

Modèle procédural du repérage temporel

L. Ghadakpour¹ J-L. Dessalles²
laleh@infres.enst.fr dessalles@enst.fr

¹CREA - Ecole Polytechnique
1 rue Descartes
75005 Paris– France

²ParisTech – Telecom (ENST)
46 rue Barrault
75013 Paris - France

Résumé :

Les modèles de l'interaction rencontrent un certain nombre de contraintes, comme éviter de postuler des structures ou des procédures qui ne pourraient pas être hébergées par un cerveau humain ou un dispositif matériel. En particulier, un modèle de l'interaction doit renoncer à toute structure ou procédure infinie. Dans ce papier, nous montrons comment la prise en compte de cette contrainte nous amène à proposer, dans le cas particulier du temps, un modèle qui renonce à certains présupposés classiques, notamment l'existence d'une structure temporelle globale. L'abandon de cette hypothèse nous conduit à adopter une approche procédurale de la construction des relations temporelles. Le cas du temps est proposé comme un exemple montrant qu'il est possible de rapprocher les modèles formels de la performance humaine qu'ils sont censés expliquer.

Mots-clés : Sémantique, temps, infini, cartes temporelles

Abstract :

Many theoretical models of interaction ignore fundamental constraints of artificial or natural devices, like finite memory and limited computational resources. In order to cope with such constraints in the case of time representation, we propose a *procedural* approach to time, in which the global time line appears as an illusion rather than as an operational concept.

Keywords: Semantics, time, finiteness, temporal maps

1 Introduction

Les modèles formels couramment proposés pour représenter le sens des énoncés langagiers et pour prédire les inférences correctes que l'on peut tirer de ces énoncés reposent sur certaines hypothèses qui, telles quelles, apparaissent peu compatibles avec la

modélisation cognitive. Ainsi, de nombreux modèles formels des relations temporelles postulent l'existence d'une structure temporelle de cardinal infini. Lorsqu'il s'agit d'expliquer la capacité humaine de repérer et d'exprimer des relations temporelles, il faut expliquer comment les individus ont accès à une telle structure infinie. On ne peut en aucun cas supposer que cette structure temporelle est, telle quelle, représentée dans leur cerveau. Il faut donc, soit accepter que la structure infinie constitue une extrapolation idéale, dont le cerveau n'offrirait qu'une approximation, soit que cette structure se situe à l'extérieur des individus et que ceux-ci ont les moyens de la "lire". Nous montrerons qu'aucune de ces deux options n'est acceptable. La solution que nous proposons pour sortir de ce dilemme consiste à renoncer à représenter les relations temporelles sur une structure globale.

Dans la suite, nous commençons par rappeler pourquoi la plupart des modèles de la temporalité sont amenés à postuler l'existence de structures denses. De telles structures étant par nature infinies, nous montrons qu'elles ne peuvent pas intervenir dans un modèle *cognitif* de la performance humaine. Nous proposons un modèle cognitif de la temporalité expliquant le repérage temporel en l'absence de structure globale. En conclusion, nous discutons la portée et la généralité de l'approche.

2 Temporalité et cognition

Les modèles classiques permettant de représenter les relations temporelles exprimées par le langage postulent généralement l'existence d'une ontologie temporelle. Le temps peut intervenir comme argument explicite dans certains prédicats, ou dans la structure d'interprétation [4]. Quelle que soit l'approche formelle retenue, l'utilisation d'une ontologie temporelle reste indispensable, qu'elle définisse une famille de mondes ou une dimension d'un monde unique. Certains modèles utilisent une ontologie à base d'instant, d'autres utilisent une ontologie d'intervalles. Le choix pour l'une ou l'autre de ces ontologies n'est pas crucial, car sous certaines conditions assez naturelles, on montre l'équivalence entre ces deux formes d'ontologie [5]. Pour notre propos, l'important est de noter que les structures temporelles ainsi postulées sont, dans tous les cas intéressants d'un point de vue cognitif, des structures infinies, car l'utilisation du temps par les sujets humains suppose les propriétés de linéarité et densité.

