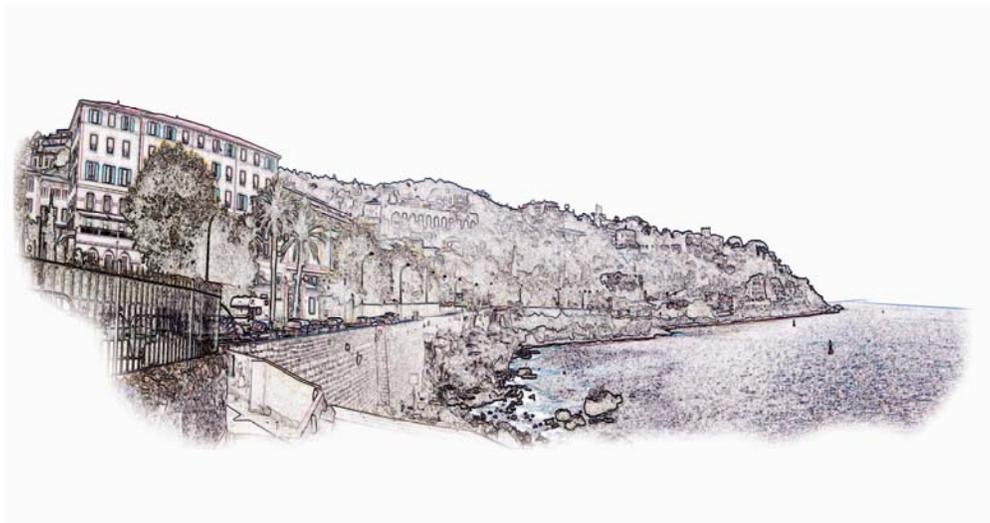


Plate-forme AFIA / Nice, du 30 mai au 3 juin 2005

ATELIER :

Représentation et raisonnement
sur le temps et l'espace



Florence Le Ber
Gérard Ligozat

Éditorial

La représentation du temps et l'espace, et les modèles de raisonnements associés, sont des thématiques largement développées en Intelligence Artificielle, mais qui concernent également d'autres domaines de recherche et de nombreuses applications (gestion de l'espace, prévention des risques naturels, etc.). Les sujets abordés vont des systèmes d'informations géographiques, et des questions liées, comme la qualité de données, aux formalismes axiomatiques et algébriques de relations spatio-temporelles et aux problèmes de résolution de contraintes. Le traitement du langage naturel et la représentation de connaissances sont également des thèmes connexes.

L'atelier « *Représentation et raisonnement sur le temps et l'espace* » a pour objectif de réunir la communauté des chercheurs travaillant dans ce domaine et de discuter des travaux en cours, projets et idées. Il est ouvert à la présentation de travaux de chercheurs et doctorants portant sur l'un ou plusieurs des thèmes suivants : modélisation du temps, modélisation de l'espace, raisonnement spatial qualitatif, raisonnement temporel qualitatif, traitement du langage naturel, représentation de connaissances, applications, etc. Les présentations aborderont ces concepts selon différentes perspectives. L'objet de cet atelier est également de présenter l'ouvrage sur les connaissances et raisonnements spatio-temporels, à paraître aux éditions Hermès, et qui résulte des travaux de l'ACI « *Contraintes Spatiales et Temporelles en Information Géographique* » du GDR I3 (1999-2002).

Pour cette première manifestation, qui se tient à Nice dans le cadre de la *Plateforme AFIA 2005* (Association Française pour l'Intelligence Artificielle), nous avons recueilli sept soumissions qui présentent des travaux dans les différents champs cités : temps du discours, représentation d'événements spatio-temporels, modélisation de relations spatiales, contraintes spatiales ou temporelles, avec des applications variées : épidémiologie, transport, traitement du langage, robotique mobile, etc. Ces présentations de travaux seront accompagnées de deux exposés synthétiques, l'un, par Gérard Ligozat (LIMSI), à propos des formalismes qualitatifs de raisonnement sur le temps et l'espace, et l'autre par Robert Jeansoulin (LIM).

Nous souhaitons que les participants à cet atelier trouvent matière à idées et discussions dans l'ensemble des présentations et que ces discussions puissent se prolonger lors de futures manifestations. Finalement, nous remercions chaleureusement les membres du comité de programme ainsi que les membres du comité d'organisation de la *Plateforme AFIA*, sans lesquels cet atelier n'aurait pu se tenir.

Nice, le 30 mai 2005

Florence Le Ber et Gérard Ligozat

Comité de programme

Jean-François Condotta (CRIL)
Florence Le Ber (ENGEES / LORIA)
Gérard Ligozat (LIMSI)
Philippe Muller (IRIT)
Odile Papini (SIS)

Sommaire

<i>Reconnaissance et prédiction de situations évolutives.</i> Ali Aich, Sophie Loriette-Rougegrez	p. 5-12
<i>Associer événements, temps et espace pour la représentation des récits épidémiologiques et le raisonnement qualitatif.</i> Hervé Chaudet	p. 13-18
<i>Modélisation floue des relations « entre » et « le long de ».</i> Isabelle Bloch, Olivier Collinot, Roberto Cesar	p. 19-24
<i>Une feuille de route pour la fusion de réseaux de contraintes qualitatives.</i> Jean-François Condotta, Souhila Kaci, Gérard Ligozat, Pierre Marquis	p. 25-30
<i>Temps sémantique et aspect dans l'analyse sémantique automatique.</i> Johannes Heinecke	p. 31-38
<i>Une représentation spatio-temporelle de l'environnement pour le Transport À la Demande.</i> Mahdi Zargayouna	p. 39-44
<i>Raisonnement temporel et annotation chronologique.</i> Tiphaine Accary-Barbier, Sylvie Calabretto	p. 45-52

Reconnaissance et prédiction de situations évolutives

Ali Aich – Sophie Lorientte-Rougegrez

Département GSIT, Laboratoire ISTIT, FRE CNRS 27-32
Université de Technologie de Troyes (UTT)
{ali.aich, sophie.lorientte}@utt.fr

Résumé : L'objectif de notre étude est de reconnaître l'occurrence de scénarios. Parmi les différentes approches utilisées, nous nous intéressons à la reconnaissance à base de modèles. Les travaux effectués sont présentés grâce à une application au projet **VAHM** (Véhicule Autonome pour Handicapés Moteurs) dont le but est de doter un fauteuil roulant d'une capacité d'anticipation du comportement souhaité par la personne handicapée. Il s'agit de reconnaître les nouveaux trajets effectués par l'utilisateur afin de lui proposer des futurs comportements. La méthode utilisée nous a permis de classifier les trajets similaires, puis l'établissement d'un modèle de reconnaissance permettant d'une part de reconnaître les nouveaux trajets effectués et d'autre part, anticiper les futurs comportements de l'utilisateur.

Mots clés : Comparaison des séquences, Réseaux de Petri, Reconnaissance de situations évolutives, Prédiction.

1 Introduction

Notre étude s'inscrit dans le cadre de la supervision des systèmes dynamiques, fondée sur la reconnaissance de scénarios. Un scénario est une description d'une situation évolutive. Il prend la forme dans notre travail d'un ensemble d'états associés par des contraintes temporelles (Dousson, 1994). Cet article présente l'utilisation de la reconnaissance de scénarios dans le cadre du projet **VAHM**. L'objectif du projet est de doter un fauteuil roulant d'une capacité d'anticipation du comportement souhaité par la personne handicapée, lui évitant de répéter à chaque fois les mêmes commandes de directions.

La structuration de l'article est la suivante. Dans la deuxième section, nous présentons le projet VAHM, puis nous introduisons notre problématique. Dans la troisième section, nous présentons différentes approches de reconnaissance de scénarios. Ensuite, dans la quatrième section, nous décrivons l'approche proposée en tenant compte de la problématique posée, suivie par des expérimentations effectuées sur le système développé. La dernière section conclut le présent article.

2 Présentation du projet VAHM

Le robot *VAHM* se place dans le cadre de la robotique mobile. Il a pour rôle essentiel de se déplacer dans un environnement plus ou moins connu et plus au moins variable dans le temps (Morere, 2002). Le fauteuil peut assister l'utilisateur à deux niveaux :

- La définition du mouvement à imposer au fauteuil est réalisée à l'aide d'une interface (joystick) qui traduit l'action à générer en terme de direction. Le fauteuil prend en charge l'évaluation de cette information et la traduit en comportement à effectuer.
- La planification du mouvement global est déterminée entièrement par l'utilisateur, par contre il est envisagé que le fauteuil vienne assister la personne dans la reproduction de chemins fréquemment employés.

Afin de clarifier la description du projet présenté, il est important de préciser la signification de certains termes utilisés (Pruski & Ennaji, 2001) :

- **Situation** : ensemble des informations disponibles sur l'état d'un système à un instant donné.
- **Comportement** : mouvement élémentaire du fauteuil, obtenu par la traduction des données issues des capteurs. Dans le but de faciliter la compréhension des exemples, chaque comportement sera associé à un identificateur¹.
- **Trajet** : un trajet correspond à un déplacement du fauteuil. Il est constitué d'une suite de comportements élémentaires.
- **Trajectoire** : une trajectoire est un ensemble de trajets ayant les mêmes points de départ et d'arrivée.

L'objectif de ce projet est de mettre au point une méthode capable de reconnaître la trajectoire effectuée par le fauteuil afin de proposer des futurs comportements à l'utilisateur. Ceci nécessite d'utiliser un ou des modèles séquentiels de représentation des situations et aussi la prise en compte de la similarité des trajectoires ayant mêmes points de départ et d'arrivée.

3 Reconnaissance de scénarios

Il existe différentes approches pour la reconnaissance de scénarios. En général, la reconnaissance repose sur deux types d'approches principales : reconnaissance à base d'expériences (RàPC) et reconnaissance à base de modèles (RdPs et chroniques).

¹ Neuf comportements sont définis : Arrêt (1), Evitement d'obstacles (2), retour arrière à droite (3), retour arrière à gauche (4), Suivi de direction (5), Suivi de mur droit (6), Suivi de mur gauche (7), Backtracking (8), Suivi d'espace libre (9).

Le raisonnement à partir de cas (RàPC) est une approche de résolution de problèmes basée sur la réutilisation par analogie d'expériences passées appelées « *cas source* » au cours d'un cycle de raisonnement, pour résoudre un nouveau problème appelé « *cas cible* » (Kolodner 1993). Parmi les applications potentielles du raisonnement à partir de cas, on trouve des domaines d'application nécessitant la considération de « situations dynamiques ». Concernés principalement par des problèmes de prédiction, ils requièrent la considération dans le raisonnement d'historiques d'évolutions de situations (Loriette, 1998).

Le deuxième type d'approche mis en avant ci-dessus repose en grande partie sur des modèles de type réseaux de Petri. Les réseaux de Petri sont utilisés pour la modélisation des systèmes dynamiques (Rene & Alla., 1992). Un RdP est un graphe bipartite, composé de places indiquant les différents états du système modélisé, et de transitions déterminant les conditions de changement d'états. Parfois, on peut indiquer la durée d'un état du système en associant des contraintes temporelles aux places (*RdP p-temporisé*) ou aux transitions (*RdP t-temporisé*).

L'approche de chroniques est fondée sur un graphe temporel représentant les contraintes entre les différents événements constituant un scénario. La phase de reconnaissance consiste en une propagation de contraintes sur ce graphe (Ghallab & Dousson, 1994).

Différentes approches de reconnaissance de scénarios ont été présentées. Les choix que nous avons faits se situent pleinement dans les conditions évoquées précédemment et ils réalisent un compromis entre les approches précédemment présentées. En effet, nous avons tiré partie des avantages du RàPC pour traiter la similarité entre trajets de la même trajectoire, et ensuite établir un modèle de reconnaissance à base de RdP.

4 Approche envisagée

Un certain nombre de trajets a été effectué par le fauteuil pour une même trajectoire. Notre approche est basée sur deux étapes importantes en commençant par la classification des trajets *similaires* (trajets de la même trajectoire), ensuite la modélisation de chaque représentant de classe par un réseau de Petri.

4.1 Constitution des classes de trajets

Plusieurs trajets ont été effectués pour la même trajectoire. Pour éviter de stocker des trajets similaires, un modèle appelé *un représentant de classe* et englobant tous les trajets effectués pour une trajectoire sera établi. Nous décrivons maintenant la construction des classes de trajets.

Les comportements d'un trajet peuvent apparaître plusieurs fois consécutivement. Pour faciliter le parcours des trajets stockés, nous proposons de les mémoriser dans un tableau de deux lignes : la première ligne représente les comportements qui

constituent un trajet (**comp_trajet**) et la deuxième le nombre d'occurrences de chacun (figure 1).

Une fois que ce travail a été effectué, les trajets de la même trajectoire sont regroupés dans la même classe. Le principe consiste à comparer les séquences de comportements constituant les différents trajets à classifier (**comp_trajet**) en recherchant les transformations (éditions) nécessaires pour passer d'une séquence à une autre. Une *édition* utilisée dans la comparaison des chaînes de caractère (Ganascia, 2001) est une transformation élémentaire qui remplace un caractère dans une chaîne par un autre éventuellement vide. Elle peut être une *insertion* (Ins), une *suppression* (Sup) ou une *substitution* (Sub).

Le résultat de la mise en correspondance des séquences est appelé *un alignement* (Varre, 2000) et il permet de calculer le meilleur représentant d'une classe de trajets.

4.1.1 Alignement des séquences de trajets

Plusieurs algorithmes appelés algorithmes de *programmation dynamique* sont utilisés pour aligner les séquences en trois phases² (Varre, 2000).

Pour l'alignement des séquences deux à deux, nous considérons deux séquences x, y données sous forme de deux tableaux de taille respective n et m. Il est alors possible de construire une matrice de dimension (n+1)×(m+1) appelée « *matrice des distances d'édition* (EDIT) » dont ses éléments sont calculés par la formule suivante :

$$\text{edit}(i,j) = (\text{edit}(i-1,j-1) + \text{Sub}(x[i],y[j]), \text{edit}(i,j-1) + \text{Ins}(y[j]), \text{edit}(i-1,j) + \text{Sup}(x[i])) \quad (1)$$

Pour calculer l'alignement entre les deux séquences, il suffit de tracer un chemin dans la matrice EDIT allant de la case edit[n+1,m+1] jusqu'à la case edit[1,1] et en passant d'une case à celle qui nous a permis de la calculer (Charras & Lecroq, 1998). L'exemple qui suit montre l'alignement de trois trajets mémorisés respectivement dans les tableaux : *trajet01*, *trajet02*, *trajet03*.

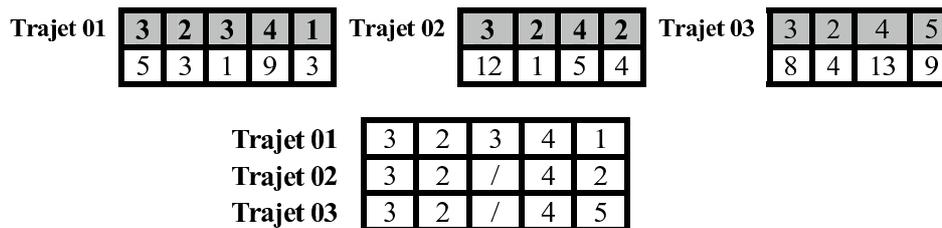


Figure 1 – Alignement multiple des trajets

² Aligner les séquences deux à deux, rechercher la séquence qui minimise les distances d'éditions appelée *séquence référence*, ensuite aligner toutes les autres séquences séquentiellement par rapport à cette dernière

4.1.2 Calcul des représentants des classes de trajets

Après l'alignement des différents trajets appartenant à la même classe, l'étape suivante consiste à déterminer son représentant. Ce dernier est une matrice de trois lignes : la première ligne représente les différents comportements élémentaires³, le minimum des occurrences des comportements est inséré à la deuxième ligne, et le maximum à la troisième ligne.

Par ce principe, le représentant des trois trajets de la figure 1 est calculé. Le premier comportement des trois trajets est inséré à la première colonne associé à son nombre d'occurrences minimal (5) et maximal (12).

3	2	3	4	F
5	1	0	5	3
12	4	1	13	9

Figure 2 – Calcul des représentants de classes

4.2 Modélisation des représentants de classes

Un représentant d'une classe de trajets est une succession de comportements. Chacun d'eux doit être réalisé n fois⁴ avant de passer au suivant. Le formalisme que nous avons choisi est celui des RdP (Rene & Alla, 1992).

Chaque comportement constituant un représentant de classe sera modélisé par une place associée à ses nombres d'occurrences faisant référence à la représentation des contraintes temporelles par des fenêtres d'admissibilité dans les modèles de chroniques (Ghallab & Dousson, 1994). Par ce principe, le représentant de classe de la figure 2 sera modélisé par un RdP qui commence par une place associée au comportement 3 et l'intervalle d'occurrences [5,12] (figure 3).

Notre modèle a une particularité de posséder des *conflits structurels*⁵. La distribution des jetons dans le modèle dépend des types de conflits qui peuvent se produire. Par exemple, un jeton est associé à la troisième place du modèle (place en conflit structurel) pour que la première et la troisième transition puissent être franchies dans cet ordre en cas de reconnaissance d'un trajet constitué successivement des trois comportements 3, 2, 4.

