



HAL
open science

Cartes Cognitives Synthétisées

Aymeric Le Dorze, Laurent Garcia, Genest David, Stephane Loiseau

► **To cite this version:**

Aymeric Le Dorze, Laurent Garcia, Genest David, Stephane Loiseau. Cartes Cognitives Synthétisées. RFIA 2012 (Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle), Jan 2012, Lyon, France. pp.978-2-9539515-2-3. hal-00656499

HAL Id: hal-00656499

<https://hal.science/hal-00656499v1>

Submitted on 17 Jan 2012

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.

Cartes Cognitives Synthétisées

A. Le Dorze¹

L. Garcia¹

D. Genest¹

S. Loiseau¹

¹ LERIA – Université d’Angers

2, boulevard Lavoisier
49045 Angers Cedex 01
{ledorze,garcia,genest,loiseau}@info.univ-angers.fr

Résumé

Une carte cognitive est un modèle graphique de représentation des connaissances exprimant des influences entre des concepts. Lorsque plusieurs concepteurs conçoivent ensemble une carte, les retours d’expérience montrent qu’ils ont du mal à y arriver. La contribution du papier est de proposer une approche nouvelle pour travailler à plusieurs par fusion de cartes. Chaque concepteur réalise une carte. Une carte de travail partagée est automatiquement construite par synthèse des cartes de chaque concepteur. Pour ce faire, d’une part nous utilisons une ontologie qui regroupe les concepts utilisés dans les cartes ; d’autre part, nous introduisons un ordre de préférences sur les concepteurs.

Mots Clef

carte cognitive, préférences, fusion, ontologie

Abstract

A cognitive map is a graphical knowledge representation model representing influences between concepts. This paper provides a method to synthesize into one cognitive map many maps provided by designers according to their own point of view. To achieve this, first, we use an ontology which regroups the concepts used in the maps ; then, we introduce preferences over the designers.

Keywords

cognitive map, preferences, merging, ontology

1 Introduction

L’un des aspects importants liés à la représentation des connaissances en Intelligence Artificielle est la visualisation de ces connaissances. Les modèles graphiques de visualisation de connaissances permettent à la fois d’organiser efficacement les connaissances et de les rendre compréhensibles facilement. Plusieurs de ces modèles graphiques portent sur les connaissances de dépendances comme, par exemple, la causalité dans les réseaux bayésiens [12, 13] et les influences dans les cartes cognitives [17].

Dans cet article, nous nous intéressons au modèle des cartes cognitives. Une *carte cognitive* [17] représente sous la forme d’un graphe des *influences* entre des *concepts*. Dans ce graphe, un concept étiquette par un texte qui le décrit un nœud et une influence étiquette par une *valeur d’influence* un arc. Les valeurs d’influence appartiennent à un ensemble prédéfini qui peut-être un ensemble de valeurs symboliques, tel que $\{+, -\}$ [1] ou encore $\{nul, un\ peu, moyennement, beaucoup\}$ [5, 18] ou un intervalle de valeurs numériques comme $[-1; 1]$ [8, 15]. Grâce à ce modèle, on est en mesure de calculer l’influence de n’importe quel concept de la carte sur un autre en combinant les valeurs des influences composant les chemins entre les deux concepts. Ces cartes ont été utilisées dans de nombreux domaines comme la biologie [17], la sociologie [14], l’écologie [3] ou la politique [9].

Les cartes cognitives sont utilisées pour aider une personne ou un groupe de personnes à prendre une décision. Lorsque plusieurs concepteurs conçoivent ensemble une carte, les retours d’expérience montrent qu’ils ont du mal à y arriver. La contribution du papier est de proposer une approche nouvelle pour travailler à plusieurs par fusion de cartes : une carte unique, appelée *carte synthétisée*, fusionne l’ensemble des cartes, chacune étant produite par un *designer* (concepteur) différent. Nous nous appuyons sur deux idées : une *ontologie* regroupe tous les concepts utilisés par les designers et des *préférences* permettent d’établir un ordre sur ces designers. Chaque carte fournie par un designer est dite *attribuée*. Les préférences sont utilisées pour favoriser les parties de cartes issues des designers préférés lorsque des morceaux de différentes cartes se recouvrent partiellement. La première étape de la construction de la carte synthétisée est de sélectionner les concepts qui y seront présents. Cet ensemble de concepts est appelé *ensemble des concepts synthétisés*. La seconde étape consiste à déterminer les influences entre les concepts, c’est-à-dire à construire l’ensemble des influences qui apparaîtront dans la carte synthétisée. On appelle cet ensemble d’influences *ensemble des influences synthétisées*. Nous pouvons ainsi obtenir une carte synthétisée qui peut servir de base de travail pour aider à prendre une décision.

Il est aussi possible de donner une valeur à chacune des influences pour obtenir une *carte synthétisée évaluée*. Pour chaque influence synthétisée, on calcule ainsi sa *valeur synthétisée* en faisant une moyenne pondérée grâce aux préférences sur les designers.