La linéarité stipule que deux objets temporels (instants ou intervalles) distincts soient toujours, en principe, dans une relation de précédence. Même si l'on refuse une linéarité globale, par exemple si l'on veut rendre compte des raisonnements sur les irréels exprimés par le mode conditionnel, il reste que la propriété de linéarité reste indispensable sur des sous-ensembles de la structure temporelle. Certaines formes de raisonnement causal reposent sur la linéarité du temps : la cause et son effet doivent être systématiquement dans une relation de précédence temporelle. Comme rien n'interdit *a priori* que deux événements qui se sont effectivement produits puissent être dans une relation causale, les instants correspondants doivent être dans une relation de précédence.

A partir du moment où l'on accepte que la structure temporelle contient des sous-ensembles linéaires, on doit accepter que ces sous-ensembles sont denses, car la propriété de densité semble incontournable d'un point de

vue cognitif. Le raisonnement utilisé par Zénon d'Elée pour montrer la difficulté de conceptualiser le mouvement repose sur la densité de la structure temporelle : il est toujours possible d'imaginer un nouvel événement qui se situe, temporellement, entre deux événements en relation de précédence. Les modèles qui refusent la propriété de densité sont atomistes : toute durée non nulle contient une durée qui, elle-même, ne contient pas de durée non-nulle. Le fait que notre esprit puisse suivre la procédure de Zénon démontre qu'une telle propriété d'atomicité, au niveau cognitif, est inacceptable.

La propriété de densité pose un problème apparemment insurmontable. Une structure dense qui ne se réduit pas à un singleton est nécessairement infinie. Comment un modèle cognitif d'un aspect de la performance humaine peut-il comporter une telle structure ? La solution qui consisterait à dire que les humains utilisent une structure temporelle finie de cardinal très élevé n'est pas acceptable : une telle structure serait nécessairement atomique, ce que le raisonnement de Zénon réfute.

Une autre solution, que l'on peut qualifier de *réaliste*, consiste à dire que la structure temporelle n'est pas matérialisée dans le cerveau des individus, mais se situe à l'extérieur, en tant que propriété de l'espace-temps dans lequel nous nous trouvons. Une telle position réaliste laisse toutefois subsister le problème cognitif. Sur quel médium matériel les individus parviennent-ils à discerner les différents événements qu'ils imaginent en suivant le raisonnement de Zénon ? S'ils lisent ces événements sur un médium externe, il leur faut représenter des nombres avec une précision arbitrairement grande pour discerner les points arbitrairement proches de ce médium. Une telle performance est théoriquement envisageable : il suffit d'imaginer que ces nombres sont construits, par exemple à l'aide d'une série, ce qui revient à remplacer l'infini actuel de la structure temporelle par l'infini potentiel de la procédure de construction. Malheureusement, l'utilisation de séries n'offre aucun moyen de

borner le nombre d'itérations de la procédure de repérage.

Dans la prochaine section, nous abandonnerons l'idée d'une lecture sur un médium temporel global, car ce sera le seul moyen de borner sans dommage les itérations de la procédure de repérage. Pour s'en convaincre, considérons l'exemple suivant.

Il y a quinze milliards d'années, trois secondes après le début de l'univers, la symétrie entre la matière et l'antimatière s'est brisée.

