

# Cartes Cognitives Temporelles

Adrian Robert, David Genest et Stéphane Loiseau

prenom.nom@univ-angers.fr

**Résumé.** Une carte cognitive est un graphe orienté dont les noeuds sont étiquetés par des concepts et les arcs représentent des influences. Ce modèle permet de représenter des systèmes d'influences. Les cartes cognitives ne permettent pas de prendre en compte la temporalité des concepts. Cet article propose de définir une carte cognitive temporelle sur une ontologie temporelle. Cette ontologie sert à caractériser les concepts de la carte cognitive grâce à des intervalles périodiques.

## 1 Introduction

Le modèle de carte cognitive Axelrod (1976) est un modèle sémantique provenant de la psychologie cognitive. Ce modèle sert à représenter des stratégies, ou plus généralement, des systèmes d'influence. Une carte cognitive est un graphe orienté dont les noeuds sont étiquetés par des *concepts* et les arcs, appelés *influences* sont étiquetés par une *valeur d'influence*. Les valeurs d'influences appartiennent à un ensemble prédéfini qui peut contenir des valeurs symboliques, telles que  $\{-, +\}$ ,  $\{none, some, much, alot\}$ , numériques telles que  $[-1, 1]$  ou  $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ . Une séquence d'influences d'un noeud à un autre forme un *chemin*. Le modèle peut inférer une *valeur d'influence propagée* d'un noeud à un autre. Une *carte cognitive taxonomique* Le Dorze et al. (2012) est une carte cognitive définie sur une *taxonomie*. La taxonomie organise hiérarchiquement les concepts grâce à une relation de type "est une sorte de", les noeuds d'une carte cognitive taxonomique sont alors étiquetés par les concepts de la taxonomie. La taxonomie sert à fournir un vocabulaire commun à plusieurs cartes et permet d'inférer une *valeur d'influence taxonomique* d'un concept de la taxonomie à un autre.

Les cartes cognitives sont utilisées dans divers domaines tels que les sciences sociales Axelrod (1976) ou la géographie Çelik et al. (2005). C'est notamment le cas du projet de géographie Kifanlo<sup>1</sup>. Ce projet vise à étudier l'évolution des stratégies de pêche sur la côte Atlantique entre 1970 et 2016. Plus de cinquante cartes cognitives ont été construites avec des pêcheurs, chacune contenant entre 15 et 50 noeuds. Un logiciel d'édition de cartes cognitives, VSPCC, a été utilisé et amélioré<sup>2</sup>.

Dans le projet Kifanlo, plusieurs concepts ont une sémantique temporelle. La plupart de ces concepts se répètent périodiquement dans le temps comme les saisons ou les saisons de pêche. Cette périodicité des concepts devrait être prise en compte dans les cartes cognitives. Notez que les seuls articles qui traitent de la modélisation du temps dans les cartes cognitives

1. Kifanlo est un projet financé par la Fondation de France. Il a été mené de 2013 à 2017.

2. Le logiciel VSPCC Le Dorze et Robert (2019) a été implémenté après la thèse d'Aymeric LeDorze Le Dorze (2013), pour le projet Kifanlo.

## Cartes cognitives temporelles

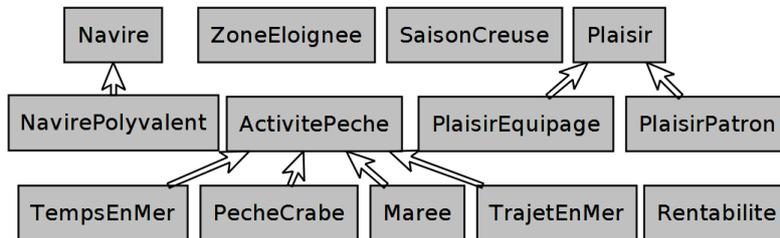


FIG. 1 – Une taxonomie  $\mathcal{T}_1$

ne se basent pas sur les concepts mais sur le délai et la durée des influences Park et Kim (1995); Zhong et al. (2008).

