

La construction cognitive du temps

Jean-Louis Dessalles (dessalles@enst.fr)
ParisTech Telecom (GET- ENST), 46 rue Barrault
F-75013 Paris, France

Laleh Ghadakpour (ghadakpo@poly.polytechnique.fr)
CREA, Ecole Polytechnique, 1 rue Descartes
F-75005 Paris, France

Résumé

Les êtres humains parviennent à communiquer et à argumenter en tenant compte, avec une aisance spectaculaire, des relations temporelles entre les situations. Pourtant, la plupart des modèles du temps échouent à donner une explication cognitivement plausible de cette performance. L'une des difficultés principales des modèles existants est qu'ils utilisent des ensembles infinis d'instantanés ou d'intervalles, ce qui est irréaliste du point de vue de la modélisation cognitive. Le modèle que nous esquissons ici propose une approche non-réaliste de la construction cognitive du temps. Il parvient à éviter l'écueil des ontologies temporelles infinies, au prix d'un changement radical dans la manière de considérer la conceptualisation du temps.

mots clés : temps, cognition, infini, cartes temporelles, récursivité.

1. Introduction

Tout modèle visant à rendre compte de l'aptitude humaine à comprendre les relations temporelles exprimées par le langage doit expliquer comment nous parvenons, à partir de notre maîtrise d'une langue d'une part, et de nos mémoires encyclopédiques et épisodiques d'autre part, à localiser correctement les situations, dans le temps, les unes par rapport aux autres. Un tel modèle doit également prédire notre capacité d'effectuer des inférences à partir de cette localisation. L'intérêt de ce problème de modélisation est qu'il porte sur des phénomènes peu ambigus. L'ordonnancement relatif de deux situations est, dans la plupart des contextes, une information binaire : soit A est avant B , soit c'est l'inverse. Toute erreur aura des conséquences probables sur les inférences que l'individu effectuera, notamment en bloquant toute causalité de A vers B , si A est compris, à tort, comme ultérieur à B . L'efficacité des narrations démontre que les individus sont experts dans la compréhension des composantes temporelles des énoncés. La tâche de modélisation est d'expliquer cette expertise.

Nous nous intéressons ici à une modélisation cognitive. L'objectif n'est pas d'imaginer un système théorique permettant de fonder des raisonnements scientifiques sur le temps. Il ne s'agit pas non plus d'explorer la phénoménalité de la perception humaine des dates ou des durées. Il s'agit d'expliquer comment la formation et l'expression des relations temporelles sont *possibles*. Notamment, il nous faut déterminer les contraintes qui portent sur la structure de mémoire où sont stockées les dates et les durées des situations mémorisées ou imaginées. Ensuite, il nous faut comprendre comment cette structure de mémoire peut être lue et utilisée, autrement dit comment elle s'interface avec le langage et le raisonnement. Le problème est délicat, car la modélisation cognitive s'interdit de postuler des structures de mémoire infiniment grandes ou des mécanismes non constructifs, structures et mécanismes qui ne pourraient pas être hébergés par un cerveau humain¹. Cette restriction disqualifie, en tant que modèles cognitifs, la plupart des formalisations qui ont été proposées pour cerner la notion du temps sur le plan technique ou théorique. La réflexion développée dans ce papier va nous conduire à remettre en question certains présupposés classiques concernant la localisation temporelle des situations.

2. Contraintes sur la mémoire temporelle

Une structure nécessairement finie

La difficulté première rencontrée lorsqu'il s'agit de modéliser l'aptitude humaine à communiquer et à raisonner à propos du temps réside dans le choix d'une structure de représentation permettant la localisation temporelle des situations mémorisées ou imaginées. La question à laquelle nous sommes confrontés est de savoir quelles sont les caractéristiques minimales dont une telle structure doit être dotée.

Les représentations classique du temps, par exemple celles que l'on réalise en logique en indiquant la structure d'interprétation par des instants distincts (Prior 1967), ont donné lieu à un nombre considérable de variations. Cependant, ces différents systèmes conservent des similarités fondamentales. Par exemple, les ontologies à base d'instant ou à base d'intervalles se révèlent équivalents (van Benthem 1983).