Les relations temporelles de cette phrase peuvent être saisies même par les lecteurs qui ne disposent pas de connaissances particulières en astrophysique¹. Cet exemple illustre à quel point il est peu probable que l'interprétation des aspects temporels de la phrase consiste en un positionnement sur une structure temporelle globale. Un tel positionnement exigerait que le début de l'univers fût positionné à la seconde près, car une erreur supérieure mettrait en péril la relation d'antériorité avec la brisure de symétrie et la distance de trois secondes indiquée pour cette antériorité. Or, une telle exigence est ridicule : le traitement de la phrase précédente par un lecteur non spécialiste ne dépend même pas du fait que le début de l'univers se soit produit il y a quinze ou seize milliards d'années. La seule conclusion raisonnable est que l'interprétation de la phrase précédente fait intervenir deux échelles successives : une première échelle où la précision est, disons, de l'ordre du milliard d'années, et une deuxième échelle où la précision requise est de l'ordre de la seconde. Le caractère indépendant de ces deux échelles entraîne que l'interprétation des relations temporelles *ne peut pas* consister en un positionnement sur une structure temporelle globale.

3 Procédure de repérage temporel

Les agents d'une interaction doivent pouvoir repérer et comprendre des relations d'antériorité, les communiquer à l'aide de mots et faire à leur propos des inférences comme celles qui concernent la causalité ou la répétition. S'ils ne disposent pas d'une structure temporelle globale, il semble que toute idée de repérage doivent être abandonnée. L'objectif de cette section est de montrer qu'il n'en est rien.

Le modèle que nous développons [1] fait une hypothèse minimale concernant la mémorisation des événements. Ceux-ci sont mémorisés dans des *îlots temporels*. Nous pouvons considérer que ces îlots temporels sont des structures de taille limitée, hébergeant chaque fois quelques souvenirs. D'un point de vue psychologique, ils peuvent être vus comme organisés en chaînes associatives reproduisant le déroulement local de certaines situations vécues (*e.g.* une conférence, un mariage) ou imaginées (*e.g.* Chaplin marchant dans un vaisseau spatial). Pour les systèmes artificiels, cette hypothèse des îlots temporels laisse une grande marge aux choix d'implémentation.

Pour que les îlots temporels soient exploitables, il faut qu'ils puissent être connectés entre eux, selon les besoins de l'interaction. Les connexions que nous postulons sont de deux types : zoom et antériorité. Nous définissons la *mémoire temporelle* M comme une famille d'îlots I , munie des deux relations d'ordre partiel de zoom et d'antériorité : $M=(I,Z,A)$, avec la restriction suivante :

$$\forall i_1, i_2, i_3 \in I ; A(i_1, i_2) \wedge Z(i_1, i_3) \supset \neg A(i_3, i_2) \wedge \neg A(i_3, i_1) \wedge \neg A(i_2, i_3) \wedge \neg A(i_1, i_3)$$

Cette restriction traduit le fait que les relations d'antériorité ne peuvent exister entre deux échelles différentes. Le caractère partiel de ces relations empêche que la structure de mémoire s'écroule (*collapse*) en une structure globale totalement ordonnée dense. Insistons même sur le fait que I et les relations A et Z peuvent être extrêmement lacunaires par rapport à ce

¹ Pour les autres, précisons que les échelles de temps indiquées sont inventées pour l'exemple et ne prétendent pas être en accord avec les théories physiques actuelles.

que fournirait une référence objective. La mémoire que l'on peut avoir des séquences d'un film est loin de reproduire l'ensemble des épisodes, des plans ou des images de ce film, et les séquences mémorisées par un individu ne sont pas toujours directement accessibles les unes à partir des autres.

Cette définition de la mémoire temporelle a le mérite de se prêter à des réalisations cognitivement plausibles. En revanche, on ne voit pas encore comment elle permet la communication des repérages temporels. Pour cela, nous introduisons la notion de carte temporelle.

