

# Une représentation granulaire des événements

Khalil BENKOULA

Université des Sciences et de la Technologie  
d'Oran, Institut d'Informatique, B.P. 1505  
El Menouar Oran, Algérie

Mahieddine DJOUDI

Laboratoire SIC-IRCOM CNRS  
Département d'Informatique de l'Université de Poitiers  
France.

## Résumé

James Allen a introduit la logique temporelle basée sur les intervalles et leurs treize relations possibles. L'entité principale de sa théorie est l'intervalle qui peut correspondre à un événement. Cependant, il est souvent nécessaire de représenter les événements sous différents niveaux de détail ou granularités. Une solution au problème de représentation et de raisonnement sur ce type d'assertions temporelles est proposée en définissant une nouvelle classe d'intervalle nommée c-intervalle. Pour se faire, un ensemble de macro relations, qui permettent aussi d'exprimer des relations incomplètes, est introduit. Un formalisme graphique est utilisé pour représenter les assertions temporelles.

Dans cet article, on démontre comment déterminer la consistance de ces assertions temporelles, qui peuvent être incomplètes, dans un graphe incomplet. Cette tâche est effectuée en recherchant dans le graphe des circuits ayant deux noeuds connectés par une des deux relations de précédence. D'où un gain en temps et en espace considérable. Par contre la déduction des assertions temporelles implicites nécessite l'introduction de deux opérations : l'intersection et la composition sur l'ensemble des relations possibles.

## Mots clés :

Intelligence artificielle, Raisonnement temporel, Représentation des connaissances, Intervalle de temps, Raisonnement, Graphe, Événement, Granularité.

## Introduction

En intelligence artificielle le raisonnement temporel a plusieurs applications. Par exemple, en planification l'inconsistance d'un ensemble d'assertions temporelles signifie qu'une action choisie est non appropriée pour un but donné [15]. En prédiction ce type de raisonnement permet de construire sous certaines hypothèses la ou les histoires possibles correspondant à l'évolution possible de l'univers modélisé[11].

James Allen [1] a défini un modèle fondamental pour le raisonnement temporel basé sur le concept d'intervalle. Dans lequel, la position relative de deux intervalles de temps est exprimée par treize relations mutuellement exclusives (voir table 1); leur ensemble est nommé  $A_{13}$ .

Relation	Relation inverse	Interprétation
$I_1$ avant ( $<$ ) $I_2$	après ( $>$ )	$\frac{I_1}{\quad} \quad \frac{I_2}{\quad}$
$I_1$ touche ( $m$ ) $I_2$	touché-par ( $m^{-1}$ )	$\frac{I_1}{\quad} \quad \frac{I_2}{\quad}$
$I_1$ recouvre ( $o$ ) $I_2$	recouvert-par ( $o^{-1}$ )	$\frac{I_1}{\quad} \quad \frac{I_2}{\quad}$
$I_1$ débute ( $s$ ) $I_2$	débuté-par ( $s^{-1}$ )	$\frac{I_1}{\quad} \quad \frac{I_2}{\quad}$
$I_1$ contenu-dans ( $d$ ) $I_2$	contient ( $d^{-1}$ )	$\frac{I_1}{\quad} \quad \frac{I_2}{\quad}$
$I_1$ termine ( $f$ ) $I_2$	terminé-par ( $f^{-1}$ )	$\frac{I_1}{\quad} \quad \frac{I_2}{\quad}$
$I_1$ égale ( $=$ ) $I_2$	égale ( $=$ )	$\frac{I_1}{\quad} \quad \frac{I_2}{\quad}$

Table 1. Les relations de base entre intervalles.