Il ne s'agit pas ici de seulement définir une structure à partir de ses propriétés. En mathématique, il est courant de définir des structures par un jeu fini d'axiomes. Ainsi, la structure des nombres réels peut être définie par une liste limitée de propriétés d'une relation d'ordre, comme celles de la transitivité et de la continuité. Cette capacité de notre esprit à définir des structures ne signifie pas que ces structures sont matériellement représentées dans le cerveau qui les a conçues. Ainsi, notre cerveau,

¹ Une belle illustration de cette contrainte nous est donnée par le destin de Funes, le personnage fictif décrit par Jorge Luis Borges (*Artifices* 1944), qui finit cognitivement écrasé par le poids de sa mémoire accumulée. On trouvera dans (Luria 1968) un exemple réel approchant.

quoique limité par le nombre fini de ses synapses ou de ses atomes, peut néanmoins concevoir l'infini continu de l'ensemble des nombres réels. Or, le problème qui nous occupe n'est pas un problème de conceptualisation, mais un problème de modélisation cognitive. *La question n'est pas de savoir ce que notre cerveau parvient à conceptualiser, mais de comprendre les moyens qu'il met en œuvre pour le faire.* Notre cerveau parvient à raisonner et à communiquer à propos du temps. Pour ce faire, il doit utiliser une mémoire temporelle, c'est-à-dire une structure cognitive capable de stocker des relations temporelles entre les situations mémorisées, perçues ou imaginées. En tant que telle, cette structure est supposée "matériellement" représentée. En d'autres termes, un certain nombre de neurones, de synapses et d'atomes sont requis pour chacun des éléments de cette mémoire. La question qui se pose est de déterminer la forme et la dimension de cette mémoire temporelle.

Un premier constat semble être que la mémoire temporelle doit être dotée d'un ordre total². Tout individu accepte que de deux situations passées quelconques A et B, l'une a dû précéder l'autre. Dans le cas où A et B sont susceptibles de se chevaucher, soit leurs débuts D_A et D_B , soit leurs fins F_A et F_B , sont dans un rapport d'antériorité, sauf à accepter une simultanéité parfaite. La situation exclue est celle d'une incomparabilité de principe. En d'autres termes, la structure de la mémoire temporelle est contrainte par notre capacité de comparaison. Si les situations sont, par principe, toutes comparables, donc si la mémoire temporelle est totalement ordonnée, ressemble-t-elle à une ligne, et si c'est le cas, combien cette ligne comporte-t-elle d'éléments ?

Une réponse immédiate à cette question est qu'il s'agit d'une structure finie. Comme la mémoire temporelle doit avoir une représentation matérielle dans le cerveau, il est exclu qu'elle comporte un ensemble infini d'éléments. La conséquence est que la précision avec laquelle nous pouvons conceptualiser le temps est elle-même finie. Il doit exister un grain élémentaire, un atome de durée en deçà duquel nous ne pouvons pas concevoir l'ordonnancement des situations. Les situations qui ne diffèrent que d'une durée inférieure à ce grain doivent être conçues comme simultanés. Or, comme nous allons le voir, le dilemme de la granularité vient de ce que l'observation de notre pouvoir de localisation temporelle contredit l'existence d'un tel grain.

L'absurdité d'un grain de durée

L'existence d'un grain temporel semble entraîner un horizon de précision. Or, notre capacité de comparaison n'est pas astreinte à une telle limitation. Considérons la phase suivante.

² Même si l'on prend en compte l'expression des situations conditionnelles, chaque branche de la mémoire temporelle doit être totalement ordonnée.

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.

Le fait qu'un être humain puisse comprendre une telle phrase, ou tout autre phrase construite sur le même modèle, *contredit* l'hypothèse de la granularité. L'hypothèse classique voudrait qu'une même structure de mémoire puisse héberger toutes les situations que nous pouvons conceptualiser, ou au moins les étiquettes temporelles qui leur correspondent, avec une certaine échelle et une certaine précision. Or, pour discerner sur la même structure des événements séparés de quelques secondes et d'autres séparés de milliards d'années, il faut que cette structure contienne au moins un demi-milliard de milliards d'éléments ! L'idée d'une structure de mémoire à l'image du déroulement temporel est absurde, non seulement en raison de ses dimensions prohibitives (ce nombre est trois ordres de grandeur au-dessus du nombre de synapses d'un cerveau), mais également pour la rigidité qu'elle impose : pour comprendre la phrase de notre exemple, il faudrait positionner le début de l'univers au moins à une seconde près. Mais si l'on renonce à ce type de structure, comment expliquer que les individus puissent saisir l'ordonnement relatif du moment d'énonciation et des deux situations mentionnées, le commencement de l'univers C et la brisure de symétrie B³ ?