C'est pourquoi ce papier présente le modèle des cartes cognitives temporelles, qui ajoute à celui des cartes cognitives taxonomiques, une ontologie temporelle pour la modélisation.

Du fait de la périodicité des concepts, l'ontologie temporelle représente des intervalles périodiques Osmani (1999). L'ontologie utilise des assertions temporelles qui sont des triplets constitués de deux intervalles périodiques reliés par un prédicat de comparaison. L'ontologie temporelle proposée peut être intégrée à d'autres ontologies temporelles existantes comme OWL-Time Hobbs et Pan (2006) qui manque d'entités temporelles périodiques.

Une carte cognitive temporelle est définie sur une ontologie temporelle; elle contient un ensemble d'assertions temporelles qui relient les noeuds de la carte cognitive à l'ontologie temporelle. Les noeuds sont alors caractérisés temporellement, ce qui signifie qu'une influence est valide selon les caractérisations temporelles de ses concepts.

Cet article est composé de trois parties. La première rappelle le modèle des cartes cognitives taxonomiques, la seconde présente l'ontologie temporelle et la dernière fournit le modèle de carte cognitives temporelles.

## 2 Carte cognitive taxonomique

Une carte cognitive taxonomique est un graphe dont les noeuds et les arcs sont respectivement étiquetés par des concepts de la taxonomie et des valeurs d'influence; la taxonomie vise à organiser les concepts en spécifiant une relation de spécialisation entre eux. Celle-ci est d'autant plus utile lors de l'utilisation d'un ensemble de cartes, permettant alors de s'assurer d'utiliser les mêmes concepts d'une carte à une autre.

**Definition 1 (Taxonomie)** Soit  $C$  un ensemble de concepts.

Une taxonomie  $\mathcal{T} = (C, \leq)$  est un ensemble d'arborescences de concepts qui représentent une relation d'ordre partiel  $\leq$  dont le sens est 'est une sorte de'.

**Exemple 1**  $\mathcal{T}_1$  est la taxonomie de la figure 1. Les concepts sont ordonnés par une relation de spécialisation, par exemple  $NavirePolyvalent \leq Navire$  est représenté par une flèche sur la figure. Cela signifie que  $NavirePolyvalent$  est une sorte de  $Navire$ .

Les concepts les plus spécialisés de la taxonomie sont dits élémentaires.

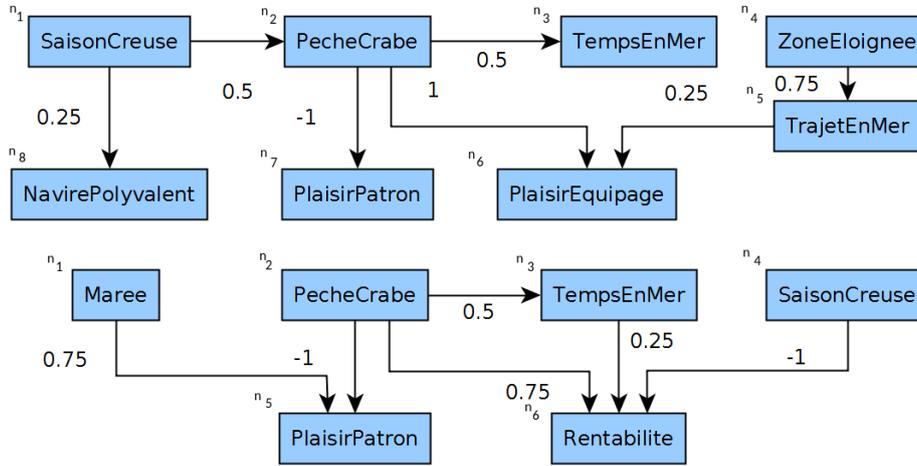


FIG. 2 – Deux cartes cognitives taxonomiques, CCI (haut) et CC2 (bas).

**Definition 2 (Concepts élémentaires)** Soit  $\mathcal{T} = (C, \leq)$  une taxonomie. Les concepts élémentaires de  $\mathcal{T}$  sont :  $elem_{\mathcal{T}} = \{c \in C / \forall c' \in C, c' \leq c \implies c' = c\}$ .