À notre connaissance, le seul travail ayant porté sur la fusion de cartes cognitives est [14]. Cette thèse semi-formelle de sociologie utilise un dictionnaire hiérarchique des données pour composer les cartes à fusionner. Nous nous appuyons dans notre travail sur le modèle des cartes cognitives ontologiques [4] qui intègre lui-même une ontologie et généralise la plupart des modèles de cartes cognitives de la littérature [1, 5, 18, 8, 15].

La section 2 présente le modèle des cartes cognitives ontologiques. La section 3 introduit les notions de designer, de carte attribuée et de préférences sur un ensemble de designers. La section 4 détaille la construction des concepts synthétisés, la section 5 indique comment construire l'ensemble des influences synthétisées ainsi que la carte synthétisée résultante. La section 6 propose un calcul des valeurs des influences de la carte synthétisée. La section 7 présente et discute d'autres manières de construire une carte synthétisée évaluée.

2 Carte cognitive ontologique

Le modèle des cartes cognitives ontologiques associe à une carte cognitive une ontologie.

Définition 1 (Concept) *Un concept est une étiquette linguistique.*

Une carte cognitive est un graphe défini sur un ensemble de concepts et un ensemble de valeurs et dans lequel les sommets représentant les concepts sont liés entre eux par des arcs représentant les influences.

Définition 2 (Carte cognitive) *Soient C un ensemble de concepts et I un ensemble de valeurs. Une carte cognitive CC définie sur C et I est un graphe orienté étiqueté $CC = (V, \text{eti}_C, A, \text{eti}_I)$ où :*

- V est l'ensemble des sommets du graphe ;
- $\text{eti}_C : V \rightarrow C$ est une application bijective d'étiquetage qui associe à tout sommet du graphe un concept ;
- $A \subseteq V \times V$ est l'ensemble des arcs du graphe, appelées influences ;
- $\text{eti}_I : A \rightarrow I$ est une application d'étiquetage qui associe à tout arc du graphe une valeur représentant la valeur de l'influence.

Exemple 1 *La carte cognitive CC_P (figure 1) est une carte cognitive qui représente l'influence que peuvent avoir différents facteurs sur le risque qu'un incendie se déclenche en forêt. Elle est définie sur l'ensemble des valeurs de l'intervalle $I = [-1; 1]$. Une valeur d'influence de 1 d'un concept sur un autre indique que si l'événement représenté par ce concept se produit, alors l'événement représenté par l'autre concept se produira lui aussi certainement. Une influence négative indique que le premier*

*concept influence le fait que l'événement représenté par le second concept ne se produise pas. L'absence d'influence entre deux concepts signifie qu'on ne se prononce pas sur la relation entre ces concepts. Si on considère les concepts *Campeur* et *Incendie*, alors si un campeur est présent dans la forêt, il influence le risque qu'un incendie se déclare de 0,3.*

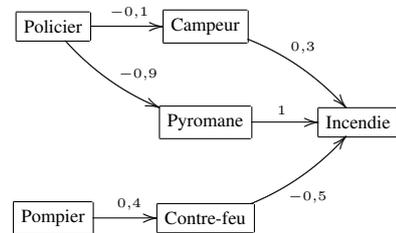


FIGURE 1 – La carte cognitive CC_P .

Une ontologie définit une relation d'héritage simple entre des concepts.

Définition 3 (Ontologie) *Une ontologie $O = (C, \leq)$ est un ensemble d'arbres de concepts C représentant une relation d'ordre partiel \leq .*

Deux concepts sont dits comparables dans une ontologie si l'un est plus petit que l'autre et sont dits incomparables sinon.

Définition 4 (Concepts comparables) *Soit une ontologie $O = (C, \leq)$. Soient $c_1, c_2 \in C$. c_1 et c_2 sont comparables, noté $c_1 \perp c_2$, si et seulement si $(c_1 \leq c_2) \vee (c_2 \leq c_1)$. c_1 et c_2 sont incomparables, noté $c_1 \parallel c_2$, si et seulement si $\neg(c_1 \perp c_2)$.*

Exemple 2 *L'ontologie o (figure 2) hiérarchise différents concepts utilisables par des cartes cognitives. Dans cette ontologie, les concepts *Météo* et *Orage* sont comparables car $\text{Orage} \leq \text{Météo}$ tandis que *Pompier* et *Pyromane* sont incomparables.*

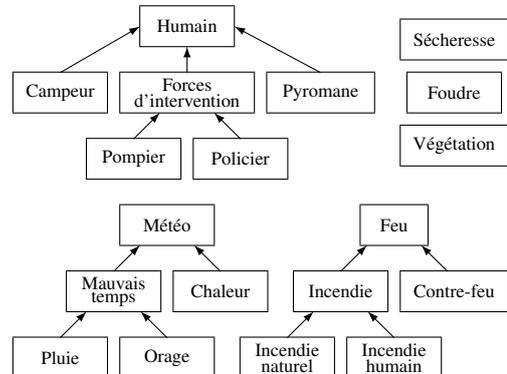


FIGURE 2 – L'ontologie o .