Une réponse naturelle consiste à dire qu'un individu qui lit la phrase se situe successivement à deux échelles différentes. Si une précision d'une seconde est requise à la fin de la phrase, pour distinguer le début de l'univers et la brisure de symétrie, elle est inutile, et même inacceptable, au début. L'auditeur non spécialiste de cette phrase n'a que faire qu'il s'agisse de quinze milliards d'années ou de seize, ce qui veut dire qu'il est prêt à tolérer une erreur de $3 \cdot 10^{16}$ secondes ! De plus, le positionnement ultra-précis du commencement C de l'univers sur une échelle absolue est une tâche non seulement hors de portée de la science actuelle, mais de plus sans intérêt pour la compréhension de la phrase de notre exemple.

Accepter l'idée que le sujet humain puisse ainsi se placer à des échelles de temps successives indépendantes est lourd de conséquences. Si l'on renonce à l'idée, fondamentale et communément admise, d'une structure globale servant de référence commune pour positionner les épisodes entre eux, il s'agit d'expliquer comment le repérage temporel est possible.

Notre exemple peut être systématisé en suivant la célèbre procédure dichotomique utilisée par Zénon il y a vingt-quatre siècles. Cette procédure nous amène à considérer une suite décroissante d'instantanés A_i situés entre C et B. Le fait que nous puissions toujours, par la pensée, imaginer une situation située entre deux situations

³ L'énoncé ne prétend pas à l'exactitude par rapport aux sciences physiques. Le lecteur spécialiste en cosmologie pourra rectifier les valeurs temporelles indiquées.

temporellement distinctes qui nous sont données, rend les modèles discrets du temps caduques. Quelle que soit leur utilité d'un point de vue technique, sont dépourvus de plausibilité cognitive.

Si nous considérons que la mémoire temporelle peut être “plongée” dans la structure des nombres réels, qui représente par exemple le temps physique adopté par l'observateur scientifique, alors l'argument de Zénon oblige à considérer des durées de taille zéro. L'hypothèse, pour un i quelconque, de l'existence d'un A_{i+1} entre C et un A_i fait que la suite $(A_i - A_{i+1})$ tend vers zéro. Ceci est dû à la compacité du segment $[C, B]$ du temps physique : la suite A_i admet un point d'accumulation, et comme elle est décroissante, elle converge. Cet argument permet de conclure que les durées que le sujet doit se représenter sont, pour un observateur scientifique, arbitrairement petites en taille. Autrement dit, cet observateur doit non seulement considérer que la mémoire temporelle est infinie, mais qu'en outre elle ne comporte pas de grain. En d'autres termes, il n'existe pas d'horizon de précision dans les durées que nous pouvons concevoir.

L'abandon du réalisme

On pourrait imaginer échapper à l'exigence d'une structure de mémoire infinie en supposant que la procédure de localisation temporelle s'effectue sur une structure externe que l'esprit humain se contente de lire sans l'héberger. Dans une perspective réaliste de ce type, le cerveau humain posséderait ainsi un mécanisme de repérage qui opère sur la structure du temps tel qu'il existe dans le monde extérieur. Nous n'entrerons pas dans les problèmes considérables que pose une telle solution sur le plan épistémologique. Constatons simplement qu'elle ne résout pas le dilemme de la granularité. Pour satisfaire aux exigences du raisonnement de Zénon, la procédure de lecture doit atteindre des précisions arbitrairement grandes. Or, l'exécution d'une telle procédure demanderait un temps non borné. Les humains peuvent sauter à des échelles arbitrairement petites en une seule étape, comme le suggère notre exemple sur le début de l'univers. Une procédure de repérage sur une structure externe est incapable d'une telle opération, car elle requiert un positionnement parfait à chaque étape, ce qui est irréalisable en un temps borné. Dans notre exemple, si le début de l'univers n'est pas localisé de manière parfaite, il n'existe aucune garantie que son positionnement précédera le moment de la brisure de symétrie.

Il ne s'agit pas ici de mettre en question la capacité humaine de concevoir une structure infinie : au contraire, nous allons tenter de montrer comment cette conceptualisation a lieu. En mathématique, une structure infinie peut être décrite par une axiomatique. Cette axiomatique peut être implémentée dans un dispositif artificiel par un programme. Cependant, le temps que mettra un programme de repérage, par exemple pour décider si un nombre qui lui est donné est plus petit que le nombre π , ne peut être borné, sauf si la précision avec laquelle les nombres sont représentés est également bornée, ce qui revient à opter pour un grain de précision.