**Example 2** Dans la taxonomie  $\mathcal{T}_1$  (figure 1), les concepts élémentaires sont  $elem_{\mathcal{T}_1} = \{NavirePolyvalent, ZoneEloignee...\}$ ; les concepts *Navire*, *ActivitePeche* et *Plaisir* ne le sont pas.

Une carte cognitive taxonomique est un graphe dont les noeuds et les arcs sont respectivement étiquetés par un concept de la taxonomie et une valeur d'influence. La valeur d'influence représente la force de l'influence et appartient à un ensemble de valeurs défini qui peut être qualitatif ou quantitatif, discret ou continu.

**Definition 3 (Carte cognitive taxonomique)** Une carte cognitive taxonomique  $CM$  définie sur une taxonomie  $\mathcal{T} = (C, \leq)$  et un ensemble de valeur  $I$  est un graphe orienté étiqueté  $CM=(N,E,labelN,labelE)$  tel que :

- $N$  est l'ensemble des noeuds du graphe.
- $E \subset N \times N$  est l'ensemble des arcs qui sont appelés influences.
- $labelN : N \rightarrow elem_{\mathcal{T}}$  est une fonction d'étiquetage sur les noeuds.
- $labelE : E \rightarrow I$  est une fonction d'étiquetage sur les arcs.

**Example 3** CCI et CC2 sont les deux cartes cognitives taxonomiques de la figure 2. Elles sont définies sur la taxonomie  $\mathcal{T}_1$  de la figure 1 et l'ensemble de valeurs  $I = [-1, 1]$ . Notez que, dans la figure, chaque noeud a un unique identifiant par carte  $n_1, n_2, \dots$  qui est présent seulement pour la clarté du papier. Une influence étiquetée par 1 (resp. -0.25) signifie que le premier noeud influence fortement (resp. faiblement) et positivement (resp. négativement) le second noeud. Dans notre application, chaque pêcheur construit une carte cognitive : CCI est celle du pêcheur1, CC2 celle du pêcheur2. Dans CC2, le noeud  $n_2$  (PecheCrabe) influence fortement et négativement (-1) le noeud  $n_5$  (PlaisirPatron); ce qui signifie que le patron n'aime vraiment pas la pêche au crabe.

### 3 Ontologie Temporelle

Cette section présente les intervalles périodiques, puis propose une ontologie temporelle définie sur ces intervalles périodiques et des assertions temporelles qui permettent de les comparer.

Un intervalle périodique Ermolayev et al. (2014); Ermolayev et al (2008); Osmani (1999) est un type d'intervalle non-convexe Ladkin (1986), c'est-à-dire un intervalle composé de sous intervalles discontinus. Les intervalles périodiques ont la particularité d'être composés de sous intervalles ayant la même longueur et également espacés. Par exemple 'Hiver' est un intervalle périodique. Les intervalles périodiques d'Osmani (1999); Balbiani et Osmani (2000) qui prennent également en compte différentes relations qualitatives sont choisis comme base dans cet article. Cette approche est particulièrement adaptée au projet Kifanlo et semble, en général, adéquate pour les cartes cognitives, offrant de la flexibilité et permettant de faire face à des informations imprécises.

**Definition 4 (Intervalle Périodique)** *Un intervalle périodique est un intervalle non-convexe dont les sous-intervalles sont également espacés et ont la même longueur.*

**Example 4** *Janvier est un intervalle périodique puisque tous ses sous-intervalles durent un mois et se répètent chaque année. Eté est aussi un intervalle périodique, ses sous-intervalles durent trois mois et se répètent chaque année.*

Ce papier propose de spécifier ces intervalles périodiques avec des relations qualitatives entre deux intervalles en utilisant des prédicats de comparaison. Ces prédicats sont les 16 relations d'Osmani (1999) plus cinq autres relations. Les relations d'Osmani sont très similaires aux 13 relations des intervalles d'Allen (1983), remplaçant la relation de précédence et son inverse par cinq relations prenant en compte la périodicité. Ce papier considère aussi deux relations (Inside/Disjoint) qui combinent des relations d'Osmani et trois relations (<,>=) qui comparent les durées des intervalles, ce qui ne peut être fait avec les relations d'Osmani.