Une carte cognitive ontologique associe à une carte cognitive une ontologie. Dans une telle carte cognitive, les

concepts doivent être incomparables. En effet, utiliser deux concepts comparables amène une redondance de l'information puisque l'information représentée par le concept le plus petit est incluse dans celle représentée par le concept le plus grand.

Définition 5 (Carte cognitive ontologique) Soient $O = (C, \leq)$ une ontologie et I un ensemble de valeurs. Une carte cognitive ontologique CCO définie sur O et I est une carte cognitive $CCO = (V, \text{eti}_C, A, \text{eti}_I)$ définie sur l'ensemble de valeurs I et sur un ensemble de concepts $C' \subseteq C$ tel que tous les concepts de C' sont incomparables.

Exemple 3 La carte cognitive ontologique CCO_P est la carte cognitive CC_P définie sur l'ontologie o .

3 Designers et préférences

Chaque designer produit une carte attribuée. Des préférences sur les designers permettent de créer un classement de leurs points de vue.

Définition 6 (Designer) Un designer est une étiquette linguistique identifiant le concepteur d'une carte.

Une carte attribuée associe une carte cognitive ontologique au designer de cette carte.

Définition 7 (Carte attribuée) Soient O une ontologie et I un ensemble de valeurs. Soit d un designer. Une carte attribuée CA définie sur O et I est un couple $CA = (CCO, d)$ associant une carte cognitive ontologique CCO définie sur O et I au designer d .

Exemple 4 La carte attribuée CA_P est la carte cognitive CCO_P attribuée au designer Préfet.

Lorsqu'on considère un ensemble de cartes attribuées dont on souhaite obtenir une carte synthétisée, on interdit à un designer d'être associé à plusieurs cartes de cet ensemble.

Définition 8 (Ensemble univoque de cartes attribuées) Soient une ontologie $O = (C, \leq)$, un ensemble de valeurs I et un ensemble de cartes attribuées E définies sur O et I . E est dit univoque si aucun designer des cartes de E n'est associé à plus d'une carte de E .

Exemple 5 L'ensemble de cartes cognitives e (figure 3) est un ensemble univoque de cartes attribuées. Toutes ces cartes sont définies sur la même ontologie o et le même ensemble de valeurs $I = [-1; 1]$.

Pour représenter les préférences, on choisit une relation de pré-ordre total \succeq sur un ensemble. Grâce aux préférences sur les designers des cartes attribuées, on peut indiquer qu'on préfère que les informations fournies par un designer aient plus de poids que celles fournies par un autre.

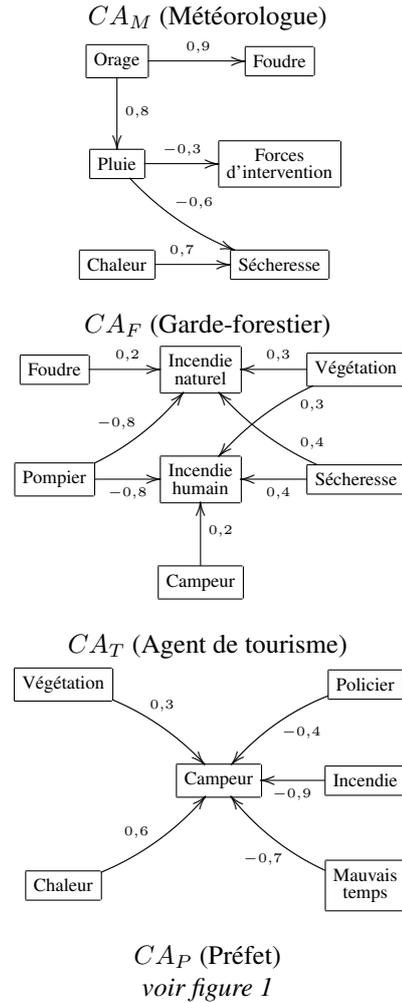


FIGURE 3 – L'ensemble de cartes cognitives e .

Définition 9 (Préférences sur un ensemble de designers) Un ensemble de préférences sur un ensemble de designers D est un couple $P = (D, \succeq)$ où \succeq est une relation de pré-ordre total sur l'ensemble D . On dit qu'un élément e_1 est préféré à un élément e_2 si et seulement si $e_1 \succ e_2$, où \succ est la relation de pré-ordre strict associée à \succeq . Deux éléments e_1 et e_2 sont équitablement préférés, noté $e_1 \approx e_2$, si et seulement si $(e_1 \succeq e_2) \wedge (e_2 \succeq e_1)$.

On peut représenter une relation de pré-ordre total sous la forme d'une stratification d'un ensemble. Une stratification est un tuple pour lequel chaque élément d'une composante du tuple est plus grand que chaque élément de la composante suivante.

