

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 nécessaire 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.

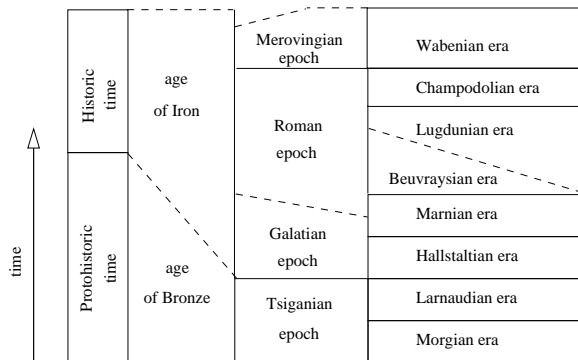


FIG. 1 – Chronologie des époques préhistoriques.

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.

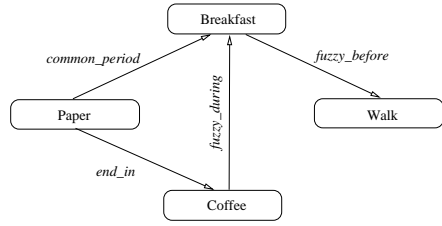


FIG. 2 – Description textuelle : *Fred lisait le journal tout en prenant son petit déjeuner. Il reposa son journal et bu le reste de son café. Après le petit déjeuner il partit se promener.*

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

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 informatif 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

¹dans le sens où elle véhicule une information concrète.

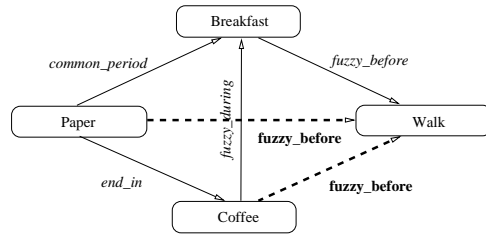


FIG. 3 – Graphe complet renvoyé après reconstruction.

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.