³ Si à une colonne de l'alignement multiple, tous les trajets ont le même comportement, alors ce dernier est ajouté à la même position dans le représentant de la classe sinon un autre comportement est inséré appelé comportement facultatif « F »

⁴ N est compris entre le nombre d'occurrences minimal et le nombre d'occurrences maximal qui lui sont associés

⁵ Un conflit structurel correspond à une transition qui a une place en amont d'elle associée à un comportement avec un nombre minimal d'occurrences nul

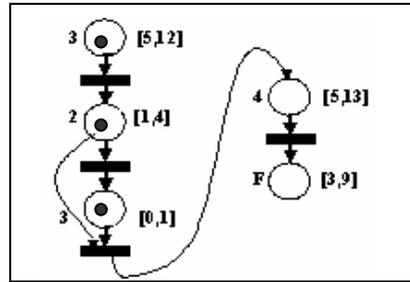


Figure 3 – Modèle d'un représentant de classe

La dernière phase de modélisation consiste à regrouper les différents modèles de représentants de classes établies précédemment dans un seul modèle global. La figure 4 présente un exemple de regroupement des modèles de deux représentants de classes. Le premier modèle constitué des trois places associées respectivement aux comportements 3, 2, 3 ; et le deuxième modèle constitué de places associées aux comportements 2, 4, 5.

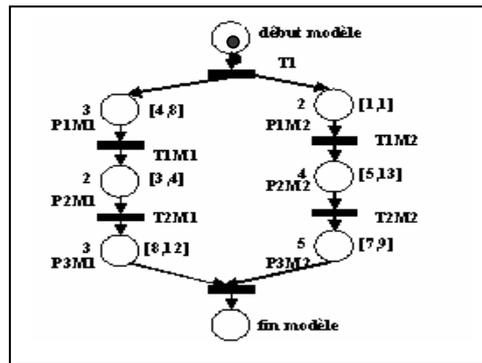


Figure 4 – Regroupement des modèles

5. Reconnaissance et prédiction

La reconnaissance⁶ se base sur le parcours du RdP regroupant les représentants de classes, et le tableau mémorisant le trajet à reconnaître en parallèle. Initialement, on commence par la transition en aval de la première place (place *début modèle*, *T1*) et du premier comportement. Cette tâche se termine si l'une des ces trois conditions est vérifiée : le dernier comportement du trajet est atteint, la fin du modèle ou il n'y a aucune transition validée à franchir.

⁶ La reconnaissance consiste à déterminer la classe d'un nouveau trajet effectué.

La prédiction est une conséquence de la reconnaissance. Elle consiste à proposer à l'utilisateur le (les) comportement(s) associé(s) à la (aux) place(s) en aval de la (des) transition(s) de fin de reconnaissance.

6. Expérimentation et résultats

Afin de valider le modèle et les principes définis, nous avons mis au point un logiciel qui met en œuvre les différents algorithmes proposés. L'expérience présentée dans la figure 5 consiste à classifier quatre trajets récupérés en entrée sous forme de fichiers textes.

La figure 6 présente la reconnaissance d'un nouveau trajet récupéré par le système sous forme d'un fichier texte. Après sa mémorisation, le modèle regroupant les quatre représentants de classes est parcouru pour déterminer son appartenance à l'une des classes, ensuite prédire le futur comportement du fauteuil.

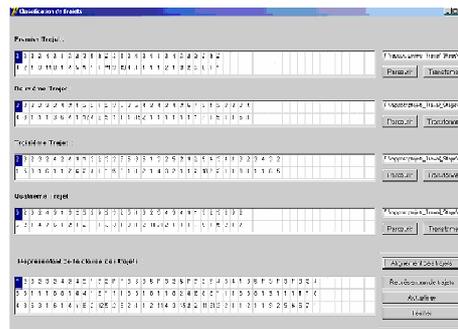


Figure 5 – Exemple de classification des trajets

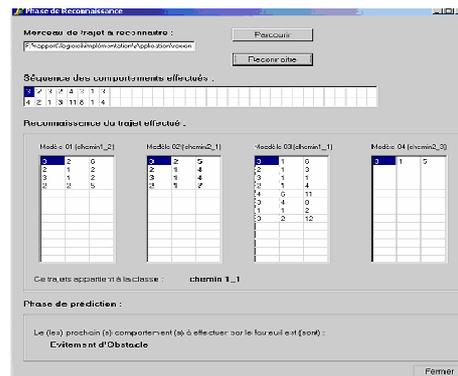


Figure 6 – Exemple de reconnaissance d'un nouveau trajet

7. Conclusion et Perspectives

A partir des particularités du projet *VAHM* présenté précédemment, du principe de raisonnement à partir de cas et du formalisme des réseaux de Petri, nous avons défini une approche hybride. En effet, nous avons tiré parti des avantages du RàPC pour classifier et traiter la similarité entre trajets de la même trajectoire, ensuite établir un modèle de reconnaissance des trajets effectués par le fauteuil afin d'anticiper ses futurs comportements. Les expérimentations effectuées ont permis de valider nos travaux.

La poursuite de ces travaux fait l'objet d'une thèse au cours de laquelle, une autre approche de reconnaissance sera proposée. L'objectif de la thèse est de faire évoluer la reconnaissance de situations, de la considération des situations déjà reconnues à la construction progressive d'un ou plusieurs modèles de reconnaissance. L'idée est assez proche des systèmes de classification automatique ou de généralisation, mais la particularité repose sur la considération de situations dynamiques basées sur une représentation continue et spatio-temporelle.

Références

- CHARRAS C. & LECROQ T. (1998). Sequence comparison. *ABISS(Atelier Biologie Informatique Statistique Socio-linguistique)*, university of Rouen.
- DOUSSON C. (1994). Suivi d'évolution et reconnaissance de chroniques. *Thèse de doctorat, Université de Paul Sabatier de Toulouse*.
- GANASCIA J-G. (2001). Extraction automatique de motifs syntaxiques. *TALN*. Tours.
- MORERE Y. (2002). Reconnaissance de trajet en environnement fermé. *Compte-rendu d'une réunion*.
- GHALLAB M. & DOUSSON C. (1994). Suivi et reconnaissance de chroniques. *Revue d'intelligence artificielle*, Vol 8.
- PRUSKI A. & ENNAJI M. (2001). Symbiotic Human-Machine Architecture for a Smart Wheelchair Control. *European Conference for the Advancement of Assistive Technology in Europe*.
- KOLODNER J. (1993). Case-based reasoning. San Mateo, CA : Morgan Kaufman.
- LORIETTE S. (1998). Raisonnement à partir de cas pour des évolutions spatio-temporelles de processus. *Revue internationale de géomatique, journées Cassini*, vol. 8.
- RENE D. & ALLA H. (1992). Du Grafctet aux réseaux de Petri. *Paris, Edition Hermes*, pp 19-164
- VARRE J-S. (2000). Alignement multiple et applications. *Support de cours, LI*

Associer événements, temps et espace pour la représentation des récits épidémiologiques et le raisonnement qualitatif

Hervé Chaudet

Laboratoire d'Informatique Fondamentale – UMR CNRS 6166
Faculté de Médecine, Université de la Méditerranée, Marseille.
herve.chaudet@medecine.univ-mrs.fr

Résumé : Nous proposons une extension du Calcul des Evénements adaptée à la représentation et au raisonnement spatio-temporel dans le cadre de récits décrivant l'évolution d'épidémies. Cette extension repose sur l'introduction de la notion de localisation spatio-temporelle à la place du temps et sur la représentation et la construction d'agrégats d'événements. Cette extension inclut la persistance spatio-temporelle lors de la construction des agrégats d'événements.

Mots-clés : Représentation des événements, Agrégats d'événements, Représentation de dépêches épidémiologiques, Persistance spatio-temporelle.

1 Introduction

Les textes sur Internet décrivant la diffusion d'épidémies, comme ceux que l'on rencontre sur ProMED (<http://promedmail.org/>) sont une source d'information de grande importance dans le cadre de processus de gestion du risque sanitaire, compte tenu de la rapidité d'information et de leur possibilité de transmettre des données médicales introuvables par ailleurs. Ce type de processus se rencontre dans au moins trois situations : en médecine des voyages (établissement des démarches prophylactiques ou diagnostic au retour), en politique sanitaire (anticiper les conséquences des risques émergents), et dans la Défense (préparation du déploiement de troupes et évaluation des risques).

Il est possible d'envisager un système d'aide à la prise de décision en gestion du risque sanitaire répondant à ces besoins à condition que celui-ci puisse à la base répondre à quatre types de questions :

- Des questions demandant des réponses simples portant sur les caractéristiques des épidémies.
- Des questions demandant des mécanismes de raisonnement élémentaires pouvant construire les réponses à partir des informations et d'une connaissance complémentaire du domaine.

- Des questions requérant la fusion des informations communiquées par plusieurs textes.
- Des questions demandant un raisonnement analogique élémentaire basé sur l'histoire d'épidémies antérieures similaires.

Pour construire un tel système, avant de développer le module d'analyse du langage naturel, nous avons préféré commencer par établir un langage de représentation des connaissances qui permette une représentation adaptée au domaine en logique du premier ordre. Nous avons pour objectif d'obtenir un langage qui soit une voie médiane entre des grilles d'extraction d'information et une représentation logique libre du contenu des textes. Ce langage devait ainsi :

- Être adapté à la représentation de récits épidémiologiques.
- Supporter l'arrivée des informations sans respect de l'ordre chronologique.
- Permettre de représenter des regroupements d'événements, identiques ou non, tout en autorisant le retour à un événement élémentaire.
- Gérer la localisation spatio-temporelle des événements et des propriétés.
- Supporter les modes d'interrogation cités ci-dessus.

Nous présenterons ici les principales caractéristiques du langage que nous proposons, qui est une extension de l'Event Calculus, et notamment sa gestion de la persistance spatio-temporelle dans les regroupements d'événements.

2 Le langage de représentation des connaissances : STEEL

2.1 Bases méthodologiques

STEEL (Spatio-Temporal Extended Event Language) est un langage typé en logique du premier ordre, basé sur l'Event Calculus (EC) (Kowalski & Sergot, 1986), sur la notion d'événements complexes de Cervesato et Montanari (Cervesato & Montanari, 2000), et sur le problème de la localisation spatiale d'événements tel qu'abordé par Galton (Galton, 1993), Bennett (Bennett, 2001), et Hararika et Cohn (Hararika & Cohn, 2001). La sémantique de l'EC est intrinsèquement non-monotone : la description du système peut se faire sans respecter l'ordre chronologique, et les mises à jour sont additives, sans suppression de l'information antérieure. Nous avons introduit dans l'EC de base (axiomatisation de Miller et Shanahan (Miller et Shanahan, 1999)) une localisation conjointe spatio-temporelle et utilisé les propriétés de cette localisation pour définir les règles de construction d'agrégats d'événements.

2.2 Description du langage

Les trois types de base de l'EC (événement, fluent, temps) ont été complétés par les régions spatiales. Une région est ici tout sous-ensemble d'un espace topologique, usuellement référencé par un nom. Un point est une forme particulière de région. Ce choix conserve un niveau de complexité en accord avec les objectifs du récit et avec la façon dont les relations spatiales sont exprimées en langage naturel.

Ces types de base sont insérés dans une ontologie du domaine, définissant en particulier les types d'événements rencontrés dans les textes.

Sur la base des deux derniers types, nous définissons la localisation spatiotemporelle d'un événement comme un couple $\langle t, l \rangle$ où t est une expression temporelle et l une région spatiale. Cette localisation a été introduite dans l'EC en remplacement des points temporels. Par exemple le prédicat $\text{happens}(e, t_1, t_2)$ devient $\text{happens}(e, \langle t_1, l \rangle, \langle t_2, l \rangle)$.

Pouvoir représenter de façon compacte des assemblages complexes d'événements demande l'introduction de relations additionnelles entre événements, comme la séquentialité, la simultanéité, l'itération, ou le délai entre événements. Nous considérons qu'un macro-événement est l'occurrence d'un agrégat structuré d'événements. Du point de vue de l'ontologie de l'EC les macro-événements appartiennent au type *événement*. Chaque macro-événement est défini par une structure de macro-événement (MES), qui est sa formule de composition reposant sur une combinaison d'événements. Le Tableau 1 montre comment ces macro-événements ont été exprimés. Ces règles montrent le cadre logique permettant de construire la représentation d'événements complexes avec des limites spatio-temporelles cohérentes. La relation entre un macro-événement m et sa MES est entretenue par un prédicat $\text{meventdef}(m, \text{MES}_m)$.

Tableau 1 – Définition des macro-événements en logique du premier ordre.

Macro	Structure	Définition
$m_1 ;_d^D m_2$	$\text{sequevent}(m_1, m_2, d, D)$	$\text{happens}(m, \langle t_1, l \rangle, \langle t_2, l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{sequevent}(m_1, m_2, d, D)) \leftrightarrow \exists t_3, t_4 . (\text{happens}(m_1, \langle t_1, l \rangle, \langle t_3, l \rangle) \wedge \text{happens}(m_2, \langle t_4, l \rangle, \langle t_2, l \rangle) \wedge t_3 + d \leq t_4 \leq t_3 + D)$
$m_1 + m_2$	$\text{altevent}(m_1, m_2)$	$\text{happens}(m, \langle t_1, l \rangle, \langle t_2, l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{altevent}(m_1, m_2)) \leftrightarrow \text{happens}(m_1, \langle t_1, l \rangle, \langle t_2, l \rangle) \vee \text{happens}(m_2, \langle t_1, l \rangle, \langle t_2, l \rangle)$
$m_1 \parallel m_2$	$\text{parevent}(m_1, m_2)$	$\text{happens}(m, \langle t_1, l \rangle, \langle t_2, l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{parevent}(m_1, m_2)) \leftrightarrow \exists t_3, t_4, t_5, t_6 . (\text{happens}(m_1, \langle t_3, l \rangle, \langle t_4, l \rangle) \wedge \text{happens}(m_2, \langle t_5, l \rangle, \langle t_6, l \rangle) \wedge t_1 = \min(t_3, t_5) \wedge t_2 = \max(t_4, t_6))$
m^n	$\text{iterevent}(m, n)$	$\text{happens}(m, \langle t_1, l \rangle, \langle t_2, l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{iterevent}(E, n)) \leftrightarrow \exists t_3, t_4 . (\text{happens}(m_1, \langle t_1, l \rangle, \langle t_3, l \rangle) \wedge \text{happens}(m_2, \langle t_4, l \rangle, \langle t_2, l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m_1, \text{iterevent}(E, n-1)) \wedge E(m_2) \wedge t_3 \leq t_4)$

Ces macro-événements peuvent se substituer pleinement aux événements dans toutes les propriétés de ces derniers.

2.2.1 Relations spatiotemporelles et persistance

Les relations spatio-temporelles entre objets sont représentées par des relations binaires basées sur la notion de connexion. Celle-ci peut être temporelle, spatiale, ou spatio-temporelle (Tableau 2).

Ces relations permettent d'introduire un axiome de persistance spatiale établissant qu'un événement survient dans une région s'il survient dans une de ses parties (p.e. s'il existe un cas d'Ebola au Gabon, alors il existe un cas d'Ebola en Afrique) :

$$\text{happens}(e, \langle t_1, l_2 \rangle, \langle t_2, l_2 \rangle) \leftarrow \text{happens}(e, \langle t_1, l_1 \rangle, \langle t_2, l_1 \rangle) \wedge \text{sp-partof}(l_1, l_2)$$

Tableau 2 – Définitions de quelques une des dix relations méreologiques spatiotemporelles à partir de la primitive de connection α -connected(x,y) (où α représente le temps, l'espace ou les deux)

Relation	Predicat	Definition
x is disconnected from y	α -disconnected(x,y)	$\neg \alpha$ -connected(x,y)
x is a part of y	α -partof(x,y)	$\forall z . (\alpha$ -connected(z,x) $\rightarrow \alpha$ -connected(z,y))
x overlaps y	α -overlap(x,y)	$\forall z . (\alpha$ -partof(z,x) $\wedge \alpha$ -partof(z,y))
x is discrete from y	α -discrete(x,y)	$\neg \alpha$ -overlap(x,y)

Tableau 3 – Résultats de $\wedge_h(\text{happens}(e_1, \langle t_1, l_1 \rangle, \langle t_1', l_1' \rangle), \text{happens}(e_2, \langle t_2, l_2 \rangle, \langle t_2', l_2' \rangle))$.