Lorsque les relations temporelles entre les paires d'intervalles sont perçues incomplètes, alors elles sont exprimées par la disjonction de ces treize relations de base. Ce type de relations a été qualifié de grossières par Freska [4]. Dans un tel cadre général de représentation des assertions temporelles, prouver la consistance d'un ensemble de relations temporelles est un problème NP-complet. Vilain et Kautz [14] ont préféré utilisé le concept d'instant comme primitif de représentation. Dans leur approche les points de temps sont reliés par trois relations de base possibles : précède ( $<$ ), coïncide ( $=$ ) et succède ( $>$ ). Un algorithme qui détermine les relations temporelles additionnelles entre les points en  $O(n^4)$  a été proposé par Van Beek[12]. Cet algorithme est cependant complet pour un sous ensemble des relations entre les paires d'intervalles dites relations non disjointes. En effet, elles peuvent être translatées en des relations entre les bornes (i. e points) inférieurs et supérieurs des intervalles.

La représentation basé est générale et formelle. Cependant, les modèles mieux adaptés au type de l'application sont recherchés. En particulier, il est souvent utile et même indispensable de représenter les événements sous différents niveaux de détail ou granularités.

Dans cet article on propose en premier une classe d'intervalle, nommée c-intervalle, en terme de sous intervalle et d'un ensemble de macro relations. Cet ensemble est défini de manière à représenter la granularité temporelle et les relations temporelles incomplètes. Ensuite, on démontre comment déterminer la consistance des relations temporelles dans un graphe incomplet. Enfin, avant de conclure, l'aspect raisonnement est abordé.

## 2. Modèle d'intervalle composé

Structurer hiérarchiquement un domaine est une démarche naturelle pour considérer la même réalité sous plusieurs niveaux de détail. Une telle hiérarchisation, en concentrant la manipulation des entités sur le niveau adéquat permet souvent un gain en performance. On distingue une granularité a posteriori où le niveau de détail est déterminé en fonction des entités que l'on veut voir, et a priori qui est déterminée indépendamment de ce qui doit être représenté.

Le présent travail se concentre sur la granularité temporelle qui considère à la fois les distinctions temporelles qu'on voudrait faire et les distinctions qu'on peut laisser non spécifiées. Prenons par exemple l'événement "Bénali prend son déjeuner" qui est décomposé en événements suivants :

- manger,
- parler et
- boire du café.

Chacun de ces événements composants peut aussi être raffiné en d'autres événements.

Puisqu'un événement est supposé être un intervalle dans l'axe des réels, on peut le décomposer en sous intervalles pour le représenter sous différentes granularités. Chaque sous intervalle correspondra à un événement composant. On obtient donc plusieurs niveaux de détail des assertions temporelles.

On notera que les relations temporelles entre les paires d'intervalles des trois derniers événements n'ont pas été spécifié. Par conséquent, un ensemble de macro relations est défini. Une macro relation est un sous ensemble des treize relations de base et elle est considérée comme la disjonction de ses relations constituantes exprimant ainsi une relation incomplète entre les paires d'intervalles. La principale macro relation est la relation "inclue", notée  $\subset$ , entre un intervalle et ses sous intervalles. Elle caractérise la fonction de décomposition d'un événement en d'autres événements. En effet, un événement composant doit apparaître durant son intervalle composé. En plus, elle exprime un lien de plus fine granularité entre les événements car elle permet de décrire un événement à un certain niveau de précision puis de décomposer cette description afin d'explicitier des détails supplémentaires. En considérant l'exemple précédent nous avons "Manger  $\subset$  Déjeuner", "Parler  $\subset$  Déjeuner" et "Café  $\subset$  Déjeuner". Une telle représentation dispose les intervalles de temps dans une structure hiérarchique.

Les macro relations introduites comme suit :

$$\begin{aligned} \subset &= \{s, f, d, =\} & \subset^{-1} &= \{s^{-1}, f^{-1}, d^{-1}, =\} \\ \alpha &= \{<, m\} & \alpha^{-1} &= \{>, m^{-1}\} \\ \beta &= \{<, >, m, m^{-1}, o, o^{-1}, s, s^{-1}, f, f^{-1}, d, d^{-1}, =\} \end{aligned}$$

permettent de définir un nouveau ensemble  $A_{10} = \{<, >, m, m^{-1}, \alpha, \alpha^{-1}, \subset, \subset^{-1}, \beta, =\}$  dont ses éléments sont appelés des relations atomiques. La relation  $\alpha$  (resp.  $\alpha^{-1}$ ) signifie qu'un intervalle est avant ou touche (resp. après ou touché-par) un autre intervalle. D'autre part, la relation  $\beta$  signifie qu'aucune relation n'est spécifiée entre les paires d'intervalles : "Parler  $\beta$  Café", "Manger  $\beta$  Café" et "Parler  $\beta$  Manger".