Ce qui est inaccessible à un dispositif matériel n'est pas d'héberger un programme de repérage dans une structure dense, mais de mettre en œuvre ce programme en un temps borné.

La "zénonisation" des modèles flous du temps

Le dilemme de la granularité nous laisse avec deux options tout aussi absurdes l'une que l'autre : l'existence d'un grain impose une atomicité inacceptable à la mémoire temporelle, tandis que l'absence de tout grain suppose que cette mémoire soit dense et infinie.

On pourrait imaginer d'introduire une imprécision intrinsèque dans la manière dont nous conceptualisons les durées, en imposant par exemple un flou dans la définition des intervalles. Une formalisation intéressante allant dans ce sens nous est donnée par le modèle locologique introduit par de Glas (de Glas 1992). Ce modèle prévoit que les intervalles possèdent un cœur et une ombre, si bien que leur frontière est "épaisse" (de Glas & Desclés 1996). Ce changement d'ontologie temporelle peut laisser supposer que le raisonnement de Zénon est bloqué. Ainsi, la situation A_{i+1} ne pourrait être conçue car les bornes de tout intervalle étant "épaisses", il semble en résulter une imprécision intrinsèque sur les durées qui empêche de séparer les situations C et A_i dès qu'elles sont suffisamment proches. En réalité, l'existence de bornes épaisses pour les durées ne change pas fondamentalement le raisonnement de Zénon. Dans la mesure où la borne possède un cœur, elle possède elle-même des bornes, qui ont elles-mêmes un cœur, et ainsi de suite. Aucune structure physique ne peut engendrer une telle itération. Une remarque analogue s'applique à des modèles qui représenteraient les durées par des segments flous. L'argument de Zénon réfute toute existence de flou absolu. Il est toujours possible de séparer mentalement deux situations, quelle que soit leur proximité temporelle.

La seule solution que nous pouvons envisager pour échapper au dilemme de la granularité consiste à autoriser une réutilisation des emplacements de mémoire. Ainsi, par exemple, les deux relations $A_2 < A_1$ et $A_{K+1} < A_K$ pourraient utiliser les mêmes emplacements m_1 et m_2 . Les situations que Zénon nous demande de considérer n'auraient donc qu'une existence temporaire. Une telle hypothèse a des conséquences qui vont nous amener à revoir radicalement la manière dont les relations temporelles sont cognitivement représentées. Pour que la confusion ne s'instaure pas entre les situations perçues et les représentations temporaires, il nous faudra imaginer deux mémoires temporelles distinctes. C'est le modèle que nous proposons dans la suite de ce texte.

3. Temps qualitatif

Le moyen que nous proposons pour échapper au dilemme de la granularité consiste à considérer deux types de supports de représentation du temps, dont aucun n'a le statut de mémoire globale. La conséquence de ce choix est que l'idée d'un temps

linéaire et dense apparaîtra comme une extrapolation produite par notre cognition plutôt qu'une structure physiquement représentée dans notre cerveau.

La mémoire temporelle à long terme

Le modèle que nous développons (Ghadakpour 2003, Ghadakpour & Dessalles 2003) fait une hypothèse minimale concernant la mémorisation des événements. Ceux-ci sont mémorisés dans une mémoire temporelle à long terme sous forme d'*îlots temporels*. Nous pouvons considérer que ces îlots temporels sont des structures de taille limitée, attachés chaque fois à quelques souvenirs. 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. Le zoom consiste à passer d'un épisode à un deuxième épisode contenu dans le premier. On peut ainsi se souvenir du mariage de sa sœur, puis de là évoquer le souvenir du moment où le buffet a été servi. L'opération d'antériorité permet par exemple au sujet d'être certain que le mariage de sa sœur a précédé son déménagement. La même opération nous permet d'évoquer un événement à partir d'un autre, par exemple le déménagement à partir du mariage.

Il est important de noter que ces opérations de zoom et d'antériorité ne sont pas définies de manière systématique : le choix de l'îlot atteint à la suite d'un zoom ou d'une antériorité peut dépendre de nombreux facteurs, ce qui laisse des possibilités d'adressage par le contenu. Ainsi, l'opération de zoom permet de passer, de manière non systématique et selon le contexte, de l'îlot correspondant au dernier film que l'on a vu à l'une quelconque des scènes que l'on a mémorisées.