**Definition 5 (Prédicat de comparaison)** *Un prédicat de comparaison est une relation binaire dont le domaine et le codomaine sont des intervalles périodiques.  $\mathcal{P}$  est l'ensemble des 21 prédicats de comparaison :  $\{m,mi,s,si,d,di,f,fi,o,oi,eq,ppi,mmi,moi,omi,ooi,I,D,<,>=,>\}$*

Le tableau ci-dessous montre les 16 relations d'Osmani (1999), la colonne *meaning* explique les relations grâce à la théorie CYCORD de Röhrig (1994) qui ordonne les bornes (A1, A2, B1, B2) des intervalles périodiques A et B. Les deux relations ajoutées sont : 'in' (Inside) qui est la disjonction de 's', 'd', 'f', 'eq' et 'dis' (Disjoint) qui est la disjonction de 'm', 'mi', 'mmi', 'ppi'. À ces relations sont également ajoutées trois relations pour comparer les durées des intervalles périodiques : '<', '>' and '='.

Les intervalles périodiques et prédicats de comparaison définis au dessus sont utilisés pour représenter des connaissances temporelles dans des assertions temporelles. Une assertion temporelle est une assertion qui représente une relation entre deux intervalles périodiques. C'est un triplet (intervalle, prédicat, intervalle).

**Definition 6 (Assertion temporelle)**  *$\mathcal{P}$  est l'ensemble des 21 prédicats de comparaison. Une assertion temporelle est une assertion qui constitue un triplet  $(e_1, p, e_2)$  tel que  $p \in \mathcal{P}$  et  $e_1$  et  $e_2$  sont des intervalles périodiques.*

name	meaning	inverse
<b>eq</b> ( <i>equals</i> )	$A1 = B1, A2 = B2$	( <i>eq</i> )
<b>m</b> ( <i>meets</i> )	$A1, A2 = B1, B2$	<b>mi</b>
<b>s</b> ( <i>starts</i> )	$A1 = B1, A2, B2$	<b>si</b>
<b>d</b> ( <i>during</i> )	$A1, A2, B2, B1$	<b>di</b>
<b>f</b> ( <i>finishes</i> )	$A1, A2 = B2, B1$	<b>fi</b>
<b>o</b> ( <i>overlaps</i> )	$A1, B1, A2, B2$	<b>oi</b>
<b>ppi</b> ( <i>precedes &amp; is preceded</i> )	$A1, A2, B1, B2$	( <i>ppi</i> )
<b>mmi</b> ( <i>meets &amp; is met</i> )	$A1 = B2, A2 = B1$	( <i>mmi</i> )
<b>moi</b> ( <i>meets &amp; is overlapped</i> )	$A1, B2, A2 = B1$	<b>omi</b>
<b>ooi</b> ( <i>overlaps &amp; is overlapped</i> )	$A1, B2, B1, A2$	( <i>ooi</i> )
<b>in</b> ( <i>inside</i> )	$s \vee d \vee f \vee eq$	
<b>dis</b> ( <i>disjoint</i> )	$m \vee mi \vee mmi \vee ppi$	
<b>&lt;</b> ( <i>is shorter</i> )	$\frac{A1A2 < B1B2}{A1A2 = B1B2}$	<b>&gt;</b>
<b>=</b> ( <i>has same length</i> )	$\frac{A1A2 = B1B2}{A1A2 = B1B2}$	( <b>=</b> )

FIG. 3 – A gauche, les 21 prédicats de comparaison, à droite, deux représentations cycliques d’intervalles périodiques.