St: $E_1=E_2=E$ or $E_2=$Macroevent \square iterevent($E_1=E, *$)	
<i>sp relations</i>	<i>Résultats</i>
sp-equal(l^1, l) \vee sp-partof(l^1, l) avec ($l^1=l_1 \wedge l=l_2$) or ($l^1=l_2 \wedge l=l_1$)	$\text{happens}(m, \langle t, l \rangle, \langle t', l' \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{iterevent}(E, *)) \wedge t = \min(t_1, t_2) \wedge t' = \max(t_1', t_2')$
sp-partoverlap (l_1, l_2) \vee sp-discrete(l_1, l_2)	$\text{happens}(m, \langle t, l \rangle, \langle t', l' \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{iterevent}(E, *)) \wedge t = \min(t_1, t_2) \wedge t' = \max(t_1', t_2') \wedge l = (l_1 \cup l_2)$
Sinon	
sp relations : cas où sp-equal(l_1, l_2)	
<i>t relations</i>	<i>Résultats</i>
t-discrete (d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t_1, l \rangle, \langle t_2', l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{seqevent}(e_1, e_2, d, d)) \wedge d = t_2 - t_1' \wedge l_1 = l_2 = l$
equals(d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t, l \rangle, \langle t', l' \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{parevent}(e_1, e_2)) \wedge t_1 = t_2 = t \wedge t_1' = t_2' = t' \wedge l_1 = l_2 = l$
t-properpart(d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t_2, l \rangle, \langle t_2', l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{parevent}(e_1, e_2)) \wedge l_1 = l_2 = l$
overlaps(d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t, l \rangle, \langle t', l' \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{parevent}(e_1, e_2)) \wedge t = \min(t_1, t_2) \wedge t' = \max(t_1', t_2') \wedge l_1 = l_2 = l$
sp relations : cas où sp-discrete(l_1, l_2) \vee sp-partoverlap(l_1, l_2)	
<i>t relations</i>	<i>Résultats</i>
t-discrete (d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t_1, l \rangle, \langle t_2', l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{seqevent}(e_1, e_2, d, d)) \wedge d = t_2 - t_1' \wedge l = (l_1 \cup l_2)$
equals(d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t, l \rangle, \langle t', l' \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{parevent}(e_1, e_2)) \wedge t_1 = t_2 = t \wedge t_1' = t_2' = t' \wedge l = (l_1 \cup l_2)$
t-properpart(d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t_2, l \rangle, \langle t_2', l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{parevent}(e_1, e_2)) \wedge l = (l_1 \cup l_2)$
overlaps(d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t, l \rangle, \langle t', l' \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{parevent}(e_1, e_2)) \wedge t = \min(t_1, t_2) \wedge t' = \max(t_1', t_2') \wedge l = (l_1 \cup l_2)$
sp relations : cas où sp-properpart(l_1, l_2)	
<i>t relations</i>	<i>Résultats</i>
t-discrete (d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t_1, l \rangle, \langle t_2', l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{seqevent}(e_1, e_2, d, d)) \wedge d = t_2 - t_1'$
equals(d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t, l \rangle, \langle t', l' \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{parevent}(e_1, e_2)) \wedge t_1 = t_2 = t \wedge t_1' = t_2' = t'$
t-properpart(d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t_2, l \rangle, \langle t_2', l \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{parevent}(e_1, e_2))$
overlaps(d_1, d_2)	$\text{happens}(m, \langle t, l \rangle, \langle t', l' \rangle) \wedge \text{meventdef}(m, \text{parevent}(e_1, e_2)) \wedge t = \min(t_1, t_2) \wedge t' = \max(t_1', t_2')$

Pour permettre la construction d'agrégats d'événements spatio-temporellement localisés, nous avons introduit un constructeur conjonctif, noté \wedge_h , qui assemble les événements de deux prédicats *happens* pour construire le macro-événement résultant sur la base de leurs relations spatiotemporelles et ontologiques.

Soit e_1 et e_2 deux instances d'événements ou macro-événements de type respectif E_1 et E_2 , $happens(e_1, \langle t_1, l_1 \rangle, \langle t_1', l_1' \rangle)$ et $happens(e_2, \langle t_2, l_2 \rangle, \langle t_2', l_2' \rangle)$ leurs occurrences. L'intervalle durant lequel chaque événement survient est respectivement défini par $[t_1, t_1'] = d_1$ et $[t_2, t_2'] = d_2$.

Si $E_1 = E_2$ avec des instances disjointes (aucun événement élémentaire n'est partagé par les deux instances), ou si E_2 est un macro-événement qui est une itération de E_1 ($E_2 = \text{Macroevent} \sqcap \text{iterevent}(E_1, *)$) avec $t\text{-discrete}(d_1, d_2)$, alors e_1 et e_2 combinent un même événement, et le constructeur génère une itération de cet événement commun (iterevent) en induisant des contraintes sur la localisation spatio-temporelle de l'itération. Ces contraintes varient suivant les relations méréologiques des localisations spatiales de e_1 et e_2 en gérant l'éventuelle création d'une région englobante.

Dans tous les autres cas, la structure du macro-événement résultant fait appel à la séquentialité (sequevent) ou le parallélisme (parevent) suivant trois possibilités de relations spatiales et quatre possibilités de relations temporelles des événements de départ.

Le Tableau 3 décrit les résultats possibles par l'application de ce constructeur.

Pour illustrer l'application de \bigwedge_h , supposons que nous ayons l'information suivante extraite de ProMED-mail : « As of 10 Dec 2001, 10 have now died from Ebola virus in Gabon since Tue 4 Dec 2001 », et « As of 16 Dec 2001, 1 new death is reported in Gabon since Mon 10 Dec 2001 ». Ces informations peuvent se représenter suivant STEEL de la façon suivante :

```
happens (e1, <2001-12-04, Gabon>, <2001-12-10, Gabon>)  
happens (e2, <2001-12-10, Gabon>, <2001-12-16, Gabon>)  
instance (e1, macroevent)  
instance (e2, death)  
meventdef(e1, iterevent(death, 10))
```

Le macro-événement e_1 est une itération d'événements de même type que e_2 , mais distinct. L'application de \bigwedge_h ($happens(e_1, \langle 2001-12-04, Gabon \rangle, \langle 2001-12-10, Gabon \rangle)$, $happens(e_2, \langle 2001-12-10, Gabon \rangle, \langle 2001-12-16, Gabon \rangle)$) conduit donc à générer une itération du même événement élémentaire (« death »). Il est possible de déduire les assertions suivantes en appliquant la première ligne de la première condition du Tableau 3 :

```
happens (m, <2001-12-04, Gabon>, <2001-12-16, Gabon>)  
meventdef(m, iterevent(death, 11))
```

Ces propriétés permettent en particulier de déterminer ou de tester un intervalle de validité maximale d'un fluent ou la survenue d'un macro-événement, et de procéder à des combinaisons booléennes de ces vérifications.

3 Conclusion

Avant réalisation du module d'analyse du langage naturel, l'adéquation de STEEL pour représenter le contenu de dépêches épidémiologiques a été testée sur un encodage manuel de textes en comparant les performances d'une implémentation expérimentale de ce langage en Prolog avec celles d'experts humains dans une situation d'interrogation (Chaudet, 2004).

Il existe de nombreux formalismes permettant de raisonner sur le temps en fonction des concepts de base (situation, événements, actions, chroniques) et la façon de représenter le temps (instants ou intervalles, temps linéaire ou non). Si l'EC est un modèle déjà bien utilisé en médecine, il ne l'a été que dans le cadre de la clinique, et jamais pour la veille épidémiologique. Par ailleurs, la localisation spatiale n'a été que peu abordée et uniquement dans le cas de la localisation de lésions. L'extension proposée ici permet d'obtenir une représentation très proche du récit épidémiologique, centrée sur les événements et permettant de considérer une épidémie comme un événement complexe (mécanisme d'abstraction) correspondant à l'agrégation des événements qui la compose. L'abord qui a été choisi ici permet aussi de poser la question de pouvoir compenser les limites de l'EC en matière d'abstraction en faisant reposer celle-ci sur une ontologie du domaine qui lui serait adjointe.

Références

- BENNETT B. (2001). Space, Time, Matter and Things. In: *Proceedings of the international conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS'2001)*, Ogunquit, Maine, USA. New York, NY, USA: ACM Press; 2001. p. 105-116.
- CERVESATO I. & MONTANARI A. (2000). A Calculus of Macro-Events: Progress Report. In A. Trudel, S. D. Goodwin (eds), *7th International Workshop on Temporal Representation and Reasoning (TIME'00)*, Cape Breton, Nova Scotia, Canada; 7-9 July 2000. IEEE Computer Society Press; 2000. p. 47-58.
- CHAUDET H. (2004). STEEL: A spatio-temporal extended event language for tracking epidemic spread from outbreak reports. In: *Proceedings of the KR-MED 2004, First International Workshop on Formal Biomedical Knowledge Representation*, Whistler, BC, Canada, 1 June 2004. CEUR Workshop Proceedings 102, p. 21-30.
- GALTON A. (1993). Toward an integrated logic of space, time, and motion. In: *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'93)*, Chambéry, France; 28 August-3 September 1993. p. 1550-1555.
- HAZARIKA S. M. & COHN A. G. (2001). Qualitative Spatio-Temporal Continuity. In: D. Montello, editors. *Proceedings of COSIT'01*, Morro Bay, California, USA; September 2001. Volume 2205 of Lecture Notes in Computer Sciences. Berlin: Springer-Verlag; 2001. p. 92-107.
- MILLER R.. & SHANAHAN M. (1999). The event calculus in classical logic - alternative axiomatisations, *Linköping Electronic Articles in Computer and Information Science* 4 (<http://www.ep.liu.se/ea/cis/1999/016/>).
- KOWALSKI R.. & SERGOT M. (1986). A logic-based calculus of events. *New Generation Computing*, 4, 67-95.

Modélisation floue des relations « entre » et « le long de »*

Isabelle Bloch¹, Olivier Colliot², Roberto Cesar³

¹ ENST, TSI, CNRS UMR 5141, Paris, France - Isabelle.Bloch@enst.fr

² MNI, Université McGill, Montréal, Québec, Canada -
colliot@bic.mni.mcgill.ca

³ IME, Université de São Paulo, Brazil - cesar@ime.usp.br

Résumé : La relation spatiale « entre » est une notion de nature à la fois floue et contextuelle, en particulier parce qu'elle dépend de la forme des objets entre lesquels elle s'applique. Les quelques définitions existant dans la littérature ne prennent pas ou très peu en compte ces aspects. Nous proposons ici des définitions s'appuyant sur une notion de visibilité floue et sur des outils de morphologie mathématique, qui correspondent aux principales acceptions intuitives de la relation. Nous proposons ensuite de définir la relation « le long de » à partir de la région entre les deux objets considérés.

Mots-clés : Raisonnement spatial, relations spatiales floues, morphologie mathématique, visibilité.

1 Introduction

Nous nous intéressons à la modélisation de relations spatiales qui s'écartent des relations les plus « objectives » (distance, adjacence...) car elles connaissent plusieurs acceptions et variations en fonction des formes, et elles sont souvent intrinsèquement floues, même si les objets sont précis. C'est le cas de la relation « entre ». Par exemple, la figure 1 illustre une situation dans laquelle on souhaiterait dire que l'objet B n'est pas complètement entre A_1 et A_2 mais qu'il l'est avec un certain degré.

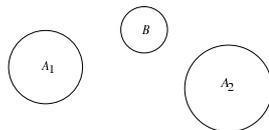


FIG. 1 – L'objet B est-il entre A_1 et A_2 et avec quel degré ?

*Ce travail a été en partie financé par un projet CAPES / COFECUB (numéro 369/01).

De même, les définitions doivent être contextuelles plutôt qu'absolues. Par exemple la relation « entre » ne peut pas être définie de la même manière suivant que les objets ont des extensions spatiales similaires ou au contraire très différentes. Ainsi la sémantique de « entre » change suivant que l'on parle d'une personne située entre deux bâtiments, d'une fontaine située entre une maison et une route, ou d'une route qui passe entre deux maisons, comme cela a été mis en évidence dans des études cognitives et linguistiques (Mathet, 2000).

Les quelques définitions de la littérature du raisonnement spatial qualitatif ne prennent pas en compte ces aspects puisqu'elles s'appuient sur la colinéarité entre points et non sur les formes considérées globalement (Aiello & van Benthem, 2002; Larvor, 2004). De plus, elles ne traitent pas correctement les concavités d'un objet qui ne sont pas visibles depuis l'autre objet. Les mêmes problèmes se rencontrent avec des définitions simples reposant par exemple sur l'enveloppe convexe de la réunion des deux objets ainsi qu'avec les quelques définitions floues existantes (Krishnapuram *et al.*, 1993; Matsakis & Andréfouët, 2002; Bodenhofer, 2003).

L'approche que nous proposons consiste à définir d'abord la région β entre deux objets A_1 et A_2 , puis à déterminer dans quelle mesure un objet B est dans cette région, et donc « entre » A_1 et A_2 . Des mesures appliquées à β permettent également de déterminer le degré de satisfaction de la relation « A_1 est le long de A_2 », relation très peu traitée dans la littérature (à part (Shariff *et al.*, 1998) pour des objets de forme simple dans le contexte des SIG).

2 Dilatation directionnelle floue

Plusieurs approches ont été proposées dans (Bloch *et al.*, 2004, 2005). Nous en décrivons succinctement deux ici. La première repose sur l'idée de dilatation floue (Bloch & Maître, 1995) des deux objets par un élément structurant représentant les directions dans lesquelles chaque objet se trouve par rapport à l'autre. Ces directions peuvent être obtenues par l'histogramme d'angles $h_{(A_1, A_2)}(\theta)$ (Miyajima & Ralescu, 1994), à partir duquel on définit deux éléments structurants flous : $\nu_1(r, \theta) = h_{(A_1, A_2)}(\theta)$ et $\nu_2(r, \theta) = h_{(A_1, A_2)}(\theta + \pi) = \nu_1(r, \theta + \pi)$. L'histogramme des angles est calculé par :

$$h_{(A_1, A_2)}(\theta) = |\{(a_1, a_2), a_1 \in A_1, a_2 \in A_2, \angle(a_1 \vec{a}_2, \vec{u}) = \theta\}|, \quad (1)$$

où \vec{u} désigne un axe de référence, par exemple correspondant au premier axe de coordonnées. La région β est alors calculée par :

$$\beta(A_1, A_2) = D_{\nu_2}(A_1) \cap D_{\nu_1}(A_2) \cap A_1^C \cap A_2^C \cap [D_{\nu_1}(A_1) \cap D_{\nu_1}(A_2)]^C \cap [D_{\nu_2}(A_1) \cap D_{\nu_2}(A_2)]^C. \quad (2)$$

Les deux premiers termes correspondent à l'intersection de la dilatation de A_1 dans la direction de A_2 et de la dilatation de A_2 dans la direction de A_1 . Les autres termes permettent d'éliminer A_1 et A_2 ainsi que les concavités des ensembles qui ne se font pas face. La dilatation floue d'un ensemble flou μ par

un élément structurant flou ν est calculée selon l'approche de (Bloch & Maître, 1995) :

$$D_\nu(\mu)(x) = \sup_y t[\mu(y), \nu(x - y)], \quad (3)$$

où t est une t-norme (conjonction floue) et x et y désignent des points de l'espace.

3 Visibilité et visibilité floue

La seconde approche repose sur l'interprétation intuitive de la relation « entre » en termes de visibilité depuis chacun des objets. Par exemple, dans la figure 2 à gauche, l'objet A_2 a une concavité qui n'est pas visible depuis A_1 et qui ne devrait donc pas être incluse dans $\beta(A_1, A_2)$. Nous proposons, pour prendre en compte ce type de situation, d'utiliser la notion de segments admissibles (Rosenfeld & Klette, 1985). Un segment $]x_1, x_2[$, avec $x_1 \in A_1$ et $x_2 \in A_2$, est dit admissible s'il est inclus dans $A_1^C \cap A_2^C$. Les points visibles depuis A_1 et A_2 sont ceux qui appartiennent aux segments admissibles. Nous définissons alors la région entre A_1 et A_2 comme la réunion des segments admissibles. Cette définition peut être ensuite assouplie en introduisant la notion de visibilité floue, illustrée dans la figure 2 au centre.

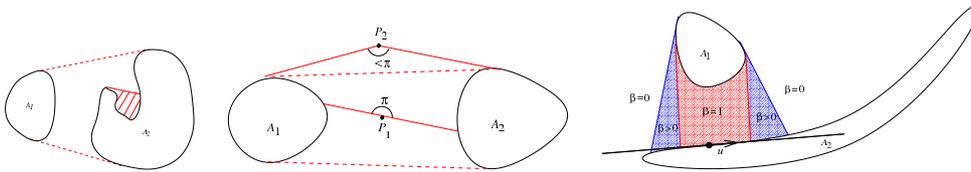


FIG. 2 – A gauche : un exemple avec une concavité non visible (partie hachurée). Au centre : illustration du concept de visibilité floue. Le point P_1 est sur un segment admissible et $\beta(P_1) = 1$, alors que pour le point P_2 , il n'est pas possible de trouver deux segments colinéaires admissibles joignant un point de A_1 (respectivement A_2) à P_2 , donc $\beta(P_2) < 1$, exprimant que P_2 n'est pas complètement entre A_1 and A_2 . A droite : illustration de la définition de la région β dans le cas d'un objet étendu.

Dans le cas où les objets ont des extensions spatiales très différentes, la région β doit alors être définie plus localement. Cela peut encore être réalisé à l'aide de dilatations floues, dans la direction orthogonale à la direction principale de l'objet le plus étendu. Cette approche est illustrée figure 2 (à droite). En termes de visibilité, elle correspond à une vision « myope » dans laquelle les parties de A_2 trop éloignées de A_1 ne sont pas vues.

A partir de la définition de β , le degré de satisfaction de la relation pour un objet B peut être défini par une mesure d'intersection normalisée : $\frac{|B \cap \beta|}{|B|}$. Cette approche est satisfaisante lorsque B est d'extension spatiale similaire à celle de A_1 et A_2 ou celle de β . Si B est étendu, il est préférable de mesurer avec quel degré

B « traverse » β (par exemple « la route passe entre la maison et la rivière »). Notons que toutes ces définitions s'étendent au cas où les objets A_1 , A_2 et B sont flous.

4 Modélisation de la relation « le long de »

La détermination de $\beta(A_1, A_2)$ permet de déterminer simplement si A_1 est le long de A_2 et avec quel degré cette relation est satisfaite, en calculant un degré d'allongement de β . Ici nous avons utilisé la définition de β reposant sur les segments admissibles, en conservant les extrémités de ces segments dans β . Le degré d'allongement doit être calculé à partir des seules parties de β adjacentes à A_1 ou à A_2 et du volume de β , et doit également prendre en compte la distance entre A_1 et A_2 pour éviter des situations contraires à l'intuition. Soit $D_{A_1 A_2}(x) = d(x, A_1) + d(x, A_2)$. Le degré avec lequel la relation « le long de » est satisfait est alors défini par : $\alpha = f\left(\frac{L_\beta^2}{V_\beta}\right)$, où L_β est la longueur de la partie de β adjacente à A_1 ou A_2 , $V_\beta = \int_\beta D_{A_1 A_2}(x) dx$ et f est une fonction de type sigmoïde (dans les résultats présentés ci-dessous, nous avons pris $f(x) = (1 - \exp(-ax))/(1 + \exp(-ax))$). Cette mesure peut également être calculée de manière locale.

