. *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN 88)*, 2 :549–556, 1988.
- [Stylios et Georgopoulos, 2007] Chrystomos D. Stylios and Voula C. Georgopoulos. *Fuzzy cognitive maps structure for medical decision support systems*, volume 218 of *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, pages 151–174. October 2007.
- [Taber et Siegel, 1987] W. R. Taber and M. A. Siegel. Estimation of expert weights using fuzzy cognitive maps. *Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN 87)*, 2, 1987.
- [Taber, 1991] R. Taber. Knowledge processing with fuzzy cognitive maps. *Expert Systems With Application*, 2(1) :83–87, 1991.
- [Tepfenhart et Cyre, 1999] William Tepfenhart and Walling Cyre, editors. *Conceptual Structures : Standards and Practices, proceedings of the seventh International Conference on Conceptual Structures (ICCS'99), Blacksburg, USA*, volume 1640 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI)*. Springer, 1999.
- [Tolman, 1948] E. C. Tolman. Cognitive maps in rats and men. *The Psychological Review*, 55(4) :189–208, 1948.

- [Trébucq, 2004] S. Trébucq. Finance organisationnelle : un essai de représentation. *7es Journées internationales d'Analyse statistique des Données Textuelles*, 2004.
- [Tricot, 2006] C. Tricot. *La cartographie sémantique : des connaissances à la carte*. PhD thesis, Université de Savoie, 2006.
- [Truck, 2002] I. Truck. *Approche symbolique et floue des modificateurs linguistiques et leur lien avec l'aggregation*. PhD thesis, Université de Reims, France, 2002.
- [Venable, 2005] J. Venable. Coloured cognitive maps for modelling decision contexts. *in Proc. of 1st Workshop on Context Modeling and Decision Support*, 2005.
- [Verstraete, 1996] T. Verstraete. La cartographie cognitive : outil pour une démarche d'essence heuristique d'identification des facteurs clés de succès, 1996.
- [Wolff *et al.*, 2004] Karl Erich Wolff, Heather D. Pfeiffer, and Harry S. Delugach, editors. *Conceptual Structures at Work : proceedings of 12th International Conference on Conceptual Structures (ICCS'2004), Huntsville, AL, USA*, volume 3127 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI)*. Springer, 2004.
- [Yalaoui et Madjid, 2006] Bilal Yalaoui and Dahmane Madjid. Cognitive map model in argumentation theory. In *Arabnia [2006]*, pages 493–497.
- [Zhang *et al.*, 1992] W. Zhang, S. Chen, W. Wang, and R. S. King. A cognitive-map-based approach to the coordination of distributed cooperative agents. 22(1) :103–114, 1992.
- [Zhang *et al.*, 1998] W. Zhang, S. Chen, M. Zhang, and J. Bezdek. On npn logic. 1998.
- [Zhou *et al.*, 2003] S. Zhou, J. Y. Zhang, and Z.-Q. Liu. Quotient fcms – a decomposition theory for fuzzy cognitive maps. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 11(5) :593–604, October 2003.

# Liste des publications personnelles

## Conférences internationales avec comité de sélection

- [1] Lionel Chauvin, David Genest et Stéphane Loiseau. Contextual Cognitive Map. In *Proceedings of the 16th International Conference on Conceptual Structures (ICCS'08)*, volume 51113 of Lecture Notes in Computer Science (LNCS), pages 231–241, France. Springer, 2008.
- [2] Lionel Chauvin, David Genest et Stéphane Loiseau. Ontological cognitive map. In *Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'08)*, volume 2, pages 225–232, USA. IEEE Computer Society, 2008.

## Conférences francophones avec comité de sélection

- [3] Lionel Chauvin, David Genest et Stéphane Loiseau. Le modèle des cartes cognitives contextuelles. Dans les *Actes des 4èmes journées francophones sur les Modèles Formels de l'Interaction (MFI'07)*, Paris, France, 2007.
- [4] Lionel Chauvin, David Genest et Stéphane Loiseau. Les cartes cognitives hiérarchiques. Dans les *Actes des 8èmes journées Extraction et Gestion des Connaissances (EGC'08)*, Sophia-Antipolis, France, Revue des Nouvelles Technologies de l'Information. Cépadués, 2008.

## Revue

- [5] Lionel Chauvin and David Genest and Stéphane Loiseau. Ontological cognitive map. *International Journal on Artificial Intelligence Tools (IJAIT)*, volume 18 number 5, pages 697–716. World Scientific, 2009.





---

# MODÈLES DE CARTES COGNITIVES ÉTENDUES AUX NOTIONS DE CONTEXTE ET D'ÉCHELLE

---

## Résumé

Une *carte cognitive* est un modèle graphique qui permet de représenter des systèmes complexes contenant un grand nombre de facteurs qui interagissent. Une carte cognitive est un graphe orienté étiqueté dont les sommets représentent des concepts et dont les arcs représentent les influences entre ces concepts. Le modèle des cartes cognitives inclut un mécanisme de raisonnement nommé *propagation*, qui calcule l'influence entre toute paire de concepts.

Notre thèse a pour objectif d'étendre le modèle des cartes cognitives et le mécanisme de raisonnement qui y est associé. Une première contribution consiste à associer à une carte une ontologie qui organise de façon hiérarchique les concepts : l'utilisation de cette ontologie comme un dictionnaire des données hiérarchiques permet à l'utilisateur de trouver les concepts qui l'intéressent dans une carte. Notre deuxième contribution consiste à fournir des mécanismes à l'utilisateur pour lui permettre de visualiser, à la demande, des *vues* simplifiées de la carte initiale. Notre troisième contribution fournit une notion d'*échelle* qui permet de sélectionner le niveau de détail de la carte que l'on veut voir. Notre quatrième contribution consiste en des mécanismes qui donnent à l'utilisateur une carte adaptée à ses savoirs : ceci s'effectue par l'utilisation de profils des utilisateurs ou de *contextes* exprimés par des graphes conceptuels. Les systèmes SCCO et SCCC montrent la faisabilité de l'approche.

**Mots-clés :** Modèle des cartes cognitives, Modèle des graphes conceptuels, Vues, Ontologie, Contexte.

---

# MODELS OF COGNITIVE MAPS EXTENDED TO THE NOTIONS OF CONTEXT AND SCALE

---

## Abstract

A *cognitive map* is a graphical model that allow represent complex systems containing many interacting factors. A cognitive map is a labeled directed graph whose vertices represent concepts and whose arcs represent influences between these concepts. The model includes a reasoning mechanism called *propagation*, which calculates the influence between any pair of concepts of the map.

Our thesis aims to extend the model of cognitive maps and the reasoning mechanism associated with it. A first contribution is to associate an ontology to a cognitive map. The ontology organizes the concepts and can be seen as a hierarchical data dictionary that help users to find concepts in a map. Our second contribution is to provide mechanisms to enable the user to obtain, on demand, simplified *views* of the original map. Our third contribution introduce a notion of *scale* that allows the user to select the level of detail of the map. Our fourth contribution consists of mechanisms that provide views adapted to the user knowledge : this is done by using user profiles or *contexts* expressed by conceptual graphs. Two systems : SCCO and SCCC have been developed to show the feasibility of our approach.

**Keywords :** Cognitive maps, Model of conceptual graphs, View, Ontology, Context.