Une *carte temporelle* vient de l'application d'un *opérateur de repérage* sur la mémoire temporelle. Le traitement de l'expression du temps dans le langage peut conduire à distinguer plusieurs opérateurs distincts [2]. Les deux principaux sont l'opérateur d'inclusion et l'opérateur de séparation. L'opérateur d'inclusion, que l'on peut noter $---o---$, exprime qu'un *moment* est inclus dans une *époque*. Les notions de moment et d'époque sont des typages propres à l'opérateur qui contraignent l'accès à la mémoire temporelle. L'écriture $---o---(e(i_1), m(i_2))$ exprime trois choses :

- l'îlot i_1 de la mémoire temporelle est considéré comme une époque, ce qui est indiqué par la présence explicite du foncteur $e()$, qui bloque momentanément² l'application de la relation d'antériorité A à i_1 .
- l'îlot i_2 de la mémoire temporelle est considéré comme un moment, par le foncteur $m()$, ce qui bloque momentanément l'application de la relation de zoom Z à partir de i_2 .
- les îlots i_1 et i_2 sont en relation de zoom : $Z(i_1, i_2)$.

De la même manière, l'application de l'opérateur de séparation, que l'on note $o----o$, exprime que deux moments sont séparés par une époque. L'écriture $o----o(m(i_1), e(i_2))$,

$m(i_3))$ stipule, outre le typage en moments et époque, que i_1 et i_3 sont en relation d'antériorité $A(i_1, i_3)$.

La carte qui résulte de l'application d'un opérateur de repérage à des îlots instanciés possède une échelle. Pour une carte d'inclusion, c'est la durée de l'îlot i_1 , associé au premier argument, qui fournit l'échelle, alors que pour une carte de séparation, c'est la durée de l'îlot i_2 associé au deuxième argument. L'échelle peut être donnée explicitement, comme lorsque l'énoncé stipule que la brisure de symétrie se situe 'trois secondes' après le début de l'univers. Lorsque ces éléments sont absents, l'échelle peut encore être contrainte par la surface temporelle associée au moment. Ainsi, l'expression *après son voyage en Chine* ne peut référer à une durée d'une milli-seconde.

Les cartes temporelles offrent un moyen de raisonner sur la mémoire temporelle. Ainsi, notre exemple se traite par l'application successive de deux opérateurs de séparation. Une première carte $o----o(m(d), e, m(p))$ sépare le présent p du début de l'univers d ³. L'échelle de cette carte est donnée par l'idée plus ou moins nette qu'on se fait de l'âge de notre univers. Même s'il faut être astrophysicien pour avoir une certaine intuition de ce que peut être une échelle de l'ordre du milliard d'années, personne ne confond cette durée avec celle d'une vie humaine ou celle d'un saut en parachute. Contrairement à ce qu'exigent la plupart des modèles de la temporalité, l'application de la carte précédente et l'appréhension de son échelle ne nécessitent pas que tous les instants intermédiaires soient représentés dans la mémoire temporelle. Elle ne nécessite pas non plus que l'ensemble des événements stockés dans cette mémoire qui pourraient se situer dans cette période (*e.g.* la naissance de la terre, la disparition des dinosaures, etc.) soient accessibles à partir des bornes de la carte par

² Cet aspect momentané du blocage contribue à conférer au modèle son aspect procédural.

³ Le présent p et le début de l'univers d sont ici des îlots que nous offre notre mémoire temporelle, et certainement pas des événements objectifs, quels que soient les moyens que l'on imaginerait pour accéder à cette connaissance objective.

la relation A . La seule chose exigée pour le traitement de l'exemple est que le début de l'univers soit séparé du présent, et que cette séparation fournisse une échelle de temps.

La suite de l'exemple se traite par une deuxième application de l'opérateur de séparation. Cette fois, la carte obtenue $o\text{---}o(m(d), e, m(b))$, qui sépare le début de l'univers et la brisure de symétrie, est à une échelle de l'ordre de la seconde. Le caractère partiel de la relation A , et son impossibilité de comparer à des échelles différentes, fait que les deux échelles de notre exemple restent cognitivement incommensurables.