5 Illustration sur des structures du cerveau

La figure 3 présente quelques structures du cerveau. Les descriptions anatomiques usuelles font appel à des relations spatiales pour décrire de tels objets¹ et ces descriptions sont très utiles pour la reconnaissance car souvent plus stables que les caractéristiques des objets. Ici nous illustrons sur la figure 4 la relation « entre » avec $A_1 = \text{GFS}$, $A_2 = \text{GFI}$, $B = \text{GFM}$.

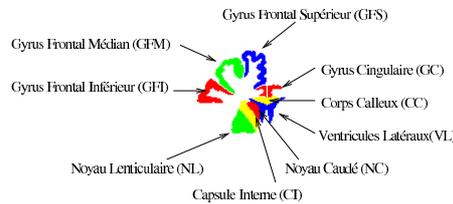


FIG. 3 – Quelques structures cérébrales (coupe 2D d'un atlas anatomique 3D).

Les résultats obtenus (figure 4 et table 1) sont meilleurs que ceux qui seraient obtenus par une approche simple dans laquelle β serait défini à partir de l'enveloppe convexe de $A_1 \cup A_2$, en particulier dans le cas des concavités non visibles.

La table 2 illustre quelques résultats pour la relation « le long de », qui sont bien conformes à l'intuition.

¹<http://www.chups.jussieu.fr/ext/neuranat>

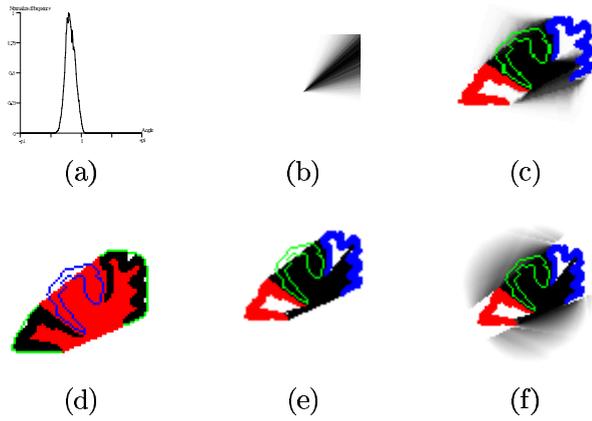


FIG. 4 – (a) Histogramme d’angles entre A_1 et A_2 . (b) Élément structurant flou ν_1 (ν_2 est son symétrique). (c) Région $\beta(A_1, A_2)$ obtenue par dilatation floue. Les contours de B sont superposés en vert. (d) Région $\beta(A_1, A_2)$ (en rouge) obtenue par l’enveloppe convexe de $A_1 \cup A_2$. (e) Segments admissibles. (f) Visibilité floue.

A_1	A_2	B	$\frac{ \beta \cap B }{ B }$ (1)	$\frac{ \beta \cap B }{ B }$ (2)	$\frac{ \beta \cap B }{ B }$ (3)	$\frac{ \beta \cap B }{ B }$ (4)
CN	LN	IC	0.85	0.84	0.84	0.94
LV	CG	CC	1.00	0.93	1.00	1.00
IFG	SFG	MFG	0.78	0.92	0.76	0.95
CG	CN	CC	0.88	0.90	0.88	0.97
CG	CN	LV	0.47	0.63	0.47	0.79
IFG	SFG	IC	0.00	0.02	0.00	0.16
IFG	SFG	LN	0.00	0.00	0.00	0.04

TAB. 1 – Mesure d’adéquation entre B et β pour plusieurs structures, avec l’enveloppe convexe (1), la dilatation floue (2), les segments admissibles (3) et la visibilité floue (4). La 5e ligne correspond à un cas où une partie de B est entre A_1 et A_2 , d’où le degré plus faible obtenu. Pour les deux dernières lignes, la relation n’est pas satisfaite.

Objets	α
	0.717
	0.611
	0.133
	0.015

TAB. 2 – Degrés de satisfaction de la relation « le long de » pour quelques structures.

6 Conclusion

Nous avons proposé des définitions de relations spatiales complexes (« entre » et « le long de ») qui prennent en compte leur nature intrinsèquement floue, ont de bonnes propriétés et un comportement qui correspond bien à ce qui pouvait être attendu intuitivement. La suite de ces travaux portera sur la modélisation d'autres relations complexes ainsi que sur leur intégration dans des systèmes de reconnaissance structurelle d'objets dans des images et de raisonnement spatial.

Références

- AIELLO M. & VAN BENTHEM J. (2002). A Modal Walk Through Space. *Journal of Applied Non Classical Logics*, **12**(3-4), 319–364.
- BLOCH I., COLLIOT O. & CESAR R. (2004). Modélisation de la relation spatiale « entre » à partir de notions de convexité et de visibilité floue. In *Rencontres francophones sur la Logique Floue et ses Applications LFA'04*, p. 149–156, Nantes, France.
- BLOCH I., COLLIOT O. & CESAR R. M. (2005). Mathematical Modeling of the Relationship “Between” Based on Morphological Operators. In *ISMM 2005*, Paris, France.
- BLOCH I. & MAÎTRE H. (1995). Fuzzy Mathematical Morphologies : A Comparative Study. *Pattern Recognition*, **28**(9), 1341–1387.
- BODENHOFER U. (2003). Fuzzy “Between” Operators in the Framework of Fuzzy Orderings. In B. BOUCHON-MEUNIER, L. FOULLOY & R. R. YAGER, Eds., *Intelligent Systems for Information Processing : From Representation to Applications*, p. 59–70. Elsevier.
- KRISHNAPURAM R., KELLER J. M. & MA Y. (1993). Quantitative Analysis of Properties and Spatial Relations of Fuzzy Image Regions. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, **1**(3), 222–233.
- LARVOR Y. (2004). *Notion de méréogéométrie : description qualitative de propriétés géométriques, du mouvement et de la forme d'objets tridimensionnels*. PhD thesis, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- MATHET Y. (2000). *Etude de l'expression en langue de l'espace et du déplacement : analyse linguistique, modélisation cognitive, et leur expérimentation informatique*. PhD thesis, Université de Caen, France.
- MATSAKIS P. & ANDRÉFOUËT S. (2002). The Fuzzy Line Between Among and Surround. In *FUZZ'IEEE 2002*, p. 1596–1601.
- MIYAJIMA K. & RALESCU A. (1994). Spatial Organization in 2D Segmented Images : Representation and Recognition of Primitive Spatial Relations. *Fuzzy Sets and Systems*, **65**, 225–236.
- ROSENFELD A. & KLETTE R. (1985). Degree of Adjacency or Surroundness. *Pattern Recognition*, **18**(2), 169–177.
- SHARIF A. R., EGENHOFER M. & MARK D. (1998). Natural-Language Spatial Relations Between Linear and Areal Objects : The Topology and Metric of English-Language Terms. *International Journal of Geographical Information Science*, **12**(3), 215–246.

Une feuille de route pour la fusion de réseaux de contraintes qualitatives

Jean-François Condotta¹, Souhila Kaci¹, Gérard Ligozat², Pierre Marquis¹

¹ CRIL-CNRS, Université d'Artois, Rue de l'Université, 62307 Lens, France
{condotta,kaci,marquis}@cril.univ-artois.fr

² LIMSI-CNRS, Université de Paris-Sud 91403 Orsay, France, ligozat@limsi.fr

Abstract : Dans un système intelligent les informations spatiales et temporelles proviennent de plusieurs sources. La multiplicité des sources conduit fréquemment à des conflits. Faisant le parallèle entre la logique propositionnelle et la représentation des informations à l'aide des réseaux de contraintes qualitatives, nous abordons le problème de la fusion de réseaux de contraintes qualitatives. **Mots-clés** : Réseaux de contraintes qualitatives, fusion.

1 Introduction

Dans certaines applications, les informations spatiales ou temporelles concernant un ensemble d'objets peuvent provenir de plusieurs sources. L'information sur l'état des positions relatives des objets issue de chaque source peut être représentée par un réseau de contraintes qualitatives \mathcal{N}_i (un RCQ \mathcal{N}_i en abrégé). La multiplicité des sources d'information fournissant les RCQ fait que souvent ces RCQ sont conflictuels, et prendre simplement l'union de ces réseaux n'est pas approprié. Disposant de l'ensemble des connaissances de ces sources conflictuelles, que peut-on déduire sur l'état global du système? Une manière élégante de répondre à une telle question est de définir un opérateur de fusion prenant en argument l'ensemble des RCQ $\mathcal{K} = \{\mathcal{N}_1, \dots, \mathcal{N}_m\}$ provenant des différentes sources et retournant un RCQ correspondant aux informations globales déduites à partir de celles des différentes sources. La fusion de données est une problématique qui a donné lieu à de nombreux travaux, notamment dans le cadre d'une représentation des informations à l'aide de formules en logique propositionnelle. Nous savons qu'il existe de nombreux liens étroits entre la représentation d'information à l'aide de RCQ et celle à l'aide de formules en logique propositionnelle. Nous pouvons par exemple voir un RCQ comme une conjonction de disjonctions exclusives de littéraux d'un type particulier, les scénarios cohérents ou les solutions peuvent alors être vus comme les modèles de cette conjonction. En utilisant de tels parallèles entre la logique propositionnelle et les RCQ nous proposons une démarche pour réaliser la fusion de RCQ.

2 Calculs qualitatifs pour le temps et l'espace

2.1 Les relations de base

Dans la suite nous supposons donné un ensemble fini \mathcal{B} de relations binaires définies sur un domaine \mathcal{D} . Chacune de ces relations sera dite relation de base et représente une situation qualitative particulière entre deux éléments de \mathcal{D} . Comme hypothèse, nous supposons que ces relations de base sont complètes et mutuellement exclusives, c'est-à-dire que deux éléments de \mathcal{D} satisfont une et une seule relation de \mathcal{B} . Nous supposons également qu'une des relations de base est la relation identité et que la transposée de chacune des relations de base de \mathcal{B} est également une relation de base. À des fins d'illustration considérons le calcul des relations cardinales (Ligozat, 1998). Ce calcul considère l'ensemble des points du plan des rationnels pour représenter les composantes spatiales d'un ensemble d'objets ponctuels. Ainsi, $\mathcal{D} = \mathbb{Q} \times \mathbb{Q}$. Un ensemble de 9 relations de base est considéré $\mathcal{B} = \{N, NE, E, SE, S, SW, W, NW, EQ\}$ permettant de caractériser la position relative de deux points du plan. Ces relations de base correspondent intuitivement aux relations cardinales. Par exemple, NE sera satisfaite entre deux points (x_1, y_1) et (x_2, y_2) si $x_1 > x_2$ et $y_1 > y_2$.

2.2 Les réseaux de contraintes qualitatives

Les informations sur les positions relatives d'un ensemble de composantes temporelles ou spatiales peuvent être représentées dans certains cas par des réseaux de contraintes dites qualitatives (RCQ). Une contrainte de ces réseaux spécifie l'ensemble des relations de base admissibles entre deux entités temporelles ou spatiales particulières, caractérisant ainsi leur position relative. De manière formelle, un RCQ est défini de la manière suivante:

Definition 1

Un réseau de contraintes qualitatives \mathcal{N} est un couple (V, C) où V est un ensemble fini de n variables v_0, \dots, v_{n-1} (avec n un entier strictement positif) et C est une application qui, à chaque couple (v_i, v_j) de variables de V associe un sous-ensemble $C(v_i, v_j)$ de relations de base : $C(v_i, v_j) \subseteq \mathcal{B}$. $C(v_i, v_j)$ est aussi noté C_{ij} .

\mathcal{A} est l'ensemble $2^{\mathcal{B}}$ de tous les sous-ensembles de \mathcal{B} . Deux éléments $x, y \in \mathcal{D}$ satisfont $r \in \mathcal{A}$, dénoté par $x r y$, ssi il existe une relation de base $A \in r$ satisfaisant x et y . Dans la suite, nous utilisons les définitions suivantes:

Definition 2

Soit $\mathcal{N} = (V, C)$ un RCQ, avec $V = \{v_0, \dots, v_{n-1}\}$. Une **instanciation partielle** de \mathcal{N} sur $V' \subseteq V$ est une application α de V' vers \mathcal{D} . Une telle instanciation partielle est dite **cohérente** lorsque $\alpha(v_i) C(v_i, v_j) \alpha(v_j)$, pour tout $v_i, v_j \in V'$. Une **solution** de \mathcal{N} est une instanciation partielle cohérente de \mathcal{N} sur V . Un RCQ \mathcal{N} est **cohérent** si et seulement si il admet une solution. Un **sous-réseau** de \mathcal{N} est un RCQ (V, C') où $C'_{i,j} \subseteq C_{i,j}$ pour tout $v_i, v_j \in V$. Un RCQ $\mathcal{N}' = (V', C')$ est **équivalent** à \mathcal{N} si et seulement si $V = V'$ et si les deux RCQ \mathcal{N} et \mathcal{N}' admettent les mêmes solutions. Un **réseau atomique** est un RCQ dont chaque contrainte est définie par un élément de \mathcal{A} contenant une et une seule relation de base de \mathcal{B} . Un **scénario** sur un ensemble de variables V' est un réseau atomique ayant pour variables V' . Un **scénario (cohérent)** de \mathcal{N} est un sous-réseau atomique (cohérent) de \mathcal{N} .

3 Fusion d'information en logique propositionnelle

La fusion en logique propositionnelle (Revesz, 1993; Lin, 1996; Revesz, 1997; Konieczny & Pérez, 1998) consiste à construire à partir d'un ensemble de n bases de connaissances exprimées en logique propositionnelle une nouvelle base cohérente reflétant au mieux les informations des bases initiales. Le moyen le plus naturel de fusionner ces bases est de prendre la conjonction des bases comme résultat de la fusion. Ceci peut produire une base de connaissance incohérente, en particulier du fait de la multiplicité et la variété des différentes sources d'information. De ce fait, des techniques de fusion plus sophistiquées ont été proposées. On distingue deux approches principales. La première consiste à calculer des sous-bases maximales cohérentes et proposer l'intersection de certaines de ces sous-bases comme résultat de la fusion (Brewka, 1989; Lehmann, 1995). Le critère de sélection des sous-bases fait la spécificité de l'opérateur de fusion dans cette approche. La deuxième approche (Revesz, 1993; Lin, 1996; Revesz, 1997; Konieczny & Pérez, 1998) se déroule en trois étapes. La première étape consiste à ordonner les interprétations par rapport à *chacune* des bases. La deuxième étape consiste à ordonner globalement les interprétations par rapport à *toutes* les bases. Enfin, la troisième étape définit le résultat de la fusion comme l'ensemble des meilleures interprétations par rapport à cet ordre global. Un moyen d'effectuer ces trois étapes est d'utiliser une fonction de distance locale et un opérateur d'agrégation. La distance locale est une fonction qui associe à chaque interprétation une valeur qui représente l'écart entre l'interprétation et la base. Cette distance est généralement déduite à partir d'une distance plus fine qui calcule l'écart entre chaque interprétation et chacun des modèles de la base. Cette distance locale permet de réaliser la première étape. L'opérateur d'agrégation est appliqué sur les distances locales pour effectuer la deuxième étape. Les meilleures interprétations sont celles qui ont la distance globale minimale. Dans la suite, nous allons montrer de manière concrète comment exporter cette deuxième approche au cas des réseaux de contraintes qualitatives.

4 Fusion de réseaux de contraintes qualitatives

Dans la suite nous supposons que tous les RCQ sont définis sur un ensemble unique $V = \{v_0, \dots, v_{n-1}\}$ de variables. L'ensemble des scénarios est dénoté par \mathcal{S} . Étant donné un RCQ $\mathcal{N} = (V, C)$, $[\mathcal{N}]$ dénote le sous-ensemble de \mathcal{S} correspondant aux scénarios cohérents de \mathcal{N} .

Soit $\mathcal{K} = \{\mathcal{N}_1, \dots, \mathcal{N}_m\}$ un ensemble de RCQ sur le même ensemble de variables V . Dans ce contexte, une interprétation est un scénario sur V appartenant à $[V]$ où $[V]$ dénote l'ensemble de tous les scénarios cohérents sur l'ensemble de variables V (plus formellement l'ensemble des scénarios cohérents du RCQ sur V ayant toutes ses contraintes définies par l'ensemble \mathcal{B}). Comme dit auparavant, nous allons définir un opérateur de fusion, dénoté par \odot , basé sur une distance et permettant de calculer à partir de \mathcal{K} un RCQ cohérent sur V . Le processus de fusion suit trois étapes: dans la première étape, des distances locales sont calculées entre chaque scénario et *chacun* des RCQ. La deuxième étape consiste à agréger ces distances locales pour calculer une distance globale entre chaque scénario et l'ensemble de *tous* les RCQ de \mathcal{K} . Enfin, la dernière étape consiste à calculer le résultat de la fusion à partir de ces distances globales.