Définition 10 (Stratification d'un ensemble) Soit $P = (D, \succeq)$ un ensemble de préférences. Une stratification S_D de P est un tuple $\langle S_1, \dots, S_m \rangle$, tel que $\forall i \in [1; m]$:

- $S_i \neq \emptyset$;
- $S_i = \{d \in (D \setminus \bigcup_{k=1}^{i-1} S_k) / \forall d' \in (D \setminus \bigcup_{k=1}^{i-1} S_k), d \succeq d'\}$.

Théorème 1 Avec un pré-ordre total, la stratification est unique.

La preuve est triviale car l'ensemble de designers est fini. On définit l'indice d'un designer qui attribue à chaque designer un poids en fonction de son ordre issu de l'ensemble des préférences.

Définition 11 (Indice d'un designer) Soit $P = (D, \succeq)$ un ensemble de préférences, $\mathcal{S}_D = \langle \mathcal{S}_1, \dots, \mathcal{S}_m \rangle$ la stratification de D selon P et $d \in \mathcal{S}_i$ ($1 \leq i \leq m$) un designer. On définit l'indice de d comme étant :

$$\mathcal{I}_P(d) = m - i + 1$$

Exemple 6 Le pré-ordre $p = \text{Préfet} \succ \text{Garde-forestier} \approx \text{Agent de tourisme} \succ \text{Météorologue}$ est un ensemble de préférences sur l'ensemble des designers de l'ensemble de cartes e . La stratification de cet ensemble de designers selon ces préférences est $\langle \mathcal{S}_1, \mathcal{S}_2, \mathcal{S}_3 \rangle$ avec :

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_1 &= \{\text{Préfet}\} \\ \mathcal{S}_2 &= \{\text{Garde-forestier}, \text{Agent de tourisme}\} \\ \mathcal{S}_3 &= \{\text{Météorologue}\} \end{aligned}$$

L'indice de Préfet est $\mathcal{I}_p(\text{Préfet}) = 3 - 1 + 1 = 3$.

4 Synthèse des concepts

Les concepts synthétisés sont les concepts qui apparaîtront dans la carte synthétisée, celle-ci ayant pour objectif d'être concise. Un concept utilisé par un designer est synthétisé s'il n'existe pas de concept qui lui est comparable utilisé par un autre designer qui lui est préféré.

Pour un ensemble univoque de cartes attribuées, les concepts utilisés par un ensemble de designers sont les concepts utilisés par au moins un de ces designers dans une carte.

Définition 12 (Concepts utilisés par un ensemble de designers) Soit E un ensemble univoque de cartes attribuées sur une ontologie $O = (C, \leq)$. On définit l'ensemble des concepts utilisés par un ensemble de designers D tel que :

$$\text{conceptsUtilisesPar}_E(D) = \bigcup_{d \in D} \{\text{eti}_{\mathcal{Q}}(v) / v \in V, ((V, \text{eti}_{\mathcal{Q}}, A, \text{eti}_{\mathcal{I}}), d) \in E\}$$

Les concepts minimaux d'un ensemble de concepts sur une ontologie sont les concepts les plus petits dans cet ensemble par rapport à l'ontologie.

Définition 13 (Concepts minimaux) Soient une ontologie $O = (C, \leq)$ et un ensemble de concepts $C' \subseteq C$. Les concepts minimaux de C' sont :

$$\min(C') = \{c \in C' / \forall c' \in C', c \leq c'\}$$

La synthèse des concepts se décompose en deux étapes. Premièrement, on construit, pour chaque strate de l'ensemble des préférences sur les designers, un ensemble de

concepts correspondant aux concepts utilisés par les designers de cette strate. Deuxièmement, on réalise l'union de ces ensembles. Les concepts de chacun de ces ensembles doivent être incomparables avec ceux de tous les ensembles correspondant à des strates préférées. Ainsi, l'ensemble des concepts synthétisés sera bien un ensemble de concepts incomparables et les concepts utilisés par les designers préférés seront ceux qui apparaîtront en priorité dans cette carte. Lors de la construction de l'ensemble des concepts utilisés par les designers d'une strate, il se peut que deux concepts soient comparables entre eux, chacun d'entre eux ayant été choisi par deux designers appartenant à cette strate. Si le cas se présente, il ne faut choisir qu'un seul de ces deux concepts car les concepts de ces ensembles doivent être incomparables. Les préférences ne peuvent permettre de trancher ici, puisque les deux designers appartenant à la même strate, ils sont équitablement préférés. Entre ces deux concepts, choisir le plus petit permet de s'assurer que les influences auxquelles est lié le concept le plus grand soient toujours valables si on les applique au plus petit. En effet, selon le principe de substitution de Liskov [10], si une propriété est vraie pour tout objet d'un type, alors elle doit aussi être vraie pour tout objet de n'importe quel sous-type de ce type. C'est pourquoi nous appliquons un min sur chacun des ensembles pour s'assurer que ceux-ci ne contiennent pas de concepts comparables en ne conservant que les plus petits.