Formellement, nous définissons la *mémoire temporelle à long terme* M comme une famille d'îlots I , munie des deux relations d'ordre *partiel* de zoom Z et d'antériorité A : $M=(I,Z,A)$. 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 que fournirait une référence objective. Par exemple, 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 minimale de la mémoire temporelle a le mérite de se prêter à des modèles cognitivement plausibles de la mémoire épisodique (Johnson, Foley, Suengas & Raye 1988 ; Tulving 1999) et d'être compatible avec certains résultats obtenus concernant les représentations spatiales (Tversky 2002). En revanche, on ne voit pas encore comment elle permet la communication des repérages temporels. La communication entre deux individus suppose que chacun dispose de moyens pour amener son interlocuteur à localiser des événements dans sa propre mémoire temporelle. De plus, il faut expliquer d'où vient le sentiment d'un temps linéaire et

dense, sachant qu'une mémoire structurée en îlots ne possède aucune de ces deux propriétés. Pour cela, introduisons la notion de carte temporelle.

Les cartes temporelles

Une *carte temporelle* est une structure comportant une *époque* (ou deux époques co-extensives) et un ou deux *moments*. Ces époques et ces moments peuvent correspondre, à un moment donné, à des durées identifiées à des îlots de la mémoire temporelle. Toutefois, il s'agit d'assignations éphémères qui ne peuvent donc jamais recevoir un caractère objectif. L'idée est que les époques correspondent à des durées considérées de l'intérieur, alors que les moments correspondent à des durées considérées de l'extérieur.

Une carte temporelle résulte 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 six opérateurs distincts⁴ (Ghadakpour 2003). 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. Formellement, les notions de moment et d'époque apparaissent comme 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 momentanément⁵ 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*, qui force les îlots à occuper des durées du même ordre de grandeur. L'échelle provient le plus souvent de l'ancrage des époques dans la mémoire temporelle. L'échelle peut aussi être donnée explicitement, comme lorsque l'énoncé stipule que la brisure de symétrie se situe 'trois secondes' après le début de

⁴ Les six opérateurs sont la séparation, l'inclusion, le début, la fin, la (co-)extension et la simultanéité.

⁵ Cet aspect momentané du blocage contribue à conférer au modèle son aspect procédural.

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. Enfin, comme nous allons le voir, l'échelle peut, dans certains cas, rester non spécifiée.

Les cartes temporelles offrent un moyen de raisonner sur la mémoire temporelle. Ainsi, notre exemple sur la brisure de symétrie se traite par l'application successive de deux opérateurs de séparation. On obtient une première carte $o\text{---}o(m(c),e(h),m(p))$ séparant le présent p du commencement de l'univers c ⁶. L'échelle de cette carte est donnée par l'idée qu'on se fait de l'histoire h de notre univers. Même s'il faut être astrophysicien pour avoir une intuition précise 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 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. Pour une personne ignorante en astrophysique, l'îlot h peut toutefois rester très peu instancié, ainsi que l'échelle correspondante⁷. La suite de l'exemple se traite par une deuxième application de l'opérateur de séparation. Cette fois, la carte obtenue $o\text{---}o(m(c),e,m(b))$, qui sépare le commencement de l'univers et la brisure de symétrie, est à une échelle de l'ordre de la seconde. L'auditeur non physicien n'a généralement pas d'intuition de l'échelle de cette carte, qui est donnée explicitement dans l'énoncé. Ceci est traduit par la mention d'une époque e non instanciée dans la mémoire temporelle. Le caractère partiel de la relation A , et l'impossibilité de comparer à des échelles différentes, fait que les deux échelles de notre exemple restent cognitivement incommensurables.

Le modèle à l'épreuve de la zénonisation

La caractéristique fondamentale de notre modèle réside dans la possibilité d'appliquer *systématiquement* les opérateurs de repérage, qui s'oppose au caractère

⁶ 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.