Les intervalles de temps utilisés vont être notés par  $I_1, I_2, \dots, I_n$  où  $I$  est l'ensemble des intervalles et  $I_c$  est l'ensemble des c-intervalles.

Après avoir introduit la notion de macro relation, on peut définir maintenant d'une manière formelle la nouvelle classe de c-intervalle comme suit :

**Définition :** c-intervalle

Un c-intervalle  $I$  est un intervalle décomposé en plusieurs sous intervalles  $I_j$  tels que :

$$\forall i \ 1 \leq i \leq n \ I_j \subset I$$

et  $\forall i, j \ 1 \leq i \leq n$  et  $1 \leq j \leq n$  tel que  $i \neq j$  une des relations suivantes est vérifiée :

- $I_i < I_j$
- $I_i \alpha I_j$
- $I_i \beta I_j$
- $I_i = I_j$

En d'autres termes un c-intervalle est une période de temps composée par d'autres c-intervalles ou intervalles qui peuvent être reliés par des relations de l'ensemble  $A_{10}$ .

On notera que la relation avant ( $<$ ), avant ou touche ( $\alpha$ ), inclue ( $\subset$ ), inconnu ( $\beta$ ) et égale ( $=$ ) sont transitives.

Deux événements qui apparaissent en même temps peuvent être représentés par le même intervalle. Donc, on peut toujours faire correspondre à un c-intervalle un c-intervalle réduit dont la relation d'égalité dans la définition précédente est supprimée.

**Définition :** c-intervalle réduit

Un c-intervalle réduit est un c-intervalle dont la relation d'égalité (4) entre deux sous intervalles est supprimée. Pour indiquer qu'un ou deux intervalles composent un autre intervalle on introduit les deux prédicats

- $COMP(I_1, I) \Leftrightarrow I_1 \text{ compose } I$
- $MEMB_I(I_1, I_2) \Leftrightarrow COMP(I_1, I) \wedge COMP(I_2, I)$

Formellement une décomposition temporelle peut être vue comme une fonction qui associe à chaque c-intervalle un ensemble d'intervalles de temps. Par exemple, l'action "aller chercher le courrier" peut être décomposée en "aller à la boîte à lettres", "prendre la lettre" et "refermer la boîte à lettres". Comme dans tout système de représentation des connaissances, il est nécessaire de vérifier la consistance des assertions temporelles spécifiées. Pour se faire on utilise une représentation graphique.

**3. Consistance des assertions temporelles**

Puisque les relations temporelles sont binaires, on représente de telles assertions dans un graphe temporel  $GC = \langle I \cup I_c, R \rangle$  dont les noeuds sont des intervalles ou des c-intervalles, et les arcs sont étiquetés par les relations atomiques de  $A_5 = \{<, \alpha, \beta, \subset, =\}$  tels que les deux relations suivantes sont vérifiées :

$$\forall I_1 \in I_c, \forall I_2 \in (I \cup I_c) \quad COMP(I_2, I_1) \Leftrightarrow (I_2, \subset, I_1) \in R$$

$$\forall I_1, I_2 \in (I \cup I_c), \exists r \in \{<, \alpha, \beta, \subset, =\} \quad (I_1, r, I_2) \in R \Rightarrow \exists I \quad MEMB_I(I_1, I_2)$$

Un chemin de longueur  $n$  dans le graphe est une séquence de  $n$  triplets  $(I_0, r_1, I_1) \dots (I_{n-1}, r_n, I_n)$  où  $I_i$  ( $0 \leq i \leq n$ ) sont des noeuds (i. e c-intervalle ou intervalle) et  $r_j$  ( $1 \leq j \leq n$ ) sont les étiquettes des arcs (i. e relation temporelle).