Définition 14 (Concepts synthétisés) Soit E un ensemble univoque de cartes attribuées sur une ontologie $O = (C, \leq)$. Soit $P = (D, \succeq)$ un ensemble de préférences sur les designers des cartes de E et $\mathcal{S}_D = \langle \mathcal{S}_1, \dots, \mathcal{S}_m \rangle$ sa stratification. On appelle l'ensemble des concepts synthétisés de E :

$$\begin{aligned} \text{conceptsSynth}_E(P) &= \bigcup_{i=1}^m \mathcal{CS}(\mathcal{S}_i) \text{ avec :} \\ \mathcal{CS}(\mathcal{S}_i) &= \min(\{c \in \text{conceptsUtilisesPar}_E(\mathcal{S}_i) / \\ &\quad \forall c' \in \bigcup_{k=1}^{i-1} \mathcal{CS}(\mathcal{S}_k), c \parallel c'\}) \end{aligned}$$

Exemple 7 Les concepts de l'ensemble e de cartes synthétisées par les préférences de p sont représentés par un double encadrement sur la figure 4. On prend tous les concepts utilisés par le préfet car c'est lui le designer préféré, comme *Campeur* ou *Incendie*. On prend ensuite les concepts utilisés par le garde-forestier ou l'agent de tourisme, comme *Mauvais temps* ou *Végétation*. On ne prend pas *Incendie naturel* car *Incendie* a déjà sélectionné par le préfet. On prend enfin les concepts utilisés par le météorologue incomparables avec ceux déjà sélectionnés. On ne prend pas *Forces d'intervention* car *Policier* a déjà été sélectionné.

5 Carte synthétisée

Les influences synthétisées sont les influences qui apparaîtront dans la carte synthétisée. Une carte synthétisée est

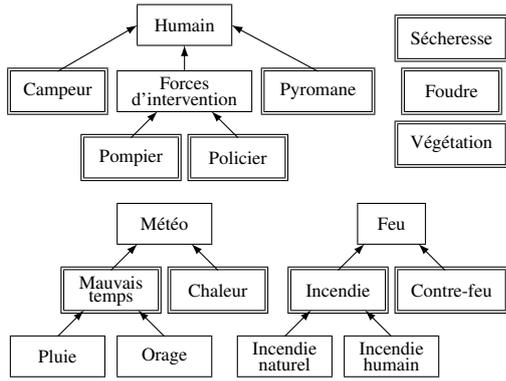


FIGURE 4 – Concepts synthétisés.

une carte cognitive ontologique construite à partir d'un ensemble univoque de cartes attribuées et de préférences sur les designers de ces cartes.

L'idée de la synthèse des influences est de représenter toutes les influences de l'ensemble des cartes attribuées. Les extrémités originales de ces influences ne sont pas forcément présentes dans l'ensemble des concepts sélectionnés. C'est pourquoi ces influences seront reportées entre les concepts comparables à chacune des extrémités.

Définition 15 (Influences synthétisées) Soit E un ensemble univoque de cartes attribuées sur une ontologie $O = (C, \leq)$. Soit $P = (D, \succeq)$ un ensemble de préférences sur les designers des cartes de E . Les influences synthétisées sont les couples de concepts de l'ensemble suivant :

$$\text{influencesSynth}_E(P) = \{(c_1, c_2) / c_1, c_2 \in \text{conceptsSynth}_E(P) \wedge \exists((V, \text{eti}_C, A, \text{eti}_I), d) \in E, \exists(v_1, v_2) \in A, \text{eti}_C(v_1) \perp c_1 \wedge \text{eti}_C(v_2) \perp c_2\}$$

Définition 16 (Carte synthétisée) Soit E un ensemble univoque de cartes attribuées sur une ontologie $O = (C, \leq)$ et un ensemble de valeurs $I = \{\circ\}$, où « \circ » signifie « valeur non renseignée ». Soit $P = (D, \succeq)$ un ensemble de préférences sur les designers des cartes de E . Une carte synthétisée est une carte cognitive ontologique $CS = (V, \text{eti}_C, A, \text{eti}_I)$ définie sur l'ontologie O et l'ensemble de valeurs I construite à partir de E telle que :

- V est l'ensemble des sommets du graphe ;
- $\text{eti}_C : V \rightarrow \text{conceptsSynth}_E(P)$ est une application bijective d'étiquetage qui associe à chaque sommet de V un concept de $\text{conceptsSynth}_E(P)$;
- $A = \{(v_1, v_2) / v_1, v_2 \in V, (\text{eti}_C(v_1), \text{eti}_C(v_2)) \in \text{influencesSynth}_E(P)\}$ est l'ensemble des arcs du graphe ;
- $\text{eti}_I : A \rightarrow I$ est une fonction d'étiquetage qui associe à chaque arc de A l'élément \circ .