⁷ Certaines personnes pourront ainsi mélanger les millions et les milliards d'années, chose qui est impensable pour qui a quelques connaissances en astrophysique et, par exemple, en paléontologie. Toutefois, la compréhension de la phrase de notre exemple ne nécessite rien de plus que la perception d'une durée très au-delà des durées associées aux souvenirs (Johnson *et al.* 1988).

non systématique des relations A et Z . Le contraste s'observe dans le raisonnement dichotomique de Zénon. Lorsque Zénon nous demande d'imaginer une situation qui se place entre le début de l'univers et la brisure de symétrie, nous appliquons successivement un opérateur de séparation $o\text{---}o(m(c),e,m(b))$ qui produit une époque e , puis un opérateur d'inclusion $\text{---}o\text{---}(e,m)$ qui produit un moment m . A ce stade, pour la plupart des auditeurs, ni l'époque e , ni le moment m n'ont de contrepartie dans la mémoire temporelle, car le graphe des relations A et Z ne contiennent aucun épisode permettant d'ancrer e et m . Pourtant, cela ne nous empêche pas de comprendre la suite du raisonnement de Zénon, car rien ne s'oppose à une nouvelle application des opérateurs de séparation $o\text{---}o(m(c),e,m)$ puis de nouveau $\text{---}o\text{---}(e,m)$. C'est à dessein que nous n'indiquons pas les objets e et m . L'hypothèse est que seule la mémoire temporelle peut conserver, et donc distinguer, des épisodes et des durées. Nous faisons donc l'hypothèse que chaque carte se substitue à la précédente, autrement dit *qu'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 n'est qu'éphémère. C'est ainsi que le modèle parvient à prédire le bouclage cognitif auquel le raisonnement de Zénon conduit inmanquablement : si rien ne distingue les objets e et m d'une itération à l'autre, le raisonnement peut se poursuivre à l'infini (la sortie de cette boucle suppose évidemment un détecteur de boucle, qui n'est pas représenté dans le modèle). Noter cependant que, bien que l'époque e et le moment m soient éphémères, ils subsistent tant qu'ils ne sont pas remplacés par une nouvelle époque ou un nouveau moment respectivement. Cela permet de conserver la relation de précédence entre $m(c)$ et e pour qu'elle soit héritée entre $m(c)$ et le nouveau m inclus dans e . Nous pouvons traduire cette propriété dans le cas général par :

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

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. Cette relation reste valable lorsque les moments et les époques ne sont pas ancrés dans la mémoire temporelle. Des relations analogues existent pour les autres enchaînements d'opérateurs.

Résumé

Nous venons ainsi de montrer comment notre modèle parvenait 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 :

- o la distinction entre, d'une part, la mémoire temporelle, qui contient les épisodes et les durées mémorisées, et d'autre part, les registres d'une carte temporelle (moments et époques) sur lesquels s'appliquent les opérateurs de repérage.

- o le caractère éphémère de ces registres d'opérateurs, dû au fait qu'ils sont en nombre limité. Notre modèle peut fonctionner avec deux registres d'époque et deux registres de moment.
- o la possibilité que les registres ne soient pas toujours ancrés dans la mémoire temporelle.

Un tel cadre, dans lequel le temps appréhendé par le raisonnement est en partie découplé de la représentation des événements, offre un moyen de résoudre le dilemme que nous avons mentionné au début de ce papier. 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 (par exemple par un détecteur de boucle) 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.

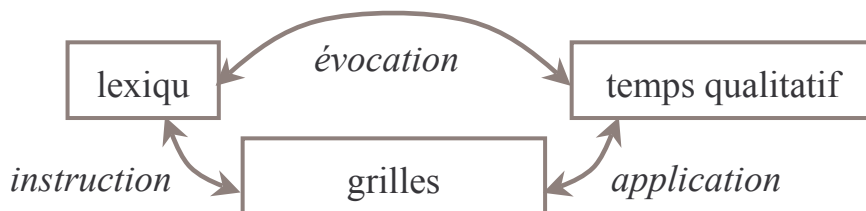
4. Le rôle des cartes temporelles dans l'interprétation des énoncés langagiers

Le modèle que nous venons de décrire constitue une solution, à nos yeux minimale, pour résoudre certains paradoxes de la représentation cognitive du temps, notamment ce que nous avons appelé le dilemme de la granularité. En postulant un système de cartes sans ontologie globale, nous avons remis en question l'un des présupposés fondamentaux commun aux modèles classiques de représentation du temps. Il s'agit maintenant de montrer que le modèle fonctionne, notamment en le soumettant à l'épreuve de la construction du sens des énoncés langagiers.