En reprenant l'exemple du déjeuner et en ajoutant la description "Bénali mangeait en même temps qu'il parlait, après il a bu son café", on obtient le graphe suivant :

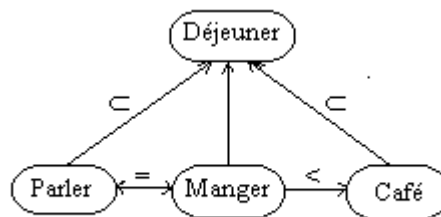


Figure 2.Représentation d'un événement composé.

Puisque la relation d'égalité est symétrique, on l'a représentée par un arc bidirectionnel. De plus, les arcs étiquetés par la relation "inconnu", qui n'apporte aucune information, ont été supprimés. On peut aussi supprimer la relation d'égalité dans le graphe en identifiant toutes les paires d'intervalles qui sont nécessairement égales et les condenser dans un seul noeud. En condensant les noeuds "Parler" et "Manger", on obtient le graphe réduit suivant :

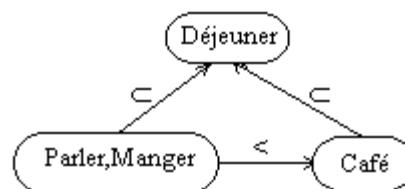


Figure 3.Graphe réduit.

Par conséquent, le graphe de  $c$ -intervalle est un graphe incomplet car les propriétés de transitivité des relations temporelles sont utilisées pour réduire le nombre des arcs.

Considérons l'exemple de l'événement déjeuner, en insérant maintenant la description "Pendant que Bénali buvait son café, il prenait son déjeuner puis parlait". La représentation de ces informations dans un graphe est alors la suivante :

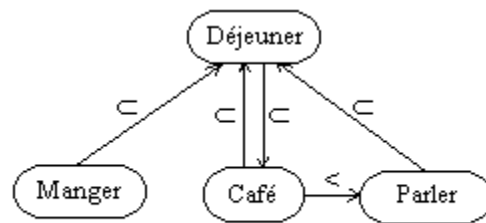


Figure 4. Un exemple de graphe inconsistant.

En analysant seulement les énoncés on peut affirmer qu'elles sont inconsistantes : l'événement déjeuner est décomposé en événement boire du café et la réciproque est fautive. Afin de vérifier la consistance d'un ensemble d'assertions temporelles représenté dans un graphe, on définit deux types de chemin comme suit :

**Définition :  $\subset$ -chemin**

Dans un graphe de  $c$ -intervalle, on appelle un  $\subset$ -chemin, un chemin dont chaque arc est étiqueté par la relation d'inclusion  $\subset$ .

**Définition :  $\alpha$ -chemin**

Dans un graphe de  $c$ -intervalle, on appelle un  $\alpha$ -chemin, un chemin dont au moins un arc est étiqueté par une des relations de précédence  $\alpha$  ou  $<$ .

S'il existe un  $\subset$ -chemin de  $I_0$  à  $I_n$  alors on obtient  $I_0 \subset I_n$  par la propriété de transitivité de la relation "inclue" et si de plus le  $\subset$ -chemin est un circuit alors on a  $I_n \subset I_0$ . Cependant, la relation "inclue" est symétrique dans le cas seulement où elle restreinte en relation d'égalité. D'une manière similaire l'absence de  $\alpha$ -chemin qui sont des circuits garantit la consistance du graphe car les relations  $\alpha$  et  $<$  sont irreflexives.

**Propriété 1**

Le graphe de  $c$ -intervalle est consistant si et seulement si

- i) un  $\subset$ -chemin de longueur  $n$  est un circuit alors  $I_0 = I_n$ ,
- ii) il n'existe pas dans le graphe un  $\alpha$ -chemin qui est un circuit.

La description précédente est bien inconsistante car le graphe de  $c$ -intervalle correspondant contient un circuit dont un de ses arcs est étiqueté par la relation  $<$ .