Exemple 8 La figure 5 présente la carte synthétisée de l'ensemble e de cartes attribuées grâce aux préférences de p sur ses designers. On retrouve toutes les influences

du préfet avec leurs extrémités originales. Quelques influences des autres designers sont également inchangées, comme l'influence Chaleur \rightarrow Sécheresse issue de CA_M . En revanche, d'autres influences ont vu leurs extrémités modifiées, comme l'influence Pluie \rightarrow Sécheresse de CA_M réaffectée en Mauvais temps \rightarrow Sécheresse. D'autres influences synthétisées rassemblent plusieurs influences des cartes attribuées, comme l'influence Campeur \rightarrow Incendie qui rassemble Campeur \rightarrow Incendie de CA_P et Campeur \rightarrow Incendie naturel de CA_F . Enfin, certaines influences des cartes attribuées apparaissent plusieurs fois dans les influences synthétisées, comme l'influence Pluie \rightarrow Forces d'intervention de CA_M qui a donné Mauvais temps \rightarrow Policier et Mauvais temps \rightarrow Pompier.

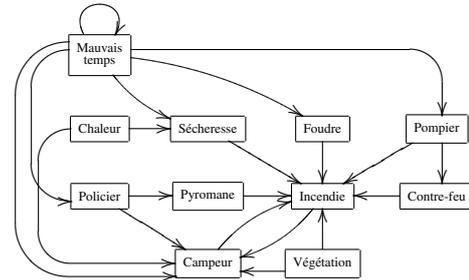


FIGURE 5 – Carte synthétisée par les préférences de p .

Une fois ce graphe obtenu, on a un premier résultat qui met en lumière les influences existant entre les différents concepts (sans en évaluer la force). L'utilisation des cartes cognitives servant à aider une décision collective, on peut s'arrêter ici et proposer cette carte à tous les designers soit comme base de discussion collective, soit afin de leur permettre de proposer de nouvelles valeurs évaluant les influences. Néanmoins, on peut proposer une solution pour obtenir une carte synthétisée contenant les valeurs pour les influences. C'est ce qui est fait en section suivante.

6 Carte synthétisée évaluée

Les valeurs synthétisées sont les valeurs étiquetant les influences de la carte synthétisée. Avant de proposer toute solution, il faut de nouveau noter l'hétérogénéité des informations représentées. En particulier, les designers peuvent associer aux influences des significations différentes (et même, un designer pourra donner des significations différentes dans une même carte). Ainsi, on ne peut pas proposer un opérateur d'agrégation des valeurs irréfutable. Néanmoins, pour pouvoir raisonner, on est obligé de combiner les différentes valeurs. La latitude inhérente aux solutions d'agrégation des valeurs se retrouve dans les possibilités de paramétrage expliquées en section 7. Enfin, il faut noter que la synthèse des valeurs va être dépendante de l'ensemble I utilisé. Dans cette section, on considère que l'ensemble des valeurs de l'ensemble des cartes attribuées est formé de l'intervalle $[-1; 1]$.

Pour construire les valeurs des influences de la carte synthétisée, on cherche tout d'abord à construire à partir de

deux concepts l'ensemble des valeurs des influences dont les extrémités sont comparables avec ce concept. Nous avons ici choisi de définir la valeur synthétisée de l'influence comme étant la moyenne pondérée de cet ensemble car c'est une manière simple de prendre en compte le point de vue de tous les concepteurs tout en privilégiant ceux des designers préférés.

Définition 17 (Extraction des valeurs d'influences) Soit E un ensemble univoque de cartes attribuées sur une ontologie $O = (C, \leq)$ et un ensemble de valeurs I . Les valeurs d'influences extraites sont un ensemble de quadruplets tel que :

$$\text{extract}_E(c_1, c_2) = \{(\text{eti}_C(v_1), \text{eti}_C(v_2), d, \text{eti}_I((v_1, v_2))) / ((V, \text{eti}_C, A, \text{eti}_I), d) \in E \wedge (v_1, v_2) \in A \wedge \text{eti}_C(v_1) \perp c_1 \wedge \text{eti}_C(v_2) \perp c_2\}$$

La moyenne pondérée permet de calculer une valeur à partir d'un ensemble de valeurs extraites.

Définition 18 (Moyenne pondérée) Soit E un ensemble univoque de cartes attribuées sur une ontologie $O = (C, \leq)$ et l'ensemble de valeurs $I = [-1; 1]$. Soit $P = (D, \succeq)$ un ensemble de préférences sur les designers des cartes de E . Soit X un ensemble de valeurs extraites. On définit la moyenne pondérée de X selon P comme étant :

$$\bar{x}_P(X) = \frac{\sum_{(c_1, c_2, d, v) \in X} \mathcal{I}_P(d) \times v}{\sum_{(c_1, c_2, d, v) \in X} \mathcal{I}_P(d)}$$

La valeur d'une influence est la moyenne pondérée par les designers de l'ensemble des valeurs extraites.