Nous devons pour cela indiquer comment les deux systèmes que nous avons distingués, le système du temps qualitatif et le système des grilles temporelles, fonctionnent conjointement pour permettre le repérage et les inférences que le langage permet à propos du temps. Nous partons du fait que certains éléments lexicaux d'un énoncé peuvent évoquer, par association, des épisodes mémorisés ou imaginés, ou des scènes prototypiques. Ainsi, dans la phrase avant le repas, elle est sortie pour acheter des cigarettes, le mot repas peut évoquer l'épisode du repas qui vient d'avoir lieu. D'autres éléments lexicaux peuvent infléchir ces associations. Les mots hier, avant, ensuite, déjà, ancien, quand, pendant, *etc.*, ainsi que certaines marques morphologiques comme le temps verbal, donnent des indications précises sur la manière d'interpréter d'autres mots de l'énoncé dans lequel ils interviennent. La situation indiquée par le syntagme le repas d'hier soir ne doit pas être confondue avec celle indiquée par le syntagme le repas de ce midi. La présence du mot avant, dans le syntagme le repas avant la réunion, suggère que le repas dont il est question a précédé la réunion. Ces indications sont précisément ce qu'apportent les grilles temporelles et ce que ne permettent pas, à eux seuls, les mécanismes associatifs du temps qualitatif. Selon notre modèle, les morphèmes temporels forcent l'application d'une carte

temporelle. La carte fournit non seulement la direction dans laquelle aiguiller nos associations, mais également l'échelle à laquelle effectuer cette recherche associative.

Nous pouvons résumer l'organisation de la procédure de localisation temporelle par le schéma suivant.



Certains mots du lexique sont associés à des instructions pour le déclenchement de grilles temporelles. Ainsi, en français, le mot *pendant*, de même que la marque de l'imparfait, convoquent une époque. Le passé simple, en revanche, convoque un moment. À partir de ces instructions, l'auditeur est capable de former la grille temporelle appropriée (Ghadakpour 2003 ; Ghadakpour & Dessalles 2003).

Le caractère procédural du modèle 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 ;

Une telle ambiguïté est difficile, voire impossible à expliquer dans les modèles linguistiques classiques de la temporalité. 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. Dans notre modèle, ce phénomène s'explique par un mécanisme en deux temps, qui implique successivement deux cartes temporelles.

Premier temps : l'emploi du présent, en français, oblige à appliquer un opérateur d'inclusion ---o--- contenant un moment de référence, en général le moment d'énonciation⁸. Appelons *PRÉSENT* l'époque qui figure dans cette carte. L'échelle de

⁸ Le temps du présent, en français, peut être également employé pour le futur proche. Ainsi, on peut dire *jeudi prochain*, *c'est Pierre qui prépare le repas*. Le présent s'emploie aussi lorsque les interlocuteurs se situent mentalement à un moment donné du passé ou du futur, comme cela est courant dans les narrations.

la carte détermine si *PRÉSENT* correspond, dans la mémoire temporelle, à une seconde, un jour, un mois ou tout autre durée.

Deuxième temps : l'époque *PRÉSENT* ainsi déterminée est utilisée dans une carte où intervient la situation décrite par le groupe verbal. Généralement, il s'agit d'une carte d'extension ===== qui impose la co-extension de *PRÉSENT* avec l'époque ancrée dans la situation décrite par le groupe verbal.

Ainsi, l'ambiguïté des phrases au présent est rendue, dans notre modèle, par le choix de l'échelle de la première de ces deux cartes. Si l'échelle est telle que *PRÉSENT*, par exemple, 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 séparation.

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. Le contexte, dans le cas temporel, inclut les durées typiques des éléments mentionnés dans la phrase. Dans la phrase *c'est Sydney qui organise les Jeux Olympiques*, les interprétations (a), (b) et (c) concerneront des durées différentes de celles de notre exemple du repas.⁹ En d'autres termes, le modèle renvoie le contrôle du choix entre (a), (b) et (c) à la détermination des îlots temporels pertinents.

L'exemple qui précède nous a permis d'illustrer comment le caractère procédural de la construction des relations temporelles permettait non seulement d'échapper aux difficultés théoriques liées à la représentation du temps, mais présentait également la souplesse requise pour l'interprétation des énoncés langagiers en contexte.