**Example 5** Les relations entre intervalles périodiques sont souvent représentées sur un cercle (figure 3) qui se lit dans le sens des aiguilles d’une montre. Le premier cercle représente l’assertion temporelle (Printemps, meets, Eté) et elle correspond à l’ordre (’DébutPrintemps’, ’FinPrintemps’=’DébutEté’, ’FinEté’) de la deuxième ligne du tableau. Sa relation inverse est mi (is met by), on a donc (Eté, is met by, Printemps). Le second cercle illustre l’assertion temporelle (SaisonCrabe, meets&ismet, Eté). SaisonCrabe est relié à Eté par la relation ’meets&ismet’, ce qui signifie que la saison du crabe commence quand l’été se termine et termine quand l’été commence. Certains prédicats sont utilisés pour comparer des durées, par exemple dans l’assertion temporelle (Jour, <, Mois) le prédicat de comparaison ’<’ est utilisé pour comparer la durée de Jour à celle de Mois.

Il existe beaucoup d’ontologies temporelles, comme par exemple l’ontologie OWL-Time Hobbs et Pan (2006) qui est une référence W3C et une des plus utilisées. Il s’avère que ces ontologies temporelles ne prennent en compte ni les intervalles périodiques, ni bien sûr les relations qualitatives pour les comparer. C’est pourquoi ce papier présente une nouvelle ontologie temporelle qui prend en compte les intervalles périodiques et pourrait être ajoutée à des ontologies temporelles existantes comme OWL-Time. Notre ontologie temporelle est composée de la classe PeriodicInterval, des 21 prédicats de comparaison comme propriétés, d’un ensemble d’instances de PeriodicInterval et d’un ensemble d’assertions temporelles sur ces individus.

**Definition 7 (Ontologie Temporelle)** Une ontologie temporelle  $\mathcal{O} = (\mathcal{P}, \mathcal{E}, \mathcal{A})$  est une ontologie telle que :  $\mathcal{P}$  est l’ensemble des prédicats de comparaison,  $\mathcal{E}$  est l’ensemble des intervalles périodiques et  $\mathcal{A}$  est l’ensemble des assertions temporelles.

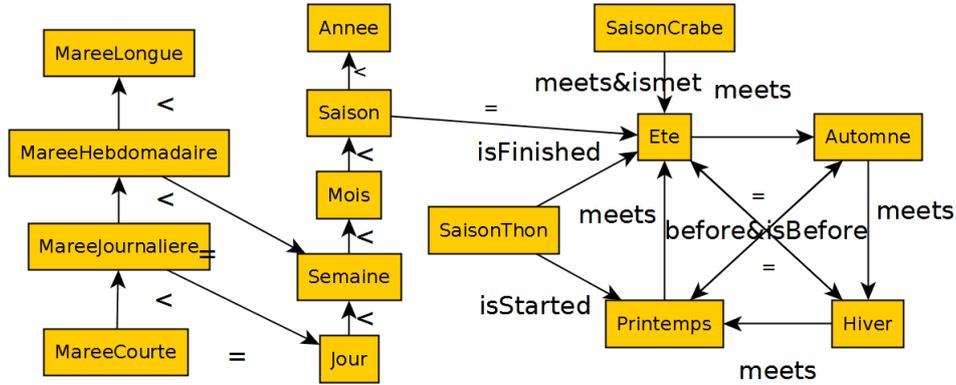


FIG. 4 – Une représentation partielle de l'ontologie temporelle  $\mathcal{O}_1$ .

**Exemple 6** La figure 4 représente l'ontologie temporelle  $\mathcal{O}_1$ . Les intervalles périodiques de cette ontologie sont  $\mathcal{E} = \{\text{Printemps}, \text{SaisonCrabe}, \text{Annee} \dots\}$  et les assertions temporelles sont  $\mathcal{A} = \{(\text{Saison}, <, \text{Annee}), (\text{SaisonCrabe}, \text{meets\&ismet}, \text{Ete}) \dots\}$ .

## 4 Modèle des Cartes Cognitives Temporelles

Une carte cognitive temporelle est une carte cognitive taxonomique définie sur une ontologie temporelle. Chaque noeud de la carte est étiqueté par un intervalle périodique et un ensemble d'assertions temporelles lie éventuellement ces intervalles périodiques à l'ontologie. De cette manière, les noeuds peuvent être caractérisés temporellement.