Calcul des distances locales

La distance locale consiste à mesurer l'écart entre un scénario donné par rapport à un RCQ. La distance entre un scénario et un RCQ sera calculée en prenant le minimum des distances entre ce scénario et chacun des scénarios cohérents du RCQ. Dans le cadre de la logique propositionnelle, la distance de Hamming est souvent utilisée (Dalal, 1988). Elle est basée sur un écart entre deux interprétations égal au nombre de variables valuées différemment. Dans le contexte des RCQ, cet écart peut être défini par le nombre de contraintes atomiques différentes entre les deux scénarios. Formellement :

Definition 3 (Distance de Hamming)

Soit \mathcal{N} un réseau de contraintes qualitatives et σ un scénario appartenant à $[V]$. La distance de Hamming entre σ et \mathcal{N} , notée $d(\sigma, \mathcal{N})$, est égale à :

$$d(\sigma, \mathcal{N}) = \min_{\sigma' \in [\mathcal{N}]} \{dist(\sigma, \sigma')\}, \text{ où } dist(\sigma, \sigma') = |\{(v_i, v_j) \in V \times V : \sigma_{ij} \neq \sigma'_{ij}\}|.$$

Calcul des distances globales

Une fois la distance locale calculée entre les différents scénarios possibles et chacun des RCQ, un opérateur d'agrégation \odot est utilisé. Il a pour but de calculer une distance *globale*, notée $d_{\odot}(\sigma, \mathcal{K})$, qui mesure l'écart entre chaque scénario et l'ensemble de tous les RCQ. Plusieurs opérateurs d'agrégation ont été proposés dans la littérature pour la fusion de bases propositionnelles. Le choix de cet opérateur dépend de plusieurs critères tels que la fiabilité des sources. L'opérateur de *majorité* \sum favorise le point de vue de la majorité (Revesz, 1993; Lin, 1996). Il est défini par :

$$d_{\sum}(\sigma, \mathcal{K}) = \sum_{\mathcal{N}_i \in \mathcal{K}} d(\sigma, \mathcal{N}_i).$$

Lorsque les réseaux n'ont pas le même degré de priorité, on utilise la *somme pondérée*, notée \mathcal{WS} (Revesz, 1993). Soit n_i un entier non négatif qui représente le poids associé au réseau. On obtient :

$$d_{\mathcal{WS}}(\sigma, \mathcal{K}) = \sum_{\mathcal{N}_i \in \mathcal{K}} n_i * d(\sigma, \mathcal{N}_i).$$

Enfin un opérateur *égalitariste* idempotent peut également être utilisé, noté \mathcal{MAX} (Revesz, 1997):

$$d_{\mathcal{MAX}}(\sigma, \mathcal{K}) = \max_{\mathcal{N}_i \in \mathcal{K}} d(\sigma, \mathcal{N}_i).$$

Calcul du résultat de la fusion

La distance globale calculée dans l'étape précédente permet de générer un pré-ordre total sur l'ensemble des scénarios de $[V]$ par rapport à l'ensemble de tous les RCQ de \mathcal{K} . Formellement, nous avons : $\forall \sigma, \sigma' \in [V], \sigma \succeq_{\odot}^{\mathcal{K}} \sigma'$ ssi $d_{\odot}(\sigma, \mathcal{K}) \leq d_{\odot}(\sigma', \mathcal{K})$.

Le résultat de la fusion doit être un RCQ dont l'ensemble des scénarios cohérents inclut l'ensemble des scénarios *les plus proches* de tous les RCQ de \mathcal{K} i.e., l'ensemble des scénarios correspondant aux éléments minimaux du pré-ordre défini précédemment. Ainsi, de manière naturelle nous définissons le résultat de la fusion par le RCQ $\mathcal{N}_R = (V, C_R)$ où :

$$C_R(v_i, v_j) = \bigcup_{\sigma \in [V], \sigma \in \text{Min}([V], \succeq)} \{\sigma(v_i, v_j)\}.$$

5 Conclusion

En effectuant un rapprochement entre une représentation à base de réseaux de contraintes qualitatives et celle utilisant des formules propositionnelles nous avons importé une technique de fusion dans le cadre des RCQ. Ceci est une première étape qui ouvre de nombreuses perspectives de travail. Une d'entre elles consiste à introduire dans le cadre des RCQ les différentes distances proposées dans le cadre de la logique propositionnelle de manière exhaustive et d'étudier leurs différentes propriétés dans ce nouveau contexte. En particulier il serait intéressant de répondre aux questions suivantes : quelle est leur complexité de calcul ? Peut-on rapprocher le calcul de telles distances à des problèmes propres au paradigme des RCQ et des CSP de manière générale (le problème de la minimalité, MAX-CSP, ou tout autre problème propre à la résolution de contraintes) ? Quelles sont les distances pertinentes dans le cadre des RCQ ? Un autre travail consiste à imaginer et à étudier des distances qui ne seraient définissables que dans le cadre des RCQ. Il serait également pertinent de s'inspirer des postulats de rationalité proposés dans le cadre de la fusion de bases propositionnelles pour caractériser le comportement des opérateurs de fusion dans le cadre particulier des RCQ. Nous avons posé comme hypothèse que le résultat de la fusion de RCQ est un RCQ. Ceci est plus contraignant que dans le cas propositionnel. En effet, dans ce contexte-ci nous pouvons toujours définir une base de connaissances équivalente à une disjonction de modèles. Ceci n'est pas le cas dans les RCQ. Étant donné un ensemble de scénarios cohérents, il n'est pas toujours possible de définir un RCQ équivalent à la disjonction de ces scénarios cohérents. Une étude intéressante serait d'examiner les conséquences d'une telle hypothèse et plus généralement de mettre en perspective les différences entre la logique propositionnelle et les RCQ pour le problème de la fusion.

References

- BREWKA G. (1989). Preferred subtheories: an extended logical framework for default reasoning. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'89)*, p. 1043–1048.
- DALAL M. (1988). Investigations into a theory of knowledge base revision: preliminary report. In *Proceedings of the 7th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'88)*, p. 475–479.
- KONIECZNY S. & PÉREZ R. P. (1998). On the logic of merging. In *Proceedings of the 6th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'98)*, p. 488–498.
- LEHMANN D. (1995). Belief revision revisited. In *Proceedings of 14th Int. Joint Conference on Artificial Intelligence*, p. 1534–1539.
- LIGOZAT G. (1998). Reasoning about cardinal directions. *Journal of Visual Languages and Computing*, **1**(9), 23–44.
- LIN J. (1996). Integration of weighted knowledge bases. *Artificial Intelligence*, p. 363–378.
- REVESZ P. Z. (1993). On the semantics of theory change: arbitration between old and new information. In *12th ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART symposium on Principles of Databases*, p. 71–92.
- REVESZ P. Z. (1997). On the semantics of arbitration. *International Journal of Algebra and Computation*, **7**(2), 133–160.

Temps sémantique et aspect dans l'analyse sémantique automatique*

Johannes Heinecke

France Télécom, Division Recherche & Développement
TECH/EASY/Langues Naturelles
2 avenue Pierre Marzin, F-22307 Lannion Cedex
johannes.heinecke@francetelecom.com

Résumé : Cet article présente une modélisation linguistique du temps sémantique et de l'aspect et sa mise en œuvre dans un système d'analyse sémantique. En linguistique, la notion d'aspect a une grande diversité de définitions incompatibles. Par contre, dans le domaine du traitement automatique du langage naturel, temps et aspect sont moins souvent discutés, en particulier dans les systèmes d'analyse.

Mots-clés : traitement automatique du langage naturel, temps grammatical, morphologie, temps sémantique, aspect, Aktionsart (« type d'action » ou « type de procès »).

1 Introduction

Le temps sémantique et l'aspect font depuis longtemps l'objet de discussions en linguistique générale (Reichenbach, 1947). Plusieurs approches assez différentes voire incompatibles ont été développées, notamment pour la notion d'« aspect » (pour en citer quelques-unes : Comrie, 1976; Dahl, 1985; Klein, 1994). Dans la littérature linguistique et dans le domaine du traitement automatique du langage naturel (TALN) on trouve un grand nombre de définitions similaires de l'aspect, par contre les implémentations sont moins souvent présentées (cf. Webber, 1988; Hitzeman *et al.*, 1995 ou encore Dorr & Olsen, 1997).

Nous proposons ici un modèle opérationnel récemment développé dans Heinecke, 1999; Heinecke, 2003.¹ Ce modèle sera présenté, puis suivi par une mise en œuvre dans le cadre d'une analyse sémantique profonde (utilisée, entre autres, dans le cadre d'applications de traduction et de résumé automatique). Le but est de transformer les phrases à analyser en une représentation sémantique, (Heinecke & Toumani, 2003) qui soit indépendante de la langue source. Dans cette représentation on exploite (section 3) le modèle de l'aspect et du temps sémantique discuté dans la section 2.

*Je remercie Olivier Tardif et un relecteur anonyme pour leurs commentaires et suggestions sur des précédentes versions de cet article.

¹Basé sur les travaux de Heger, 1963 et Heger, 1967.

2 Temps sémantique et aspect

Le temps sémantique (correspondant à la notion de « fonction » au sens de [Saussure, 1967](#)) ne doit pas être confondu avec le temps grammatical (forme) : les temps grammaticaux ne sont que des moyens spécifiques à une langue pour exprimer les temps sémantiques. Il y a en effet de nombreux moyens dans les langues du monde pour situer un évènement dans le temps : temps grammaticaux (comme en français : Présent, Imparfait, Futur²), formes composées (Passé Composé, Plus-que-parfait), ou autres éléments syntaxiques (par ex. la préposition galloise *wedi* qui exprime l'antériorité). Le modèle proposé concerne uniquement le temps sémantique. Une analyse onomasiologique de la langue est nécessaire pour établir comment ces temps sémantiques peuvent être exprimés dans la langue. Par contre, pour le traitement automatique (voir section 3 ci-dessous) il nous faut aussi faire l'inverse (analyse sémasiologique) afin de savoir quels temps sémantiques sont exprimés par un temps grammatical donné.

La modélisation choisie est basée sur la perception humaine du temps : monodimensionnel, orienté (non-reversible) et linéaire. Cette perception nous donne un axe temporel. Sur cet axe on projette l'origine de la déixis temporelle (cf. [Bühler, 1990](#)³), c'est à dire le temps de l'énoncé, le « maintenant » (figure 1).

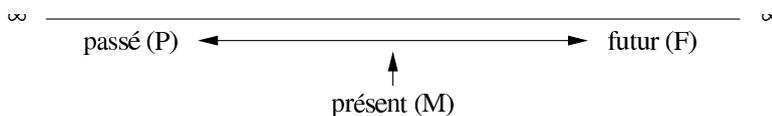


FIG. 1 – temps sémantiques du premier degré

Chaque point, passé (P), présent (M) et futur (F) peut être de nouveau un point de départ pour les temps dits relatifs. On obtient ainsi un passé antérieur (PA), un passé simultané (PS qui est identique au passé) et un passé postérieur ou ultérieur (PU) quand on prend le P comme point de départ. Les mêmes temps relatifs s'appliquent au présent (MA, MS, MU) et au futur (FA, FS, FU, voir fig. 2).⁴ Les temps relatifs dits « simultanés » sont identiques aux temps simples, donc FS = F etc. Comme dans la figure 3, les représentations bidimensionnelles n'impliquent pas une modélisation du temps en deux dimensions mais cette représentation a été choisie pour expliquer plus facilement les portées différentes des temps relatifs.

La proximité conceptuelle du MA et P (et aussi de MU et F) a comme conséquence qu'il y a des langues qui ne distinguent plus cette différence.⁵

²Afin de faire une distinction notationnelle, les formes (temps grammaticaux) seront écrites avec une majuscule, les temps sémantiques avec une minuscule

³Bühler identifie comme étant la base déictique un origo. Il y a trois types de déixis, temporelle, spatiale et personnelle. Il écrit sur p. 117 « three deictic words must be placed where the O [origo] is, namely the deictic words *here, now and I.* »

⁴Dans [Heinecke, 1999](#) les temps sémantiques P, M et F sont représentés par \overleftarrow{T} , T et \overrightarrow{T} ; les relateurs (suffigés) A, S et U par \overleftarrow{R} , R et \overrightarrow{R} (préfigés).

⁵Le français et l'allemand par exemple n'ont aucun temps grammatical pour exprimer le MA. Il faut utiliser

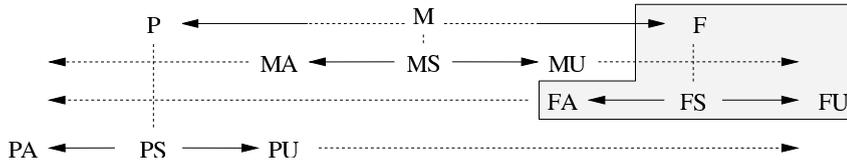


FIG. 2 – temps sémantiques du deuxième degré

La structure des temps relatifs peut être transparente comme dans les phrase : *j'aurai mangé* (FA), *I was going to eat* (PU). Autrement dit, le FA situe un événement qui précède un moment dans le futur, et le PU un événement qui suit un moment dans le passé. Bien entendu, ces moments « relatifs » ne sont pas identifiables de manière absolue.⁶ Notons aussi que les temps relatifs ne sont pas nécessairement composés, cf. le Plusquamperfectum du latin (PA) : *amaveram* « j'avais aimé ».

Si en théorie on pourrait continuer de rajouter des antérieurs et postérieurs *ad libitum*, aucune langue, à notre connaissance, ne lexicalise des temps relatifs au dessus du troisième degré. La figure 3 est un exemple du troisième degré : elle correspond à la partie grise de la figure 2, élargie par des temps relatifs du troisième degré (en italique).⁷ En exemple pour un tel temps sémantique en français est *je serai allé manger* (FAU).

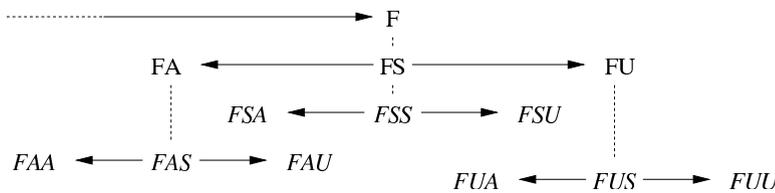


FIG. 3 – temps sémantiques du troisième degré (vue partielle)

Volontairement, ce modèle temporel présenté ne parle pas des intervalles car il ne veut que positionner les événements en relation (directe ou indirecte) du « maintenant », indépendamment du type d'événement (Aktionsart). J'y suis la définition données par Klein, 1994 (p. 15) : « Temporal reference which relates the time of a situation to some distinguished time span, especially the time of utterance. It may also be related to cultural backgrounds (calendaric time reference) or other, aforementioned events (anaphoric time reference) ». Bien entendu, un événement peut être duratif, donc prendre un certain temps et n'est pas seulement un point sur l'axe de temps. Il reste avant, pendant ou après un point de référence.

une périphrase : *il vient de manger* ou en allemand *er hat gerade gegessen*. Par contre on le trouve toujours en anglais (Present Perfect Tense).

⁶Dans la notation de Comrie, 1981 (p. 27), basée sur Reichenbach, on dirait E after R before S pour PU ou encore E before R after S pour FA.

⁷Une définition plus détaillée de ce modèle se trouve dans Heinecke, 1999 (pp. 95ff).

La définition d'aspect ne fait pas l'unanimité chez les linguistes. Le fait notamment que la littérature linguistique anglophone souvent ne fasse pas la différence entre aspect (une catégorie déictique binaire) et Aktionsart (une catégorie de la sémantique lexicale) ajoute à la confusion. Dans le modèle choisi ici, l'aspect est déictique car il exprime la vue sur un évènement (imperfectif (IMPF), ou inaccompli, vs perfectif (PERF) ou accompli).⁸ Nous considérons l'aspect comme déictique parce qu'il établit une relation entre un temps et l'évènement. Pourtant cette relation n'est pas le positionnement de l'évènement par rapport du temps de l'énoncé mais elle est la vue sur l'évènement.

L'aspect est souvent exprimé par des moyens morpho-syntaxiques. Par exemple l'anglais qui fait une distinction aspectuelle pour le passé et le futur : *he ate* (PERF) vs *he was eating*.⁹ Le français distingue l'aspect dans seulement dans le passé : *il a chassé* (PERF) vs *il chassait*. L'arabe classique est assez différent parce que il ne marque que l'aspect avec des moyens morphologiques : *qatala* (PERF) vs *jaqtulu*.¹⁰

A la différence de l'aspect, l'aktionsart (type d'action) est une catégorie de la sémantique lexicale et décrit la catégorie d'un évènement (ingressif, duratif, ponctuel, etc.) qui ne change pas en fonction du contexte, sauf dans certaines combinaisons d'Aktionsarten et d'aspects (voir ci-dessous). Klein, 1994 le défine comme « Aktionsart is usually seen as the differing temporal characteristics of the lexical contents of verbs such like durativity, inchoative, iterative, stative, etc. ». L'Aktionsart fait partie du sens lexical, et varie d'un verbe à l'autre : *attraper* (non-télique) vs *chasser* (télique).¹¹

Aspect, temps (sémantique) et Aktionsarten sont donc trois catégories complémentaires, car chaque élément de chacune de ces catégories peut être combiné un élément des autres catégories. Donc, théoriquement chaque temps peut être combiné avec chaque aspect et chaque combinaison temps/aspect peut être combiné avec n'importe quel Aktionsart. Par contre, de nombreuses langues n'expriment pas l'aspect ou alors seulement dans quelques cas (français) ; d'autres langues (arabe classique) expriment d'abord l'aspect mais pas le temps sémantique. La nature « accomplie » du perfectif cause souvent une réinterprétation de la combinaison perfectif + présent ; notamment dans le russe où le perfectif du temps grammatical Présent a un sens clair de futur. Un évolution semblable est observée pour le gallois.¹² La combinaison des aspects avec les

⁸Heger, 1967 (p. 551) définit le term déictique en étant « lié à l'acte de parole » (notre traduction).

⁹La différence entre Simple Present Tense (*he eats*) et Continuous Present Tense (*he is eating*) n'est pas aspectuelle. La première forme exprime un fait générique, la deuxième le présent (imperfectif).

¹⁰Les langues slaves sont un cas spécial cas elles utilisent les même morphèmes afin de marquer l'aspect et Aktionsart.