La caractéristique fondamentale de notre modèle réside dans la possibilité d'appliquer systématiquement les opérateurs de repérage, qui s'oppose au caractère non systématique des relations A et Z . L'hypothèse est que seule la mémoire temporelle peut conserver en mémoire, et donc distinguer, des épisodes et des durées. Nous faisons donc l'hypothèse que "une carte chasse l'autre". Dans l'approche procédurale qui est la nôtre, les arguments des opérateurs de repérage doivent être considérés comme des registres, si bien que leur existence est éphémère.

Noter cependant que, bien qu'époques et moments soient éphémères, ils subsistent tant qu'ils ne sont pas remplacés. Cela permet par exemple de conserver une relation de précédence entre un moment $m(d)$ et une époque e pour qu'elle soit héritée entre $m(d)$ et un nouveau moment m inclus dans e :

$$o\text{---}o(m(i_1), e(i_2), m(i_3)) \wedge \text{---}o\text{---}(e(i_2), m(i_4)) \supset o\text{---}o(m(i_1), e(i_5), m(i_4))$$

Autrement dit, l'application successive d'une séparation puis d'une inclusion permet systématiquement que le premier et le dernier moment obtenus dans cet enchaînement soient à leur tour séparables. Des relations analogues existent pour les autres enchaînements d'opérateurs.

On comprend ainsi comment notre modèle parvient à éviter les difficultés liées à des structures infinies ou à des procédures dont le temps d'exécution n'est pas borné. Ce résultat

est obtenu par la distinction entre la mémoire temporelle, qui contient les épisodes et les durées mémorisées, et les registres (moments et époques) sur lesquels s'appliquent les opérateurs de repérage. Un tel cadre, dans lequel le temps du raisonnement est en partie découplé de la représentation des événements, offre un moyen de résoudre le dilemme que nous avons mentionné dans la section précédente. D'un côté, la structure de mémoire peut être grossièrement discrète et parcellaire, ce qui évite l'absurdité d'une structure matérielle infinie. D'un autre côté, le modèle ne requiert pas de procédure itérée de manière non bornée : il peut accepter une limitation du nombre d'applications successives des opérateurs sans contraindre l'échelle de la carte finale obtenue. C'est la possibilité d'appliquer systématiquement les opérateurs de séparation et d'inclusion qui donne l'illusion, respectivement, de la linéarité et de la densité.

4 Vers un modèle procédural

Les difficultés que nous avons signalées dans la section 2 proviennent essentiellement du caractère statique des modèles classiques de la temporalité. \square partir du moment où l'on cherche à positionner sur une même structure temporelle tous les événements susceptibles d'être évoqués par le discours, cette structure est nécessairement (localement) linéaire et dense, ce qui est inacceptable. En introduisant l'aspect procédural dans la formalisation, on ouvre la voie à la possibilité de *construire* les relations temporelles, tout en préservant l'explication des capacités inférentielles.

Le caractère procédural permet, par exemple, d'expliquer la levée de certaines ambiguïtés des relations temporelles dans le langage. C'est le cas lorsque l'échelle des cartes à considérer contraint l'interprétation de la phrase ainsi que les inférences auxquelles elle donne lieu. L'interprétation de la phrase *c'est Pierre qui prépare le repas* peut, selon le contexte, avoir les formes suivantes.

- (a) Pierre est en train de préparer le repas ;
- (b) Pierre va préparer le prochain repas ;
- (c) Pierre prépare habituellement les repas ;