**Définition 8 (Carte Cognitive Temporelle)** Soit  $\mathcal{O} = (\mathcal{P}, \mathcal{E}, \mathcal{A})$  une ontologie temporelle. Soit  $CM = (N, E, \text{label}N, \text{label}E)$  une carte cognitive taxonomique définie sur  $\mathcal{T}(C, \leq)$  et  $I$ . Une carte cognitive temporelle TCM définie sur  $\mathcal{O}$  est un triplet  $(CM, \text{label}T, \mathcal{A}_{TCM})$  tel que :

- $\text{label}T$  : est une fonction d'étiquetage de la carte qui attribue à un noeud  $n$  un unique intervalle périodique  $e_n$ .
- $\mathcal{A}_{TCM}$  est un ensemble d'assertions temporelles  $(e_1, p, e_2)$  où  $\text{label}T^{-1}(e_1) \in N$  et  $e_2 \in \mathcal{E}$ .

Dans la partie suivante, un ensemble de cartes cognitives temporelles est considéré. Chaque carte est définie sur la même taxonomie, le même ensemble de valeur et la même ontologie temporelle. Donc pour distinguer les différents intervalles périodiques associés aux noeuds, la notation suivante est utilisée.

**Notation 1 (Intervalle périodique Associé)** L' intervalle périodique associé au noeud étiqueté par un concept 'concept' d'une carte 'map' est noté 'map\_concept'.

**Exemple 7** Cet exemple décrit les deux cartes cognitives temporelles de la figure 5 : TCM1 et TCM2. Une assertion temporelle d'une carte cognitive temporelle est représentée visuellement

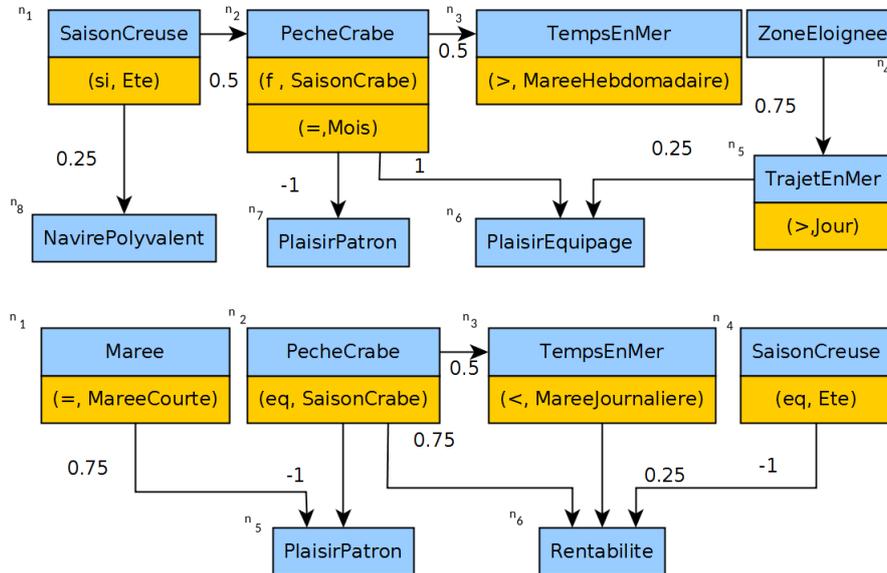


FIG. 5 – Deux cartes cognitives temporelles, TCM1 (haut) et TCM2 (bas).

dans le noeud qu'elle caractérise, sous l'étiquette (label $N$ ). L'intervalle périodique associé au noeud est omis visuellement, c'est pour cela que les assertions temporelles sont écrites comme des couples et non des triplets. Dans TCM1, le noeud étiqueté par SaisonCreuse( $n_1$ ) est caractérisé par l'assertion temporelle (TCM1\_SaisonCreuse, si, Ete) où TCM1\_SaisonCreuse est l'intervalle périodique associé à ce noeud et 'si' est le prédicat de comparaison 'isStartedBy'. Notez que plusieurs assertions temporelles peuvent être associées au même noeud, comme c'est le cas du noeud  $n_2$  étiqueté par PecheCrabe dans TCM1. Ce noeud est caractérisé par un intervalle périodique qui dure un mois (=,Mois) à la fin de la saison du crabe (f,SaisonCrabe). Le pêcheur1 pêche donc le crabe un mois à la fin de la saison du crabe.