¹¹Le tableau ci-dessous montre bien la différence fondamentale entre aspect (IMPF/PERF) et (deux) Aktionsarten (en utilisant ici la terminologie de Vendler, 1967) pour l'anglais, le français, le polonais et le russe :

		activity	achievement
IMPF	anglais	<i>he was hunting</i>	<i>he was hunting (it) down</i>
	français	<i>il chassait</i>	<i>il attrapait</i>
	polonais	<i>gonić</i>	<i>dogonać</i>
	russe	<i>gnat'</i>	<i>dogonjat'</i>
PERF	anglais	<i>he hunted</i>	<i>he hunted down</i>
	français	<i>il chassa/a chassé</i>	<i>il attrapa/a attrapé</i>
	polonais	<i>pogonić</i>	<i>dogonić</i>
	russe	<i>pognat'</i>	<i>dognjat'</i>

¹²Cf. pour plus de détail sur le modèle présenté dans Heinecke, 1999.

Aktionsarten entraîne dans certains cas des réinterprétations, c’est à dire l’Aktionsart d’un verbe change. C’est le cas par exemple pour les verbes ponctuels en combinaisons avec l’aspect imperfectif qui obtiennent une interprétation itératif : *il a sauté* (PERF, ponctuel) ⇒ *il sautait* (IMPF, itératif).

3 Traitement automatique

Notre analyse sémantique s’inspire des travaux de Kamp et Reyle 1993. Afin d’obtenir la représentation sémantique, on effectue d’abord une analyse syntaxique. Le résultat de celle-ci est un arbre de dépendance où un ou plusieurs prédicats sont associés à chaque terminal (voir figure 4 pour la phrase *la fille a mangé une pomme*).

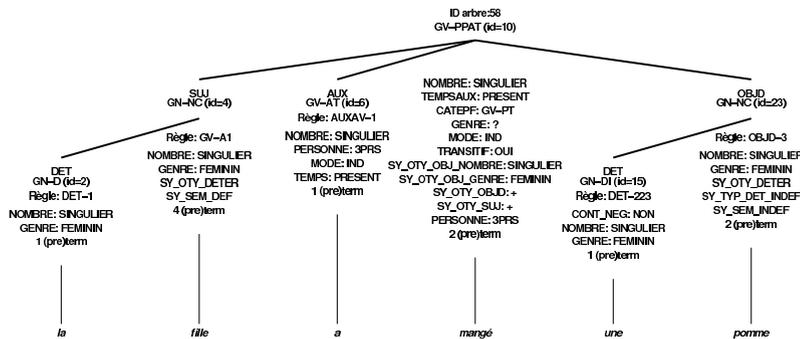


FIG. 4 – arbre syntaxique (partiel, avec un seul terminal par préterminal)

Les prédicats sont ensuite reliés en fonction des relations syntaxiques entre les terminaux et de la structure argumentale des prédicats : des règles sémantiques permettent de spécifier les combinaisons. Le graphe que constitue la représentation sémantique est orienté et acyclique.

Pour une analyse syntaxique donnée les règles sémantiques permettent de générer plusieurs graphes (un graphe par interprétation). Un graphe sémantique est considéré comme non-ambigu.¹³ Les prédicats d’un graphe sont liés à l’aide de leurs arguments sémantiques et de variables, qui représentent les actants de l’évènement. Dans le graphe en figure 5 on trouvera donc un actant (x_{13}) qui est l’agent de l’évènement désigné par le prédicat *OPERATION.manger*, et l’entity (i.e. référent) de l’entité représentée par le prédicat *HUMAN.fille*. Cet agent porte en plus la notion d’être identifiable (par le locuteur, prédicat *DEF.artDef*¹⁴).

Le temps sémantique et l’aspect ne sont normalement pas reliés à la sémantique lexicale des mots, et on doit recourir à la morphosyntaxe de la phrase et aux combinaisons des formes verbales infinitives avec des auxiliaires. Afin de pouvoir générer les prédicats nécessaires un ensemble de règles de construction qui se base sur des données

¹³Il est cependant possible que des prédicats du graphe soient sous-spécifiés, et donc « ambigus ».

¹⁴Cf. Heger, 1983.

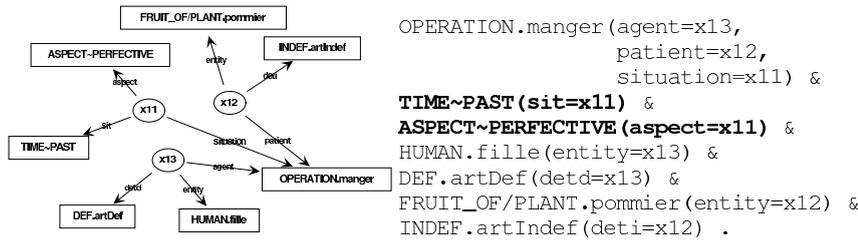


FIG. 5 – graphe sémantique

permet d'obtenir un prédicat pour le temps sémantique (TIME~PAST) et pour l'aspect (ASPECT~PERFECTIVE).

Le temps sémantique et l'aspect ne sont pas toujours détectables, notamment lorsque le contexte n'est pas suffisamment précis. Prenons la phrase *L'homme mange du pain* : en français le Présent peut désigner une assertion générique, un évènement qui est en train de se dérouler ou évènement futur. Sans contexte, on ne peut décider quelle fonction temporelle est la bonne. Donc, le graphe associé (figure 6) reste ambigu car on ne peut pas spécifier le temps sémantique complètement.¹⁵ Par contre on a pu exclure les autres temps (tels que passé etc.) :

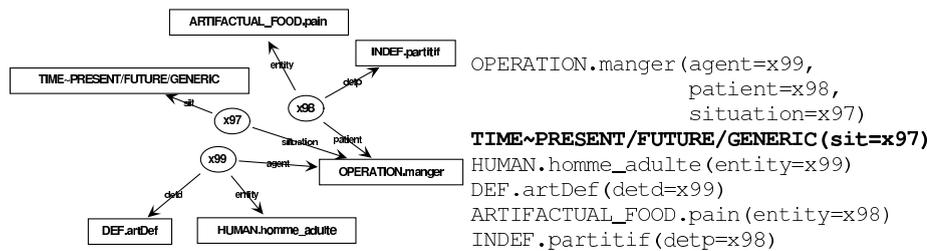


FIG. 6 – graphe sémantique sous spécifié

En ajoutant une information qui permet de déduire le temps sémantique (*l'homme mange du pain demain*) on obtiendrait un résultat de temps sémantique non ambigu avec un seul prédicat temporel TIME~FUTURE (sit=x97) (voir figure 7). Dans les deux cas, l'aspect n'est pas représenté dans le graphe, puisque le Présent du français ne détermine pas l'aspect.

Comme expliqué ci-dessus, les combinaisons d'aspect, temps sémantique et Aktionsarten peuvent entraîner des réinterprétations. Un ensemble de règles de réinterprétation nous permet de prendre en compte de telles modifications. C'est ici que les durées des évènements ainsi que le recouvrement partiel ou total doivent être pris en compte, car

¹⁵Les '/' du nom de prédicat TIME~PRESENT/FUTURE/GENERIC expriment l'ambiguïté non résolue.

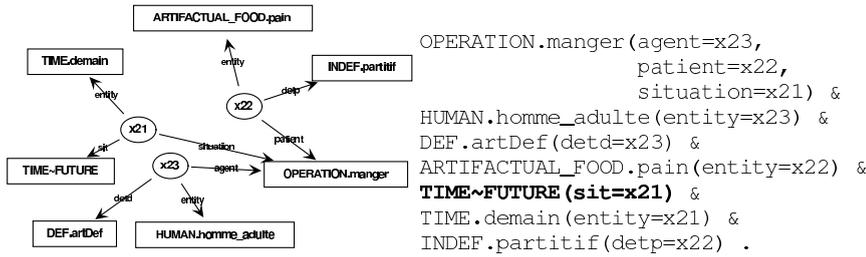


FIG. 7 – graphe sémantique avec temps sémantique non-ambiguë

une coordination temporelle des évènements n'est possible qu'en fonction de la sémantique lexicale. Cela sort des limites du présent article.

4 Conclusion et perspectives

L'analyse du temps sémantique et de l'aspect permet de reconstituer la temporalité des évènements d'un texte afin d'obtenir une représentation sémantique complète, et sans être limité à la phrase. L'approche choisie présente plusieurs avantages. D'abord elle distingue bien entre forme (temps grammaticaux, etc.) et fonctions (temps sémantiques, aspect, etc.) pour créer une représentation sémantique qui est indépendante de la langue analysée. Cela nous amène à un autre avantage qui se manifeste dans le cas de la traduction automatique : l'approche choisie évite par exemple la mauvaise traduction de *j'ai mangé* vers *I have eaten*, résultant d'une identification des formes morphologiques (ici: pronom + auxiliaire + participe). Dans une autre étape prévue, l'intégration des expressions temporelles relatives et absolues comme *à treize heures* ou *lundi dans deux semaines* ainsi que *le 18 janvier 2005* et les Aktionsarten permettra de constituer la coordination temporelle des évènements sur l'axe de temps : en position absolue, en relation avec le temps de l'énoncé (M, le « maintenant » = le S de Reichenbach) ou encore en relation avec d'autres évènements.

Dans le cadre du web sémantique des traitements linguistiques plus élaborés sont nécessaires. À partir des graphes sémantiques, nous sommes en mesure de créer des représentations ontologiques, i.e. de transformer les graphes dans un langage ontologique (RDFS, CARIN) en utilisant les classes (concepts) et les relations d'une ontologie spécifique. Dans une telle transformation Les variables des graphes sémantiques correspondent aux instances, les prédicats correspondent aux classes, qui sont instanciées (par des variables). Les relations entre les prédicats (c'est à dire les rôles sémantiques) correspondent aux relations ontologiques. On reste donc au niveau assertionnel (la A-Box de la logique de description).

Références

- BÜHLER K. (1990). *Theory of Language*. Amsterdam: John Benjamins.
- COMRIE B. (1976). *Aspect. An introduction into the study of verbal aspect*. Cambridge Textbooks of Linguistics 22. Cambridge: Cambridge University Press.
- COMRIE B. (1981). On Reichenbachs Approach to Tense. In R. A. HENDRYCK, Ed., *Papers of the seventeenth regional meeting of the Chicago Linguistic Society, CLS 17*, p. 24–30. Chicago: CLS.
- DAHL Ö. (1985). *Tense and Aspect Systems*. Oxford: Blackwell.
- DORR B. J. & OLSEN M. B. (1997). Deriving Verbal and Compositional Lexical Aspect for NLP Applications. In *35th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Proceedings of the Conference, Madrid 1997*, p. 153–160: ACL.
- HEGER K. (1963). *Die Bezeichnung temporaldeiktischer Begriffskategorien im französischen und spanischen Konjugationssystem*. Zeitschrift für Romanische Philologie, Beiheft 104. Tübingen: Niemeyer.
- HEGER K. (1967). Temporale Deixis und Vorgangsqualität. *Zeitschrift für Romanische Philologie*, **83**, 513–582.
- HEGER K. (1983). Was ist Definitheit? In M. FAUST, R. HARWEG, W. LEHFELDT & G. WIENOLD, Eds., *Allgemeine Sprachwissenschaft, Sprachtypologie und Textlinguistik. Festschrift für Peter Hartmann*, p. 99–104. Tübingen: Narr.
- HEINECKE J. (1999). *Temporal Deixis in Welsh and Breton*. Anglistische Forschungen 272. Heidelberg: Winter.
- HEINECKE J. (2003). The temporal and aspectual system of English and Welsh. In H. L. TRISTRAM, Ed., *The Celtic Englishes III*, Anglistische Forschungen 234. Heidelberg: Winter.
- HEINECKE J. & TOUMANI F. (2003). A Natural Language Mediation System for E-Commerce applications. An ontology-based approach. In ISWC, Ed., *Proceedings of Workshop Human Language Technology for the Semantic Web and Web Services. International Semantic Web Conference, Sanibel Island, Florida, 20-23 October 2003*, p. 39–50.
- HITZEMAN J., MOENS M. & GROVER C. (1995). Algorithms for Analysing the Temporal Structure of Discourse. In *Seventh Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics. Dublin, March 27-31, 1995*, p. 253–260: EACL.
- KAMP H. & REYLE U. (1993). *From Discourse to Logic. Introduction to Modeltheoretic Semantics of Natural Language, Formal Logic and Discourse Representation Theory*. Studies in Linguistics and Philosophy 42. Dordrecht: Kluwer.
- KLEIN W. (1994). *Time in Language*. London: Routledge.
- REICHENBACH H. (1947). *Elements of Symbolic Logic*. New York: MacMillan, The Free Press.
- SAUSSURE F. D. (1967). *Cours de linguistique générale. Édition critique par Rudolf Engler*. Wiesbaden: Harrassowitz.
- VENDLER Z. (1967). *Linguistics in Philosophy*. Ithaca, New York: Cornell University Press.
- WEBBER B. L. (1988). Special Issue on Tense and Aspect. *Computational Linguistics*, **14:2**.

Une représentation spatio-temporelle de l'environnement pour le Transport A la Demande

Mahdi Zargayouna^{1,2}

¹Lamsade

Université Paris-Dauphine
zargayou@lamsade.dauphine.fr

²Gretia

Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité
zargayou@inrets.fr

Résumé : Dans cet article, nous proposons un modèle de représentation du temps et de l'espace, pour l'exploitation de véhicules dans un système de transport à la demande (TAD). Notre proposition s'appuie sur une modélisation particulière de l'environnement dans un système multi-agent (SMA). Il s'agit de limiter, pour une demande de service de transport donnée, les agents récepteurs potentiels, suivant leurs « zones hypothétiques de déplacement futur ». Nous montrons dans cet article que notre modèle répond à la problématique du domaine en permettant aux agents véhicules concernés par une demande de calculer des offres suivant une heuristique minimisant la perte de couverture géographique par les véhicules, rendue possible grâce à la structure retenue de l'environnement.

Mots-clés : systèmes multi-agent, transport à la demande, écoute flottante, représentation spatio-temporelle, théorie des graphes.

1 Introduction

Le transport à la demande (TAD) concerne l'activité de transporter des personnes ou des marchandises entre des origines et des destinations spécifiées par des requêtes utilisateurs. Ainsi, le TAD tente de résoudre la difficile équation entre le besoin en mobilité des usagers en perpétuelle évolution et l'impératif d'efficacité et de rentabilité des systèmes de transport, qui passe par l'établissement d'une offre plus ou moins régulière afin de pouvoir planifier les coûts engendrés. La majorité des problèmes de TAD sont caractérisés par la présence de trois objectifs conflictuels : maximiser le nombre de requêtes satisfaites, minimiser les coûts opérationnels et minimiser le désagrément des utilisateurs en terme de temps d'attente et de détours par rapport au chemin direct. Les coûts opérationnels sont liés au nombre de véhicules utilisés, à la durée totale des itinéraires et à la distance totale parcourue par les véhicules (Cordeau et al., 2004). Si l'importance de la dimension espace dans les systèmes de transport est évidente, la dimension temps l'est au moins autant. En effet, les systèmes de TAD sont catégorisés en systèmes statiques et dynamiques. Dans le premier cas, toutes les requêtes des utilisateurs sont connues à l'avance alors que dans

le second, les requêtes sont reçues d'une manière dynamique et les itinéraires des véhicules peuvent être ajustés en temps réel pour satisfaire la demande. Dans ce papier, nous focalisons notre attention sur le problème dynamique, appelé VRPPDTW (*Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery with Time Windows*). Dans ce qui suit, nous suivons le plan suivant : d'abord, nous définissons les données du problème que nous traitons, ensuite nous présentons notre approche avant de proposer des perspectives à notre travail.

2 Données du problème

L'environnement d'un système de transport est essentiellement le réseau routier dans lequel évoluent ses différents acteurs (véhicules, conducteurs, voyageurs...). Pour sa représentation, nous utilisons les conventions standard de la théorie des graphes. Ainsi le réseau est réduit à un graphe $G(N, a)$ avec un ensemble d'arcs a et de nœuds N . Etant donné que différents niveaux de détails sont envisageables, plusieurs représentations sont possibles. Néanmoins, et comme le note l'auteur dans (Diana, 2002), la granularité de la représentation est non pertinente dans notre problème, du moment que ces conditions sont satisfaites :

- 1) il existe un nœud du graphe qui peut être associé à chaque point de départ ainsi qu'à chaque point d'arrivée d'une requête utilisateur ;
- 2) le graphe est connexe.

Chaque utilisateur exprime une requête en désignant un point de départ et un point d'arrivée désirés, ainsi qu'une fenêtre temporelle (intervalle de temps) dans laquelle il désire être desservi. Dans notre approche, la définition des fenêtres temporelles se fait comme suit : l'utilisateur est prié de spécifier deux informations :

- l'instant à partir duquel il peut être au niveau de son point de départ (PTT) ;
- l'instant où il désire être à son point d'arrivée, au plus tard (PTD)

Nous notons TD (Temps Direct) le temps nécessaire pour aller du point de départ au point d'arrivée en empruntant le plus court chemin.

La fenêtre temporelle de la requête k est calculée ainsi :

$$\text{Au point de départ : } \textit{fen\^etre} = [PTT_k, PTT_k + \alpha_k]$$

$$\text{Au point d'arrivée : } \textit{fen\^etre} = [PTD_k - \alpha_k, PTD_k]$$

Avec $\alpha_k = PTD_k - (TD_k + PTT_k)$ la largeur de la fenêtre temporelle de la requête k .