Définition 19 (Valeur synthétisée) Soit E un ensemble univoque de cartes attribuées sur une ontologie $O = (C, \leq)$ et l'ensemble de valeurs $I = [-1; 1]$. Soit $P = (D, \succeq)$ un ensemble de préférences sur les designers des cartes de E . Soient $c_1, c_2 \in C$ deux concepts. La valeur synthétisée portée par l'influence c_1, c_2 est :

$$\text{valeurSynth}_E(c_1, c_2, P) = \bar{x}_P(\text{extract}_E(c_1, c_2))$$

Exemple 9 Les valeurs d'influences extraites entre les concepts *Campeur* et *Incendie* par les préférences de p sont $\{(Campeur, Incendie, Préfet, 0, 3); (Campeur, Incendie Humain, Garde-forestier, 0, 2)\}$.

La valeur synthétisée portée par l'influence *Campeur* \rightarrow *Incendie* est donc $\frac{0,3 \times 3 + 0,2 \times 2}{3+2} = 0,26$.

Une carte synthétisée valuée est une carte synthétisée pour laquelle on redéfinit la fonction d'étiquetage des influences.

Définition 20 (Carte synthétisée valuée) Soit E un ensemble univoque de cartes attribuées sur une ontologie $O = (C, \leq)$ et l'ensemble de valeurs $I = [-1; 1]$. Soit

$P = (D, \succeq)$ un ensemble de préférences sur les designers des cartes de E . Une carte synthétisée valuée est une carte cognitive synthétisée $CS = (V, \text{eti}_C, A, \text{eti}_I)$ définie sur l'ontologie O et l'ensemble de valeurs I construite à partir de E telle que la fonction d'étiquetage $\text{eti}_I : A \rightarrow I$ associe à chaque arc de A une valeur de I telle que :

$$\text{eti}_I((v_1, v_2)) = \text{valeurSynth}_E(\text{eti}_C(v_1), \text{eti}_C(v_2), P)$$

Exemple 10 La figure 6 présente la carte synthétisée valuée de l'ensemble e de cartes attribuées grâce aux préférences de p sur ses designers. En reprenant les influences citées pour l'exemple 8, *Chaleur* \rightarrow *Sécheresse* porte la même valeur; *Mauvais temps* \rightarrow *Sécheresse* porte la valeur de *Pluie* \rightarrow *Sécheresse* et *Campeur* \rightarrow *Incendie* a synthétisé les valeurs de *Campeur* \rightarrow *Incendie* et de *Campeur* \rightarrow *Incendie* naturel, comme présenté pour l'exemple 9.

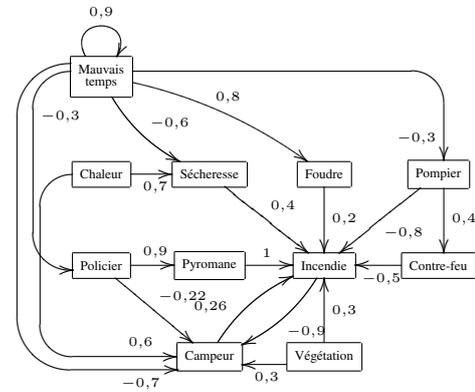


FIGURE 6 – Carte synthétisée valuée par les préférences de p .

7 Paramétrage

Nous avons précédemment choisi une manière de synthétiser les concepts, les influences et les valeurs. Dans la mesure où les informations représentées sont hétérogènes, nous proposons ici d'autres approches afin d'obtenir une carte synthétisée construite selon des critères différents.

Nous avons jusqu'ici travaillé sur l'intervalle $[-1; 1]$ mais les cartes cognitives peuvent également être définies sur un autre ensemble de valeurs, par exemple $\{+, -\}$. Un ensemble de valeurs différent n'impose le changement que de la définition des valeurs synthétisées. Agréger les valeurs d'influences peut être vu comme une somme qui est positive si toutes les valeurs sont « + » et négative si toutes les valeurs sont « - ». Si aucun de ces cas ne se présente, on peut définir la valeur de l'influence comme étant ambiguë, en la représentant par la valeur « ? » [1].