5. Conclusion

Le dilemme de la granularité, nous l'avons vu, limite gravement la plausibilité cognitive des modèles classiques de la temporalité, essentiellement en raison de leur caractère statique. À partir du moment où l'on cherche à positionner sur une même

⁹ Dans ce cas, l'interprétation répétitive risque d'être bloquée pour des raisons pragmatiques, car l'interlocuteur sait que l'organisation des Jeux Olympiques est tournante. On peut toujours forcer l'interprétation, comme dans la phrase *depuis vingt ans, Sydney organise les Jeux Olympiques* qui, au niveau sémantique, reçoit bien une interprétation répétitive. C'est parce que cette interprétation réussit au niveau sémantique que l'incohérence peut être décelée au niveau pragmatique.

structure temporelle tous les événements susceptibles d'être évoqués par le discours, cette structure est nécessairement (localement) linéaire et dense. Si l'on se soucie d'utiliser un tel modèle pour représenter une interaction impliquant des acteurs matériels, artificiels ou humains, on se trouve confronté à l'aberration d'une structure cognitive infinie ou d'une procédure de "lecture" non bornée. Nous avons évité un tel résultat en renonçant au caractère statique et global de la représentation. L'introduction de l'aspect procédural dans la formalisation ouvre la voie à la possibilité de *construire* les relations temporelles, tout en préservant l'explication des capacités inférentielles.

Le modèle qui vient d'être esquissé ici, et dont on trouvera une version plus complète dans (Ghadakpour 2003), 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 permet à la mémoire temporelle d'être 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. Le caractère lacunaire de la mémoire temporelle n'empêche pas que les opérateurs de repérage puissent s'appliquer et s'enchaîner de manière systématique, même lorsque l'ancrage dans la mémoire temporelle fait défaut.

Notre modèle est susceptible de donner un cadre cognitivement plausible à certains modèles linguistiques de la temporalité, avec lesquels il présente une certaine compatibilité (Reichenbach 1947 ; Gosselin 1996). Notre modèle, avec ses six opérateurs de grille et ses deux relations d'ordre qualitatives, se veut minimal. En particulier, il évite de postuler des mécanismes d'exception ou des hiérarchies de priorité pour gérer les conflits entre structures (Ghadakpour 2003).

Notre approche procédurale de la formalisation du temps demande bien sûr à être testée et étendue. Elle demande à être plus complètement testée sur le plan linguistique, en vérifiant que les cas d'enchaînement d'opérateurs explicitement prévus par le modèle 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 (Ghadakpour 2003). 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 complètes¹⁰ peuvent

¹⁰ Le mot complet s'applique par exemple aux systèmes vérificationnistes, notamment les systèmes qui, se plaçant dans l'hypothèse d'un 'monde fermé', décident de la fausseté d'un prédicat sur la base de l'absence d'un n-uplet dans le graphe d'une relation.

être reformulés sous une forme procédurale plausible qui évite de considérer des structures infinies ou des procédures de vérification non bornées.

Références

- De Glas, M. (1992). "A local intensional logic". In , *International Conference on algebraic logic and their computer science applications*. Warsaw : Stefan Banach Mathematical Institute.
- De Glas, M. & Desclés, J-P. (1996). "Du temps linguistique comme idéalisation d'un temps phénoménal". *Intellectica*, 23(2), 159-192.
- Ghadakpour, L. (2003). Le système conceptuel, à l'interface entre le langage, le raisonnement et l'espace qualitatif: vers un modèle de représentations éphémères. Paris : Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique.
- Ghadakpour, L. & Dessalles, J-L. (2003). "Modèle procédural du repérage temporel". In B. Chaib-Draa & A. Herzig (Eds), *Modèles formels de l'interaction - Actes des journées*. Toulouse : Cepaduès Editions, 267-270.
- Gosselin, L. (1996). La sémantique de la temporalité en français - Modèle calculatoire et cognitif. Duculot.
- Johnson, M. K., Foley, M. A. & Suengas, A. G. (1988). "Phenomenal characteristics of memories for perceived and imagined autobiographical events". *Journal of Experimental psychology: General*, 117(4), 371-376.
- Luria, A. R. (1968). *The mind of a mnemonist*. Cambridge, MA : Harvard University Press, ed. 1987.
- Prior, A. (1967). Past, present and future. Oxford : Oxford University Press.
- Reichenbach, H. (1947). Elements of symbolic logic. New York : Macmillan Co..
- Tulving, E. (1999). "On the uniqueness of episodic memory". In L-J. Nilsson & H.J. Markowitsch (Eds), *Cognitive neuroscience of memory*. Göttingen : Hogrefe & Huber Publishers, 11-42.
- Tversky, B. (2002). Cognitive maps, cognitive collages, and spatial mental models. Paris : Journée 'représentation de l'espace', Collège de France, 31 mai.
- van Benthem, J. (1983). The Logic of Time: a model-theoretic investigation into the varieties of temporal ontology and temporal discourse. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, ed. 1991.