3 Notre approche

Notre proposition est un système multi-agent. Nous concentrons notre présentation sur les agents suivants : *Véhicule*, *Interface* et *Client*. Voici le scénario d'exécution : un utilisateur se connecte au système via n'importe quel support (centrale d'appel, serveur Web, serveur Wap etc...), un agent *Client* le représentant est créé. Sa tâche sera de représenter le voyageur au sein du système. L'utilisateur

spécifie son point de départ, son point d'arrivée ainsi que les temps correspondants comme spécifié plus haut. L'agent *Client* entre alors en interaction avec l'agent appelé *Interface*. Si les fenêtres temporelles sont incorrectes, l'agent *Interface* le notifie à l'agent *Client*. Sinon, l'agent *Interface* dépose la demande de l'utilisateur dans l'environnement, nous présentons la modélisation retenue de l'environnement dans la section suivante.

3.1 La modélisation de l'environnement

Notre objectif lors de la modélisation de l'environnement est de restreindre la réception des requêtes utilisateurs aux véhicules pouvant effectivement satisfaire une requête. Ceci suppose un prétraitement des requêtes avant leur soumission aux agents concernés. Il s'agit en outre, dans un contexte où les agents s'engagent dynamiquement et d'une manière opportuniste pour des services, de savoir si, à un instant donné, leur situation permet de satisfaire une requête donnée. Ceci ne peut être accompli par un agent particulier à la manière des agents intermédiaires (Sycara & Wong, 2000) (on pourrait penser à l'agent *Interface* ici) car le traitement est trop lourd dans un contexte fortement dynamique et l'efficacité du système décroîtrait très rapidement. La solution serait par conséquent de décentraliser l'interaction, mais de pouvoir néanmoins effectuer un prétraitement sur les requêtes en provenance des agents *Clients*. L'agent *Interface* n'aurait pas à maintenir des accointances, et cependant ne diffuse pas ses requêtes à tous les agents. Un concept justement permet de satisfaire à un tel impératif : celui de *l'écoute flottante*. Dans (Balbo & Zargayouna, 2004), où l'objectif est de mettre en place un système d'information de voyageurs en temps réel, il est montré que l'utilisation l'écoute flottante dans la modélisation de l'environnement est un facteur important du fonctionnement et de l'efficacité de l'interaction, car l'intérêt d'un agent est contrôlé et mis à jour par celui-ci et l'émetteur d'un message n'a pas à connaître le contexte interactionnel du(des) récepteur(s) afin d'adresser un message. Dans ce contexte, l'environnement n'est pas un tableau noir où les agents viennent chercher les informations qui les concernent, mais une structure active se chargeant d'adresser les messages vers les agents concernés d'une manière asynchrone et sans sollicitation ponctuelle de leur part. Nous reprenons l'idée générale de l'environnement comme un canal de diffusion des informations, partagé par tous les agents ; cependant, nous en faisons un autre usage. En effet, la composante temporelle dans ce travail est une notion enfuie dans la sémantique associée au message, alors que dans notre contexte où le temps et l'espace sont les critères même de la réception ou non d'un message, nous ne pouvons donc pas nous contenter de la représentation proposée.

Notre proposition repose sur une structure commune à tous les agents véhicules, dans laquelle ils peuvent spécifier leur intérêt pour une sous-classe de requêtes utilisateurs. Nous avons dit que le réseau routier est modélisé sous forme d'un graphe $G(N, a)$. Dans le cadre de notre représentation, nous dupliquons ce graphe T fois, où chaque copie représente l'état du graphe à un instant donné (voir Fig. 1). Notons G_t la copie du graphe à l'instant t . Un véhicule v se trouvant au niveau d'un nœud i à l'instant t met un écouteur sur le nœud i du graphe G_t . Un

écouteur au niveau d'un nœud est un dispositif permettant à un agent d'être notifié des évènements survenant au niveau de ce nœud, ici les évènements sont les requêtes utilisateur. Dès le dépôt de l'écouteur à son niveau, le nœud i se charge de déposer des écouteurs, pour le compte du véhicule v , sur ses successeurs dans le graphe, si un écouteur du véhicule v n'y a pas été déjà déposé. Notons $d(i, j)$ le temps nécessaire pour se déplacer du nœud i au nœud j . La propagation se fait comme suit :

```

Programme déposerEcouteur (nœud  $i$ , véhicule  $v$ , graphe  $G$ )
  Pour tout nœud  $l \in \text{successeur}(i)$  faire
    Si ( !existEcouteur( $v, l, G_{t+d(i,l)}$ ) ) alors
      déposerEcouteur ( $l, v, G_{t+d(i,l)}$ )

```

Ainsi, un écouteur du véhicule v au niveau d'un nœud i d'un graphe G_t signifie que le véhicule v est susceptible d'être au niveau du nœud i à l'instant t et qu'il est par conséquent intéressé par les évènements survenant au niveau de ce nœud. L'ensemble des nœuds sur lesquels un agent *Véhicule* aura déposé ses écouteurs représente sa « zone de couverture » i.e. l'ensemble des nœuds qu'il couvre, sa zone de déplacement potentiel futur.

Lors de la réception d'une requête utilisateur, le graphe n'est pas reconfiguré, il s'agit seulement d'un positionnement de l'évènement « requête » sur le nœud correspondant. Il s'agit d'un positionnement spatio-temporel : temporellement (quel version du graphe ?) et spatialement (quel nœud ?). Ainsi, l'agent *Interface* dépose la requête $k = (o, d, [PTT_k, PTT_k + \alpha_k], [PTD_k - \alpha_k, PTD_k])$ comme suit (o étant le nœud origine, d le nœud destination et α_k la largeur de la fenêtre temporelle comme décrite dans les données du problème) :

```

Pour  $t \in [PTT_k .. PTT_k + \alpha_k]$  faire
  déposerRequête ( $k, o, G_t$ )

Pour  $t \in [PTD_k - \alpha_k .. PTD_k]$  faire
  déposerRequête ( $k, d, G_t$ )

```

Seuls les véhicules concernés par cette requête seront notifiés i.e. ceux dont la sphère de faisabilité (zone de couverture) comporte ces nœuds. Notons qu'à un instant donné, certains nœuds ne sont couverts par aucun écouteur, ceci signifie que ces nœuds ne peuvent être desservis par aucun véhicule à cet instant ; si une requête concernant ces nœuds est reçue, avec une fenêtre temporelle non couverte par aucun véhicule, nous n'avons pas besoin d'entrer en interaction avec les agents *Véhicule* pour juger sa faisabilité et cette première est renvoyée directement à l'agent *Client* correspondant via l'agent *Interface* : la requête est non satisfaisable, il faut revoir les marges temporelles.

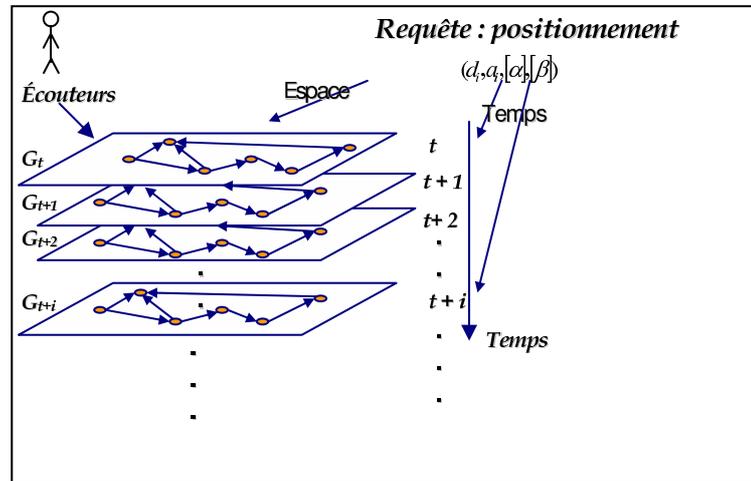


Fig. 1 – Représentation de l'environnement

Lors de la réception d'une requête, chaque agent *Véhicule* concerné propose une offre. Pour ce faire, il essaie d'insérer la requête dans son planning courant et met à jour –temporairement- sa zone de couverture i.e. il élimine ses écouteurs des nœuds qu'il ne peut désormais plus desservir s'il avait à contracter cette demande. L'ensemble des offres est renvoyé à l'agent Interface qui désignera un *Véhicule* devant satisfaire la demande, et ce selon une heuristique d'insertion, que nous présentons dans ce qui suit. Une offre est une proposition du véhicule de prendre en charge un client, avec un coût associé.

3.2 L'heuristique d'insertion

Une majorité des travaux sur le problème de tournées de véhicules et ses variantes se concentre sur les heuristiques d'insertion des requêtes au niveau des véhicules (Salomon, 1987) (Liu & Chen, 1999). L'heuristique la plus évidente est celle utilisée dans les problèmes statiques, il s'agit d'insérer la requête au niveau d'un véhicule d'une manière qui minimise l'accroissement de la fonction objective. Pour le problème dynamique, cette heuristique est non pertinente, puisque l'arrivée de nouvelles requêtes pendant l'ordonnancement fait que le choix effectué précédemment s'avère sous optimal, un ré-ordonnancement devient donc nécessaire, ce qui rend le calcul en temps réel non réaliste. Un grand nombre de recherches tente donc de trouver des heuristiques qui permettent de sauvegarder, sans remise en question ultérieure, le plus de possibilités d'insertions futures à moindre coût. Notons par exemple l'utilisation de l'heuristique de « regret » qui mesure le prix potentiel à payer si une certaine requête n'était pas insérée immédiatement (Diana, 2002).

Dans notre approche, et grâce au modèle de représentation de l'environnement choisi, nous disposons d'une heuristique qui tend vers le même objectif. Chaque véhicule, afin d'insérer une requête dans sa tournée, perd un certain nombre de nœuds de sa zone de couverture. Le véhicule retenu pour la desserte d'une demande de transport à la demande est celui dont l'insertion fait perdre le moins de nœuds. Ceci revient à dire que le véhicule qui insérera la requête dans son planning sera celui

qui dérogera le moins à son plan courant, offrant ainsi plus de chances aux nœuds d'être couverts par le maximum de véhicules et par conséquent au maximum de requêtes susceptibles d'être acceptées dans le futur.

4 Perspectives

Dans ce papier, nous proposons un modèle de représentation de l'environnement prenant en compte l'aspect spatio-temporel d'un réseau de transport à la demande. Nous avons vu que notre modèle offre la possibilité de filtrer les requêtes utilisateurs et cible les agents véhicules pouvant satisfaire la demande d'un voyageur. Notre approche permet aussi d'avoir une heuristique d'insertion des requêtes utilisateurs qui répond à la problématique des problèmes dynamiques, en permettant d'avoir le maximum de possibilités d'insertions futures de requêtes utilisateurs.

Les perspectives de notre travail sont de bénéficier de ce modèle afin d'intégrer la possibilité de gérer des correspondances (au sens du transport) entre différents véhicules, rejoignant le principe de formation de coalitions dans le paradigme agent ; et dans le même ordre d'idées d'intégrer la gestion mutuelle d'un même réseau par un service de transport en commun et d'un service de transport à la demande, qui est une caractéristique primordiale pour l'évaluation d'un service de transport à la demande (Certu, 2002). En effet, notre modèle permet de représenter un véhicule appartenant à un service de transport régulier, ce dernier déposant ses écouteurs sur les nœuds qu'il compte parcourir selon son tableau horaire.

Références

- BALBO F. & ZARGAYOUNA M. (2004): Serveur Agent d'Information : application à l'information des voyageurs, *Actes du XXIIIème Congrès INFORSID (INFORSID'2004)*, p. 249-265, Biarritz.
- CERTU. (2002) Systèmes de transport à la demande : enquête sur les caractéristiques et les modes d'exploitation, Rapport d'étude, *Ministère de l'équipement, des transports et du logement*.
- CORDEAU J-F. & LAPORTE G. & POTVIN J-Y. & SAVELSBERG M.W.P. (2004). Transportation on demand, *Centre de Recherche sur les transports (CRT)*, Montréal.
- DIANA M. (2002). Methodologies for the tactical and strategic design of large-scale advance-request and real-time demand responsive transit services. Thèse de doctorat, *Polytechnico di Torino, Dipartimento di Idraulica, Transporti e Infrastrutture*, Turin.
- LIU F.H. & SHEN S.Y. (1999) A route-neighborhood-based metaheuristic for vehicle routing problem with time windows, *European Journal of Operational Research* 118, p. 485-504.
- SOLOMON M.M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time windows constraints, *Operations Research* 35, p. 254-265.
- SYCARA K.& WONG H.-C. (2000) A taxonomy of middle-agents for the Internet, *Proceedings of the Fourth International Conference on MultiAgent Systems*, Robotics Institute Carnegie Mellon, p. 465-466.

Raisonnement temporel et annotation chronologique

Tiphaine Accary-Barbier, Sylvie Calabretto

LIRIS UMR CNRS 5205, INSA de Lyon
Bat. Blaise Pascal 7, avenue Jean Capelle
69621 Villeurbanne cedex, France
tiphaine.accary@liris.cnrs.fr,
www: <http://liris.cnrs.fr/taccary>

Résumé : Les relations proposées par l'algèbre d'intervalles de Allen [Allen, 1983] sont particulièrement intéressantes dans le cadre de l'annotation historique des documents [Accary *et al.*, 2004]. Il a été prouvé [Vilain & Kautz, 1986, Vilain *et al.*, 1989] que les problèmes de recherche des relations possibles et d'évaluation de scénarios cohérents sont NP-complets pour les réseaux d'intervalles. Plusieurs travaux proposent cependant des algorithmes efficaces pour résoudre ces problèmes dans le cadre des réseaux d'instant (algèbre de points) et, par extension, pour une sous-classe particulière de l'algèbre d'intervalles. Cependant, les relations utilisées dans ces modèles (composées de disjonctions de relations basiques) présentent l'inconvénient de n'être pas intuitives pour l'annotateur humain. Nous proposons donc dans cet article un nouvel ensemble de relations concrètes proposées pour l'annotation et nous formaliserons cet ensemble en terme d'algèbre temporelle. Nous montrerons également comment notre modèle peut être combiné avec les modèles préexistants afin d'allier efficacité computationnelle et pertinence de l'information.

Mots-clés : Relations temporelles, Annotation historique, Propagation de contraintes.

1 Annotation et raisonnement temporels

Lorsqu'un lecteur annote des informations temporelles concernant les documents qu'il lit, il construit implicitement son propre modèle temporel. Cette activité est une résultante des capacités de raisonnement du lecteur face à l'intégration de documents multiples. Cependant, ce modèle n'est pas complet car le lecteur peut se permettre de n'exprimer que partiellement les relations entre les événements. Grâce à ses facultés de déduction, il lui est facile de reconstruire les informations manquantes. Ainsi, lorsqu'il annotera que l'événement e_1 s'est produit pendant un événement e_2 et que, par ailleurs l'événement e_2 a eu lieu avant un événement e_3 , il est implicite que e_1 a également eu lieu avant e_3 .

Les informations temporelles issues de l'annotation historique sont presque exclusivement qualitatives. Lorsqu'on va annoter que "la construction du forum de Lugdunum s'est effectuée pendant la période romaine", on n'indique aucune information quantitative telle qu'une date ou une durée. La seule information fournie par cette annotation est qualitative et concerne la position relative des deux événements. L'algèbre d'intervalles de Allen [Allen, 1983], qui permet d'exprimer de telles relations est actuellement très employée dans les domaines tels que l'analyse linguistique [Allen, 1984], la planification, ou la représentation des connaissances [Euzenat & Bessière, 1997, Haton *et al.*, 1991].

L'utilisation de graphes basés sur l'algèbre d'intervalles est particulièrement adaptée pour l'annotation temporelle. Tout d'abord, les relations proposées possèdent une sémantique très claire. Ensuite, de nombreux travaux ont été effectués sur les inférences de contraintes. Enfin, la recherche de relations possibles entre tous les événements du graphe, rendue possible grâce aux règles déductives des connaissances temporelles, est un moyen pratique de pallier les manques de l'annotation humaine. Par le biais d'algorithmes qui saturent le réseau de contraintes, il est possible de dériver et de compléter les informations sur les noeuds étiquetés par I ou par des relations très fortement disjonctives. Ces méthodes permettent également de détecter des incohérences dans les annotations.

Vilain et Kautz [Vilain & Kautz, 1986, Vilain *et al.*, 1989] ont prouvé que les opérations de recherches des scénarios cohérents et des relations possibles étaient des problèmes NP-complet dans le cadre de l'algèbre d'intervalles. Ils proposent donc une sous-classe de l'algèbre d'intervalles, notée SA , constituée des relations de l'algèbre d'intervalles qui peuvent être traduites en relations d'algèbre de points PA sans perte d'information. Plusieurs auteurs, tels que Van Beek [Van Beek, 1992] fournissent des algorithmes efficaces pour effectuer les tâches de raisonnement courant sur cet ensemble de relations.

En représentant chaque intervalle par ses bornes et en utilisant ce modèle intermédiaire, on peut donc aisément évincer les problèmes de complexité liés à la manipulation d'intervalles. Cependant, cet ensemble de relations proposés ne semble pas adapté pour une utilisation dans le cadre de l'annotation historique. Tout d'abord, les relations basiques proposées dans le modèle sont trop "simples" pour correspondre aux scénarios temporels qu'on veut annoter. L'utilisation de disjonctions sur les relations permet de pallier ce défaut, mais ce processus n'est pas assez intuitif pour être employé directement. Ensuite, le modèle n'est pas prévu pour prendre en compte les instants. Hors, si l'information est globalement qualitative, il peut tout de même arriver qu'on veuille exprimer de l'information quantitative.

Nous proposons dans cet article un nouvel ensemble de relations dédiés à l'annotation temporelle. Après avoir explicité le modèle (section 2), nous montrerons brièvement comment l'implémentation de ces relations peut être faite ainsi que des exemples pratiques de leur utilisation. Dans la section 3, nous montrerons comment notre modèle peut être combiné aux modèles préexistants afin d'allier leur efficacité computationnelle et la pertinence d'information de nos relations. En conclusion nous présenterons rapidement nos pistes de recherche actuelles.