On peut redéfinir de la même façon le calcul des valeurs synthétisées pour les cartes synthétisées définies sur l'intervalle de valeurs $[-1; 1]$. Elles sont calculées grâce à une moyenne pondérée, celle-ci dépendant de la fonction

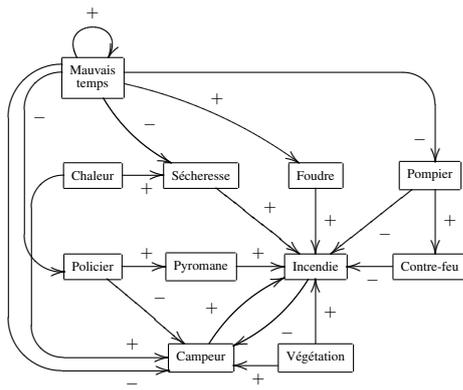


FIGURE 7 – Carte synthétisée définie sur l'ensemble de valeurs $\{+; -\}$.

indice. Il aurait été possible de choisir une autre fonction de pondération. Nous aurions également pu calculer les valeurs synthétisées d'une autre manière, sans utiliser la moyenne pondérée. Par exemple, on peut suivre le même raisonnement que pour les concepts synthétisés : pour chaque influence, on prend la première valeur renseignée dans l'ordre des designers. Si plusieurs designers équitablement préférés ont renseigné une valeur, on réalise la moyenne de ces valeurs. Dans ce cas, les designers préférés ont un avantage conséquent sur les valeurs des influences de la carte synthétisée puisque les valeurs posées par les designers moins préférés sont ignorées. Avec une moyenne pondérée, les points de vue des designers préférés sont modérés par ceux des autres. En effet, même si un designer voit sa valeur plus fortement pondérée que celle d'un designer qui lui est moins préféré, si les designers moins préférés sont beaucoup plus nombreux, leurs valeurs peuvent avoir plus d'importance dans la valeur synthétisée que celle du designer préféré.

On pourrait également utiliser des méthodes de pondération plus complexes, en utilisant des préférences qui indiqueraient que les points de vue de deux designers réunis ont plus de poids que celui d'un autre designer seul. Il existe déjà des méthodes pour calculer des moyennes agrégées qui prennent en compte cette multi-pondération, comme l'intégrale de Choquet [6, 7].

Hormis d'autres méthodes de calcul des valeurs, on peut aussi modifier les définitions de la construction des concepts et influences synthétisés de la même manière qu'on a redéfini la construction des valeurs synthétisées. On pourrait également prendre en compte des préférences plus complexes, de la même manière que pour les valeurs.

8 Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé une méthode de fusion d'un ensemble de cartes cognitives à partir de préférences exprimées sur les designers de chacune d'entre elles.

Une perspective de notre travail est de voir comment notre approche de la fusion de cartes fondé sur les préférences

pourrait s'appliquer à d'autres modèles visuels de connaissances, tels que les graphes conceptuels [16], les cartes mentales [2] ou les cartes conceptuelles [11].

Références

- [1] Robert M. Axelrod. *Structure of decision : the cognitive maps of political elites*. Princeton, N.J., 1976.
- [2] Tony Buzan and Barry Buzan. *The Mind Map Book*. BBC Active, May 2003.
- [3] Filiz D. Celik, Uygur Ozesmi, and Asuman Akdogan. Participatory ecosystem management planning at tuzla lake (Turkey) using fuzzy cognitive mapping, Oct 2005.
- [4] Lionel Chauvin, David Genest, Aymeric Le Dorze, and Stéphane Loiseau. Cartes cognitives : une exploitation à base d'échelle, vue et profil. In Ali Khenchaf and Pascal Poncelet, editors, *EGC*, volume RNTI-E-20 of *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information*, pages 503–514. Hermann-Éditions, 2011.
- [5] Julie A. Dickerson and Bart Kosko. Virtual worlds as fuzzy cognitive maps. *Presence*, 3(2) :73–89, 1994.
- [6] Michel Grabisch. Fuzzy integral in multicriteria decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 69 :279–298, 1995.
- [7] Michel Grabisch. The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 89 :445–456, 1996.
- [8] Bart Kosko. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machines Studies*, 24 :65–75, 1986.
- [9] Ariel Levi and Philip E. Tetlock. A cognitive analysis of Japan's 1941 decision for war. *The Journal of Conflict Resolution*, 24(2) :195–211, Jun 1980.
- [10] Barbara H. Liskov and Jeannette M. Wing. Behavioral subtyping using invariants and constraints. July 1999.
- [11] Joseph D. Novak and Alberto 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.
- [12] Judea Pearl. *Probabilistic reasoning in intelligent systems : networks of plausible inference*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1988.
- [13] Judea Pearl. *Causality : Models, Reasoning and Inference*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 2nd edition, 2009.
- [14] Denis Poignonec. *Apport de la combinaison cartographie cognitive/ontologie dans la compréhension de la perception du fonctionnement d'un écosystème récifo-lagonaire de Nouvelle-Calédonie par les acteurs locaux*. PhD thesis, ENSA Rennes France, 2006.

- [15] Richard 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.
- [16] John F. Sowa. *Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine*. Addison Wesley, 1984.
- [17] Edward C. Tolman. Cognitive maps in rats and men. *The Psychological Review*, 55(4) :189–208, 1948.
- [18] Sanming Zhou, Jian Ying Zhang, and Zhi-Qiang Liu. Quotient fcms – a decomposition theory for fuzzy cognitive maps. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 11(5) :593–604, oct 2003.