## 5 Conclusion

Ce papier présente une extension du modèle des cartes cognitives taxonomiques appelée carte cognitive temporelle qui permet de caractériser temporellement les concepts de la carte. Pour cela, la carte cognitive temporelle est définie sur une ontologie temporelle qui utilise des intervalles périodiques.

Le modèle de carte cognitive temporelle a été implémenté et testé au sein du logiciel VSPCC qui fournit des outils d'édition et d'utilisation de cartes cognitives. Ce logiciel permet également d'exécuter des requêtes, il est disponible en ligne Le Dorze et Robert (2019). L'implémentation ajoute à l'ontologie temporelle OWL-Time la classe *PeriodicInterval* comme un type de la classe principale *time:TemporalEntity* et des prédicats de comparaison comme propriétés. OWL-Time propose de nombreuses classes. Un travail pourrait être mené pour les intégrer dans notre modèle, et les rendre disponibles dans notre application.

Les nouveautés du modèle temporel présentées dans ce papier répondent à de réels besoins d'application pour une meilleure modélisation des stratégies de pêche et pour une analyse plus poussée du projet Kifanlo. Le projet ACS qui succède au projet Kifanlo est actuellement en cours, utilisant ces nouveaux outils pour l'analyse de pratiques de pêche par des géographes.

## Références

- Allen, J. F. (1983). Maintaining knowledge about temporal intervals. *ACM* 26(11), 832–843.
- Axelrod, R. M. (1976). *Structure of decision : the cognitive maps of political elites*. Princeton.
- Balbani, P. et A. Osmani (2000). A model for reasoning about topologic relations between cyclic intervals. In *Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, pp. 378–385.
- Çelik, F. D., U. Ozesmi, et A. Akdogan (2005). Participatory ecosystem management planning at tuzla lake (turkey) using fuzzy cognitive mapping. *arXiv preprint q-bio/0510015*.
- Ermolayev et al (2008). Fuzzy time intervals for simulating actions. In *International United Information Systems Conference*, pp. 429–444. Springer.
- Ermolayev, V., S. Batsakis, N. Keberle, O. Tatarintseva, et G. Antoniou (2014). Ontologies of time : Review and trends. *International Journal of Computer Science & Applications* 11(3), 57–115.
- Hobbs, J. R. et F. Pan (2006). Time ontology in owl. *W3C working draft 27*, 133.
- Ladkin (1986). Time representation :a taxonomy of internal relations. In *AAAI*, pp. 360–366.
- Le Dorze, A. (2013). *Validation, synthèse et paramétrage des cartes cognitives*. Ph. D. thesis, LERIA, Université d'Angers, France.
- Le Dorze, A., L. Chauvin, L. Garcia, D. Genest, et S. Loiseau (2012). Views and synthesis of cognitive maps. In *AIMSA*, pp. 119–124. Springer Berlin Heidelberg.
- Le Dorze, A. et A. Robert (2019). <https://sourcesup.renater.fr/projects/vspcc>.
- Osmani, A. (1999). Introduction to reasoning about cyclic intervals. In *Multiple Approaches to Intelligent Systems*, pp. 698–706. Springer.
- Park, K. S. et S. H. Kim (1995). Fuzzy cognitive maps considering time relationships. *International Journal of Human-Computer Studies* 42(2), 157–168.
- Röhrig, R. (1994). A theory for qualitative spatial reasoning based on order relations. In *Proceedings of the 12<sup>th</sup> national conference on AI (vol. 2)*, pp. 1418–1423. AAAI.
- Zhong, H., C. Miao, Z. Shen, et Y. Feng (2008). Temporal fuzzy cognitive maps. In *2008 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 1831–1840. IEEE.

## Summary

A cognitive map is an oriented graph whose nodes are labeled by concepts and edges represent influences. It provides a way to model influence systems. Cognitive maps do not take into account any temporal features. This article proposes to define a temporal cognitive map on a temporal ontology.