2 Nouveau modèle pour l'annotation temporelle

Il est impensable de laisser un utilisateur humain (expert ou non) n'utiliser que les relations basiques des modèles précédemment décrits. Ces relations ont une signification trop précise et obligerait l'annotateur à utiliser des notations disjonctives pour exprimer des données incomplètes, ce qui l'écarterait de son mode de pensée courant. Cependant, nous avons tout de même besoin de relations avec une sémantique forte. De plus, nos relations gagneraient à pouvoir être reliées à un modèle temporel connu afin de pouvoir bénéficier des résultats de travaux antérieurs sur la propagation de contraintes temporelles.

2.1 Choix de relations incomplètes pour l'annotation

Il convient tout d'abord de faire le point sur ce qui peut, ou non, être exprimé avec les relations existantes, afin de trouver quelles nouvelles relations sont nécessaires pour l'annotation. Les relations d'Allen permettent déjà d'exprimer tous les scénarios temporels dans lesquels les relations entre les bornes des événements sont connues. Lorsque aucune information n'est connue, le modèle répond également parfaitement aux besoins, puisque la relation *no_info*, qui masque la disjonction de toutes les relations possibles, permet d'exprimer ce vide d'information. Cependant, dès lors qu'on n'a qu'une connaissance incomplète du positionnement relatif des événements, l'utilisation des disjonction devient nécessaire. Cette pratique n'est pas du tout intuitive lors de la phase d'annotation : elle est lourde à mettre en oeuvre et très contraignante pour l'utilisateur. La solution est alors de fournir directement à l'annotateur un ensemble de relations "incomplètes" ou pré-disjonctives. Pour choisir ces relations, il faut s'intéresser aux besoins récurrents en annotation historique. Dans le cadre de l'annotation chronologique, nous avons ainsi pu définir un ensemble restreint de relations correspondant à ces scénarios courants.

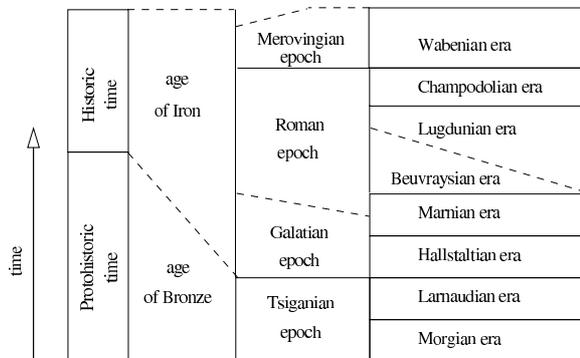


FIG. 1 – Chronologie des époques préhistoriques.

Prenons l'exemple concret d'une annotation de chronologie en archéologie. La chronologie préhistorique de la figure 1 représente un cas typique des scénarios

qu'on va rencontrer lors de l'annotation. Sur cette représentation, on peut remarquer plusieurs zones d'incertitude quant aux bornes des événements décrits. Pour rester concis, nous noterons désormais les événements par leurs initiales (AI = Age of Iron).

Il est possible de décrire certaines parties de cette chronologie avec les relations de Allen. On peut par exemple exprimer que *Halstattian era meets Marnian era*. Cependant, la plus grande partie des informations sont mal définies. Si on compare *age of Iron* avec *Protohistoric time*, la seule information dont on dispose est que le point de départ de *AI* à lieu pendant *PT*. Pour annoter ce scénario, nous avons défini la relation *AI begin_in PT*. De la même manière, lorsqu'on observe les positions de *Galatian epoch* et de *Marnian era*, la seule information concrète qu'on a est que *GE* se termine durant *MaE* (*GE end_in MaE*).

Un autre scénario particulièrement intéressant est celui décrit par les événements *Tsiganian epoch* et *age of Bronze*. On remarque que *TE* est entièrement inclus dans *AB* mais on ne dispose d'aucune information plus fine sur le positionnement des bornes de *AB*. *TE* peut être égal, pendant, au début ou à la fin de *AB*. On notera ce scénario avec la relation *TE fuzzy_during AB*. Enfin, cette chronologie exprime une incertitude quant à l'existence de l'ère Beuvreysienne. Ceci entraîne que *Marnian era* peut être avant ou toucher *Lugdunian era*. Pour exprimer cela, on utilise alors la relation *MaE fuzzy_before LE*.

Ce type d'observation nous a permis de définir un ensemble de relations incomplètes représentant ces scénarios courants. Le tableau 1 présente les neuf relations de notre ensemble pour l'annotation historique et leur expression en terme de relations entre les bornes des événements.

Relation d'annotation	positionnement des bornes			
	A^-B^-	A^-B^+	A^+B^-	A^+B^+
fuzzy_before	<	<	≤	<
fuzzy_during	≥	<	>	≤
common_begin	=	<	>	?
common_end	?	<	>	=
begin_in	≥	≤	>	?
end_in	?	<	≥	≤
begin_before	<	<	?	?
first_to_end	?	<	?	≤
common_period	?	≤	≥	?

TAB. 1 – Ensemble des relations incomplètes pour l'annotation temporelle et leur correspondance en terme de relations entre les bornes.

Si nos précédents travaux nous ont conduits à développer ce modèle dans le cadre de l'annotation des documents archéologiques, ces relations ne sont pas pour autant dédiées à ce domaine. Prenons l'exemple décrit dans le texte de la figure 2. Les relations temporelles entre les événements décrits sont assez imprécises et même, parfois, ambiguës.

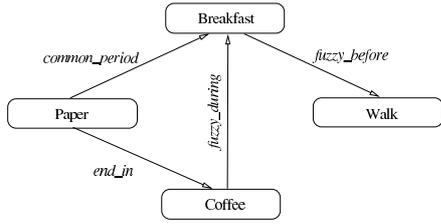


FIG. 2 – Description textuelle : *Fred lisait le journal tout en prenant son petit déjeuner. Il reposa son journal et bu le reste de son café. Après le petit déjeuner il partit se promener.*

La première phrase nous informe que l'intervalle de temps pendant lequel Fred à lu son journal et celui pendant lequel il à pris son petit déjeuner ont eu une partie commune. Pour représenter ce positionnement, nous avons choisi d'utiliser la relation *Paper common_period Breakfast*. Cette relation a un sens un peu plus large que celle réellement décrite, puisque elle introduit la possibilité fautive que la période commune soit restreinte à un instant. Cependant, ce type d'ajout de "mé-connaissance" ne pénalise pas le système et est rapidement compensé par la propagation de contraintes. La seconde phrase nous fournit uniquement le positionnement de certaines bornes des intervalles où Fred lit son journal et boit son café. On peut exprimer cette situation par la relation *Paper end_in Coffee*.

Même si cela n'apparaît pas dans le texte, l'annotateur sait, par habitude, que le café est une partie du petit déjeuner. Il peut donc en inférer une relation de contenance entre ces deux événements. Par contre il n'a aucun moyen de savoir si Fred prend seulement un café comme petit déjeuner, ou sinon, à quel moment il prend son café par rapport au reste de son déjeuner. Le positionnement temporel entre ces deux événement s'exprime donc par *Coffee fuzzy_during Breakfast*.

Enfin, la dernière phrase nous informe que Fred a fait une promenade après le petit déjeuner. Cette promenade peut avoir eu lieu immédiatement après le déjeuner ou plus tard dans la journée. Il faut donc utiliser la relation *Breakfast fuzzy_before Walk* pour décrire ce positionnement.

La figure 2 montre le graphe des relations ainsi obtenues. Le système va alors pouvoir convertir ces relations en terme de relations entre les bornes et appliquer la propagation de contraintes.

2.2 Codage du graphe obtenu

Par convention, nous noterons I les intervalles correspondants aux événements et R les relations entre ces intervalles. Le graphe des événements i, j , et k sera représenté par

$$I_i \xrightarrow{R_{i,j}} I_j \xrightarrow{R_{j,k}} I_k$$

Pour stocker un graphe de n événements, nous utilisons un tableau de dimension n^2 . Chaque cellule sert à stocker la matrice des relations entre les bornes

inférieures et supérieures des événements I_i and I_j . Le calcul des relations manquantes sur le graphe se fait grâce au produit des matrices concernées : la matrice $M_{i,k}$ est le résultat de $M_{i,j} \times M_{j,k}$. Il est alors possible d'utiliser les algorithmes courants des réseaux PA pour propager les contraintes et compléter le graphe. Soit $M_{i,k}$ la matrice dont les composants sont les inverses de ceux de la matrice $M_{i,k}$. On peut obtenir rapidement $M_{k,i}$ en transposant $M_{i,k}$. Cela permet de diviser par deux le temps de traitement de la propagation.

Prenons l'exemple du graphe issu de la description temporelle de la figure 2. Soit $M_{C,W}$ la matrice des bornes entre les événements *Coffee* (C) et *Walk* (W). On va stocker le graphe des relations traduites en terme de relations entre bornes dans le tableau 2. $M_{C,W}$ résulte du produit de $M_{C,B}$ et de $M_{B,W}$

$$M_{C,B} \times M_{B,W} \iff \begin{pmatrix} \geq & < \\ > & \leq \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} < & < \\ \leq & < \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{donne}} \begin{pmatrix} < & < \\ \leq & < \end{pmatrix} \iff M_{C,W}$$

Ce résultat peut alors être comparé aux valeurs déjà stockées dans la table pour cette même relation. Si le résultat calculé correspond à celui déjà connu ou qu'il le précise, on va remplacer l'ancien résultat par le nouveau. Sinon, on va signaler à l'utilisateur la présence d'une incohérence dans le graphe. Une fois la propagation effectuée, on va pouvoir re-convertir les matrices de points stockées dans le tableau en terme de relations incomplètes. Dans notre exemple, la matrice $M_{C,W}$ calculée va être retranscrite en *Coffee fuzzy_before Walk*.

	B^-B^+	W^-W^+	P^-P^+	C^-C^+
B^-	$\begin{pmatrix} = & < \\ > & = \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} < & < \\ < & < \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} ? & \leq \\ \geq & ? \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \leq & < \\ > & \geq \end{pmatrix}$
B^+	$\begin{pmatrix} > & = \\ > & > \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} < & < \\ = & < \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \geq & ? \\ > & ? \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} > & \geq \\ > & > \end{pmatrix}$
W^-	$\begin{pmatrix} > & \geq \\ > & > \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} = & < \\ > & = \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \geq & ? \\ > & ? \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} > & \geq \\ > & > \end{pmatrix}$
W^+	$\begin{pmatrix} > & \geq \\ > & > \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} = & < \\ > & = \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \geq & ? \\ > & ? \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} > & \geq \\ > & > \end{pmatrix}$
P^-	$\begin{pmatrix} ? & \leq \\ \geq & ? \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \leq & < \\ ? & ? \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} = & < \\ > & = \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} ? & < \\ \geq & < \end{pmatrix}$
P^+	$\begin{pmatrix} ? & \leq \\ \geq & ? \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \leq & < \\ ? & ? \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} = & < \\ > & = \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} ? & < \\ \geq & < \end{pmatrix}$
C^-	$\begin{pmatrix} \geq & < \\ > & \leq \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} < & < \\ \leq & < \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} ? & \leq \\ > & ? \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} = & < \\ > & = \end{pmatrix}$
C^+	$\begin{pmatrix} \geq & < \\ > & \leq \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} < & < \\ \leq & < \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} ? & \leq \\ > & ? \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} = & < \\ > & = \end{pmatrix}$

TAB. 2 – Stockage des matrices de relations entre bornes du graphe de la figure 2. Les cellules grises sont celles issues de l'annotation, les autres proviennent de la propagation.

3 Extraction de la connaissance

Il est important de discerner l'information contenue au niveau informatique qui concerne les positions des bornes et qui n'est pas interprétable pour l'utilisateur, et la connaissance contenue au niveau de l'annotation. Tout l'intérêt de notre système est de retourner le résultat de la propagation, non pas en terme de relations entre les bornes, mais dans un langage compréhensible. Le mieux étant

d'adopter pour l'affichage du résultat le même ensemble de relations que lors de l'annotation (nous appelons cet ensemble F).

F est un sous-ensemble de des relations SA_c . Les matrices de relations entre points issues de la propagation utilisent les relations de PA_c . Il existe donc une bijection entre chacune de ces matrices et celles de SA_c . Pour renvoyer à l'annotateur un graphe muni exclusivement de relations de F , il faut passer par une étape de "simplification" dans laquelle chaque relation de $SA_c - (SA_c \cap F)$ est apparentée à une relation de F . Cette étape de classification entraîne parfois une perte de précision sur l'information retournée. Mais seule l'information retournée à l'instant t peut être affectée par cette perte car le graphe en sous-couche est toujours exprimé en relations entre bornes. Ainsi, l'information contenue dans le graphe de propagation reste toujours complète et celle retournée à l'utilisateur est néanmoins "sensée"¹. Ce "défaut" du modèle est donc un avantage pour la perception de l'utilisateur.

Reprenons l'exemple du tableau rapportant la description du petit déjeuner de Fred (table 2). Nous avons vu précédemment que la matrice calculée $M_{C,W}$ pouvait être traduite en termes de relations de F sans perte d'information. Le résultat est différent lors du calcul de $M_{P,W}$ par le produit de $M_{P,B}$ avec $M_{B,W}$.

$$M_{P,B} \times M_{B,W} \iff \begin{pmatrix} ? & \leq \\ \geq & ? \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} < & < \\ \leq & < \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{donne}} \begin{pmatrix} \leq & < \\ ? & ? \end{pmatrix} \iff M_{P,W}$$

Ce résultat ne peut pas être directement converti en relation de F , mais correspond à la relation $I - \{bi, d, oi, mi, f\}$ de l'ensemble SA_c . Dans notre modèle, cette relation appartient à la classe des relations approximées par *no_info*. Dans ce cas-ci, la conversion entraîne donc une perte de précision de l'information. Cette perte n'est cependant pas très significative car les informations perdues ne pouvaient pas être représentée en termes de scénarios temporels. De plus, pendant la propagation, la matrice $M_{P,W}$ est également calculée par le produit de $M_{P,C}$ avec $M_{C,W}$.

$$M_{P,C} \times M_{C,W} \iff \begin{pmatrix} ? & < \\ \geq & \leq \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} < & < \\ \leq & < \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{donne}} \begin{pmatrix} < & < \\ \leq & < \end{pmatrix} \iff M_{P,W}$$

Cette autre matrice est directement traduisible en relation de F : *Paper fuzzy_before Walk*, et le graphe est entièrement renseigné (figure 3).

4 Perspectives

Nous avons présenté, dans cet article, un nouveau modèle des relations temporelles adaptées à la description de la chronologies archéologiques. Ce modèle reste cependant à développer afin d'étendre ces capacités. Tout d'abord, il nous semble important que la détection des incohérences soit accompagnée d'une correction, ou du moins d'un soutien de correction. Nous travaillons également sur

¹ dans le sens où elle véhicule une information concrète.

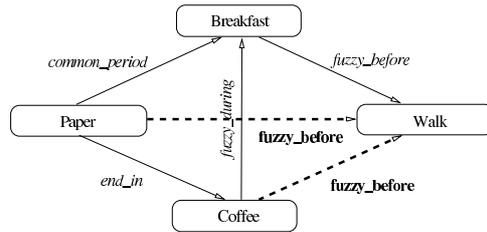


FIG. 3 – Graphe complet renvoyé après reconstruction.

les moyens de calculer rapidement les scénarios chronologiques possibles pour un graphe donné en tenant compte de règles de priorités. Nous projetons également, dans nos travaux futurs, d'échelonner les moyens rendant possible la visualisation des résultats. Nous sommes en effet convaincus qu'avec un mode de représentation adapté, le travail de mise en évidence de nouvelles hypothèses effectué par les chercheurs annotant le corpus pourrait être simplifié.

Références

- [Accary *et al.*, 2004] ACCARY T., BÉNEL A., CALABRETTO S. & IACOVELLA A. (2004). Confrontation de points de vue sur des corpus documentaires : Le cas de la modélisation du temps archéologique. In *Actes du 14ème Congrès Francophone AFRIF-AFIA de Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle [RFIA]*, p. 197–205.
- [Allen, 1983] ALLEN J. F. (1983). Maintaining knowledge about temporal intervals. In *Artificial Intelligence*, 23, p. 832–843.
- [Allen, 1984] ALLEN J. F. (1984). Towards a general theory of action and time. In *Artificial Intelligence*, 23, p. 123–154.
- [Euzenat & Bessière, 1997] EUZENAT J. & BESSIÈRE C. (1997). Dossier raisonnement temporel et spatial. In *Bulletin de l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle*, volume 29, p. 2–13.
- [Haton *et al.*, 1991] HATON J.-P., BOUZID N., CHARPILLET F. & HATON M.-C. (1991). In I. EDITION, Ed., *Le Raisonnement en Intelligence Artificielle : Modèles, techniques et architectures pour les systèmes à bases de connaissances*, p. 183–229.
- [Van Beek, 1992] VAN BEEK P. (1992). Reasoning about qualitative temporal information. In *Artificial Intelligence*, 58, p. 297–326.
- [Vilain & Kautz, 1986] VILAIN M. & KAUTZ H. (1986). Constraint propagation algorithms for temporal reasoning. In *Proceedings of the National Conference of the American Association for Artificial Intelligence (AAAI-86)*, Philadelphia, Pa., p. 377–382.
- [Vilain *et al.*, 1989] VILAIN M., KAUTZ H. & VAN BEEK P. (1989). Constraint propagation algorithms for temporal reasoning : A revised report. In MORGAN-KAUFMAN, Ed., *D.S. Weld and J. de Kleer editors, Readings in Qualitative Reasoning about Physical Systems*, p. 373–381.