Une autre approche de détermination de la consistance d'un ensemble d'assertions temporelles consiste à utiliser l'algorithme d'Allen [1] de propagation des contraintes. L'algorithme est complet car toute les macro relations introduites ne sont pas disjointes et peuvent donc être translatées en relations entre des points où la relation de différence ( $\neq$ ) est exclue. L'algorithme s'exécute en un temps polynomial  $O(n^3)$ .

**Propriété 2**

Le problème de consistance d'un graphe de  $c$ -intervalle est polynomial.

Mais, il ne suffit pas de construire une représentation à partir d'une description et de vérifier sa consistance, on doit pouvoir aussi utiliser ces informations pour effectuer des déductions.

**3. La déduction des relations implicites**

Etant données d'une manière explicite certaines relations entre un ensemble d'événements, on voudrait avoir la possibilité de déduire les relations additionnelles qui sont implicites dans celles données. Par exemple, la transitivité de "avant" et de "inclue" nous permet de déduire des relations en regardant la séquence des événements.

Pour automatiser cette tâche de raisonnement on définit deux opérations l'intersection et la composition dans l'ensemble  $A_{10}$ . L'opération d'intersection notée ' $\wedge$ ' fournit la relation restreinte que deux relations atomiques entre la même paire d'intervalles vérifient. Par exemple, la relation  $<$  est vérifiée si les deux relations  $<$  et  $\alpha$  sont explicitement données entre une paire d'intervalles. Ainsi, un extrait de la table de l'opération d'intersection est représenté dans la figure suivante :

$\cap$	$<$	$\alpha$	$=$	$\beta$
$\alpha$	$<$	$\alpha$	$\emptyset$	$\alpha$
$\subset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$=$	$\subset$
$\beta$	$<$	$\alpha$	$=$	$\beta$

figure 5. Un extrait de la table de l'opération d'intersection

D'une manière algorithmique, l'intersection de deux macro relations est déterminée en trouvant leurs relations constituantes communes. D'autre part, l'opération de composition notée ' $\cdot$ ' est utilisée pour déterminer la relation entre deux intervalles  $I_1$  et  $I_2$ , étant données les relations entre chacun avec un autre intervalle  $I_3$ .

Par exemple, en considérant la description donnée par la figure suivante où nous avons "Manger  $\subset$  Déjeuner", "Déjeuner  $<$  Café" et aucune relation n'est spécifiée entre les événements "Manger" et "Café" :

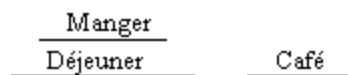


Figure 6. Un exemple de situation.

En regardant la séquence de l'événement "Manger" et "Café", on peut déduire la relation "Manger  $<$  Café". De même un extrait de la table de l'opération de composition est représenté dans la figure suivante :

$\cdot$	$<$	$\alpha$	$=$	$\beta$
$\alpha$	$<$	$<$	$\alpha$	$\beta$
$\subset$	$<$	$\alpha$	$\subset$	$\beta$
$=$	$<$	$\alpha$	$=$	$\beta$

figure 7. Un extrait de la table de l'opération de composition.

La déduction des relations implicites peut être vue comme la détermination de la fermeture transitive des relations entre les intervalles temporels, en utilisant l'opération d'intersection et les règles de la table de composition. On considère pour chaque couple d'intervalles  $(I_1, I_2)$  les restrictions apportées sur les relations de  $I_1$  et  $I_2$  avec les autres intervalles jusqu'à aucune relation ne peut encore être restreinte.

Partant d'une description simple : "Dans la nuit, il avait plu mais le sol est vite redevenu sec". Dans cet énoncé trois expressions à valeur temporelle apparaissent : "Dans la nuit", "il avait plu" et "le sol est vite redevenu sec". La traduction de ces informations sous forme d'un graphe de c-intervalles est comme suit :

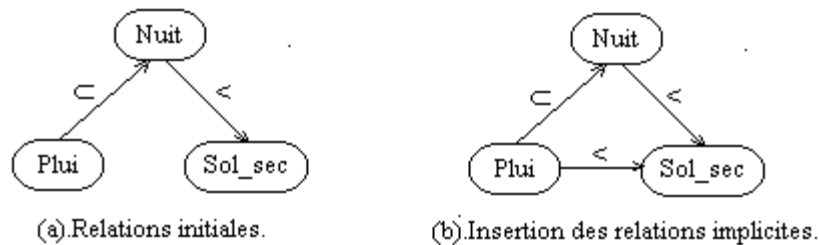


Figure 8.Représentation de la déduction des relations.