La marque du présent portée par le verbe est ambiguë en français. Si l'on préfixe la phrase ci-dessus par les expressions *en ce moment précis*, *aujourd'hui* ou *ce mois-ci*, on obtient respectivement les interprétations (a), (b) et (c), cette fois-ci de manière non ambiguë. Ce phénomène s'explique simplement, dans notre modèle, par un mécanisme en deux temps, qui implique successivement deux cartes temporelles. L'emploi du présent, en français, oblige à appliquer un opérateur d'inclusion ---o--- contenant un moment de référence, en général le moment d'énonciation. Appelons *PRÉSENT* l'époque qui figure dans cette carte. L'échelle de la carte détermine si *PRÉSENT* correspond, dans la mémoire temporelle, à une seconde, un jour, un mois ou toute autre durée. Dans un deuxième temps, l'époque *PRÉSENT* ainsi déterminée est utilisée dans une carte où intervient la situation décrite par le groupe verbal. Le présent grammatical convoque généralement une carte d'extension ==== qui impose l'extension de *PRÉSENT* à l'époque ancrée dans la situation décrite par le groupe verbal. L'ambiguïté des phrases au présent est due, dans notre modèle, au choix de l'échelle de la première de ces deux cartes. Si l'échelle est telle que *PRÉSENT* est en deçà d'une heure, l'interprétation (a) pourra être préférée. En revanche, si l'échelle est d'un mois, ce sera (c) qui s'imposera, car la co-extension d'un repas et d'un mois impose la répétition de l'événement du repas. Le modèle explique également la possibilité de l'interprétation (b). Si *PRÉSENT* est de l'ordre de la journée, les interprétations (a) et (c) sont bloquées, car *PRÉSENT* ne peut être co-extensif, typiquement, ni avec la préparation du repas, ni avec sa répétition. Le présent doit être interprété comme un futur proche, ce qui convoque, non un opérateur d'extension, mais un opérateur de séparation⁴.

4.1 Conclusion

Le modèle qui vient d'être esquissé présente des caractéristiques originales qui lui confèrent certains avantages. Parmi ces caractéristiques, la plus fondamentale est la séparation entre la structure de mémoire temporelle et le médium minimal, exprimé en termes d'époques et de moments, qui permet le repérage. Cette séparation autorise une mémoire temporelle fortement lacunaire, ce qui évite au modèle de tomber dans le défaut, rédhibitoire d'un point de vue cognitif, d'une structure infinie lue par une procédure non bornée.

Cette approche procédurale de la formalisation du temps demande à être complétée, en vérifiant que les cas d'enchaînement d'opérateurs explicitement prévus permettent de traiter l'ensemble des relations temporelles exprimées par le langage. La démarche demande aussi à être étendue à l'ensemble des relations sémantiques. Un premier pas dans ce sens peut être trouvé dans [2]. L'objectif est de parvenir à une construction du sens qui puisse fonctionner en présence de connaissances lacunaires. Notre conviction est que les modèles qui reposent sur l'emploi d'ontologies fixes, globales et complètes peuvent être reformulés sous une forme procédurale plausible qui évite de considérer des structures infinies ou des procédures de vérification non bornées.

Références

- [1] Ghadakpour, L. & Dessalles, J-L. (2001). Potential and actual infinite in cognitive models of time. Paris : Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, *Technical report* ENST-D-004.
- [2] Ghadakpour, L. (2003). *Le système conceptuel, à l'interface entre le langage, le raisonnement et l'espace qualitatif: vers un système de*

⁴ Les explications qui précèdent reposent sur le fait que l'échelle qui permet d'assigner une durée à *PRÉSENT* est déterminée par le contexte, c'est à dire par le choix des îlots pertinents dans la

mémoire temporelle. Le même phénomène a lieu dans le cas spatial : le mot *ici* peut signifier, selon le contexte, la pièce, la ville ou le pays où l'on se trouve.

représentations éphémères. Paris : Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique.

- [3] Kamp, H. & Reyle, U. (1993). *From discourse to logic : Introduction to modeltheoretic semantics of natural language, formal logic and Discourse Representation Theory*. Dordrecht : Kluwer Academic Publisher.
- [4] Prior, A. (1967). *Past, present and future*. Oxford : Oxford University Press.
- [5] van Benthem, J. (1983). *The Logic of Time: a model-theoretic investigation into the varieties of temporal ontology and temporal discourse*. Reidel.