On se rend compte de l'importance de la déduction que nous avons présentée dans la figure précédente, pour insérer des relations temporelles dans le graphe alors qu'elles n'étaient pas présentes explicitement dans la description. Si un intervalle de temps est durant un intervalle de référence, alors on peut ne pas le connecter avec un autre intervalle qui est avant ou après son intervalle de référence. Cette propriété qui a été décrite par Dorn [3] peut être vérifiée à l'aide de la table de l'opération de composition. .

Cette tâche peut aussi être effectuée en remplaçant chaque macro relation par la disjonction des relations de base. Les disjonctions des relations déduites par la fermeture transitive des relations de base sont remplacées par leur macro relation correspondante.

### Conclusion

Dans cet article nous avons proposé un modèle de c-intervalles temporels pour représenter les assertions temporelles dans différents niveaux de détails. Des macro relations qui expriment des relations temporelles incomplètes sont donc introduites. Il en résulte une diminution considérable en temps et en espace lors de la vérification de la consistance d'un ensemble d'assertions temporelles. En effet, les propriétés de transitivité des relations temporelles ont été utilisées pour réduire le nombre des arcs du graphe de c-intervalle correspondant sans perte d'informations. En plus, la détermination des relations temporelles implicites est possible en utilisant directement les deux opérations de composition et d'intersection sans les exprimer en termes de disjonctions des relations de base.

## Références

- [1] James F. Allen, Maintaining Knowledge about Temporal Intervals. Communications of the ACM 1983, Vol 26, n°11, pages 832-843.
- [2] James F. Allen. Towards a General Theory of Action and Time. Artificial Intelligence 1984, pages 123-153.
- [3] Jürgen Dorn. Temporal Reasoning in Sequence Graphs. 3AI 1992, pages 735-740.
- [4] Christian Freska. Temporal Reasoning based on semi-intervals. Artificial Intelligence 1992, 54, pages 199-227.
- [5] Alfonso Gervini et Lenhart Schubert. Efficient Temporal Reasoning through Timegraphs. IJCAI 1993, pages 648-654.
- [6] Martin Charles Golumbic et Ron Shamir. Algorithms and Complexity for Reasoning about Time. 3AI 1992, pages 741-747.
- [7] Rober A. Morris et William D. Shaff et Linda Khatib. Path Consistency in a Network of Non-Convex Intervals. IJCAI 1993, pages 655-660.
- [8] Wojciech Penczek. A Temporal Logic for Event Structures. Fundamental Informaticae XI 1988, pages 297-326.
- [9] Therry Le Provost et Mark Wallace. Domaine Independant Propagation. Proceeding of the international on the fifth generation computer systems 1992, pages 1004-1011.
- [10] Yoav Shoham. Reified Temporal Logics : Semantical and Ontological Considerations. ECAI 1980.
- [11] Yoav Shoham et Drew McDermott. Problems in Formal Temporal Reasoning. Artificial Intelligence 1988, 36, pages 49-61.
- [12] Peter Van Beek. Exact and Approximate Reasoning about Qualitative Temporal Relations. Technical Report TR 90-29. August 1990, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- [13] Peter Van Beek. Reasoning about Qualitative Temporal Information. Artificial Intelligence 1992, 58, pages 297-326.
- [14] Marc Vilain et Henry Kautz. Constraint Propagation Algorithmes for Temporal Reasoning. Proceeding AAAI-1986, philadelphia, pages 377-382.
- [15] R. Wylie et M. Kamel. Model Based Knowledge Organisation. Proceeding of the seventh international conference on application of artificial intelligence in engineering 1992, page 161-178.