

Partie 1 :
Le cas du temps

Introduction

La notion du temps est constamment présente dans le langage et dans le raisonnement. La temporalité est à la base de la plupart des descriptions effectuées spontanément par les individus, et intervient dans de nombreuses argumentations. Or, l'introduction de la dimension temporelle dans la modélisation sémantique est loin d'aller de soi et a fait l'objet de plusieurs tentatives concurrentes. Cette dimension est considérée tour à tour comme un système d'indexation produisant une séquence le long du discours, comme une famille de schémas sous-jacents aux faits exprimés, comme une modalité d'évaluation vériconditionnelle, comme un ensemble d'individus logiques sujets à des quantifications et des prédications, comme une projection des paramètres d'un système dynamique sur une structure topologique, ou encore comme un domaine cognitif propre impliqué dans des rapports d'analogie et de métaphore avec d'autres domaines.

D'un point de vue cognitif, le phénomène à expliquer est spectaculaire. Les êtres humains parviennent à communiquer et à argumenter en tenant compte des relations temporelles entre les situations, en atteignant parfois une grande précision. Ils utilisent différents moyens que leur offrent les langues naturelles pour exprimer des nuances temporelles, par exemple la répétition d'une situation. Doit-on considérer qu'ils disposent pour cela de compétences cognitives propres ? Ces compétences sont-elles en rapport avec les représentations postulées dans les différents modèles de la temporalité ?

L'une des difficultés principales de nombreux modèles est qu'ils utilisent des ensembles infinis d'instantanés ou d'intervalles, ce qui pose un problème de plausibilité cognitive. Est-il correct de réifier notre capacité de conceptualisation concernant la temporalité sous la forme d'un ensemble particulier de représentations cognitives ? Cet ensemble constitue-t-il un domaine propre, ou n'est-ce qu'un système de dates et de durées attachées, comme d'autres traits, aux représentations sémantiques ? Dans les deux cas, les mécanismes qui nous permettent de nous repérer dans le temps doivent être spécifiés. L'enjeu, rappelons-le, est de comprendre la facilité, la précision et la diversité avec lesquelles les êtres humains parviennent à exprimer leur perception du temps.

Chapitre 1 :
**Expression du temps dans le
langage**

Introduction

L'expression langagière du temps est un phénomène universel. Dans toutes les sociétés humaines, les individus expriment spontanément les relations temporelles entre les situations qui font l'objet de leur discours. Cette universalité a parfois été occultée par des différences anecdotiques, par exemple des différences linguistiques (au contraire des langues européennes, certaines langues, comme le chinois, n'introduisent pas de morphologie verbale associée au temps) ou culturelles (dans au moins une culture, celle des indiens Aymaras, le passé est gestuellement projeté en avant du corps et le futur en arrière, à l'inverse des cultures européennes¹).

À côté de cette expression spontanée du temps qui s'observe dans le langage et le raisonnement, différentes cultures ont développé des systèmes temporels explicites pour répondre à des motivations religieuses, philosophiques ou scientifiques. On observe, là encore, des différences significatives (certaines cultures, par exemple, ont une conception cosmologique cyclique du temps). Cependant on retrouve dans ces différents systèmes l'idée constante selon laquelle les épisodes du temps sont, au moins localement, strictement ordonnés². L'un des exemples les plus aboutis de ce genre de construction est la dimension du temps utilisée en physique classique, qui repose sur la structure mathématique de l'ensemble des nombres réels. L'une des raisons principales qui pousse les humains à ordonner les épisodes du temps est liée à l'intuition de la causalité. Tout être humain recherche la cause d'un phénomène dans un épisode du temps situé avant le phénomène lui-même³. Tout être humain est surpris si un phénomène se produit avant sa cause. Dans une telle situation, il recherchera d'autres causes, correctement situées avant l'occurrence du phénomène.

Pour expliquer cette capacité humaine de se représenter le temps, différents modèles ont été proposés. Les uns, par exemple, partent d'une représentation temporelle constituée d'instantanés, alors que d'autres considèrent que toute représentation temporelle prend la forme d'un intervalle. D'autres modèles, encore, ne retiennent des relations temporelles que les rapports topologiques que les situations exprimées entretiennent dans le temps. Certains modèles, enfin, observent la ressemblance frappante entre le repérage temporel et le repérage spatial, de telle manière que le premier pourrait n'être qu'une métaphore du second.

Ce chapitre présente, tour à tour, différentes analyses de l'expression du temps dans le langage. Nous nous intéresserons aux approches qui proposent des propriétés générales que doit raisonnablement posséder un système de représentation pour permettre l'expression du temps.

1.1. La temporalité dans les langues humaines

La compétence humaine de communiquer et de raisonner à propos du temps est une capacité cognitive fondamentale. On ne connaît pas de langue qui n'offrirait pas de moyen

¹ Cette particularité nous a été signalée par Rafael Núñez, qui a étudié la gestuelle spontanée des Aymaras.

² Un intéressant contre-exemple, fictif bien entendu, est le cas du peuple uqbar du monde tlön décrit par Jorge Luis Borges (*Fictions* 1944).

³ L'exception des causes dites finales n'est qu'apparente. Ainsi, la "cause" du fait que la girafe naît avec un long cou est qu'un jour, elle pourra attraper les feuilles des grands arbres. Un mécanisme quelconque, que ce soit une intervention divine ou la sélection naturelle, est supposé avoir créé ce phénomène en ayant connaissance du but. La cause reste donc antérieure au phénomène, même si le but lui est ultérieur.

d'introduire la temporalité dans les énoncés⁴. Dans toute langue, un énoncé exprime une situation qui fait généralement l'objet d'une localisation temporelle. Il faut cependant observer que les formes par lesquelles la localisation temporelle des situations est exprimée varient sensiblement d'une langue à l'autre.

The idea of locating situations in time is a purely conceptual notion, and is as such potentially independent of the range of distinctions made in any particular language. It does, however, seem to be the case that all human languages have ways of locating in time. They differ from one another, however, on two parameters. The first, and overall less interesting for our present purpose, is the degree of accuracy of temporal location that is achievable in different languages. The second, and more important, is the way in which situations are located in time, in particular the relative weight assigned to the lexicon and to the grammar in establishing location in time. (COMRIE 1985 [22] p. 7)

La précision de la localisation dépend de la présence, dans une langue donnée, de certaines entités lexicales qui répondent à des besoins culturels particuliers. Les conventions de datation comme les calendriers et les systèmes horaires, les théories scientifiques et les innovations technologiques font émerger des entités lexicales qui sont propre à la culture qui produit ces inventions. Par exemple un mot comme *picoseconde*, la paraphrase de l'expression *10⁻¹² secondes*, est une invention culturelle liée aux besoins de la science et de la technologie. Les différences de précision observées dans les différentes langues ne résident toutefois pas seulement dans les détails des systèmes de datation. Certaines langues n'offrent pas de distinction entre les mots *maintenant* et *aujourd'hui*, alors qu'il s'agit d'une précision courante en français. D'autres langues possèdent un mot pour exprimer l'équivalent de l'expression *l'année dernière*, là où le français utilise un syntagme.

Des différences de précision s'observent aussi dans les mécanismes grammaticaux qu'une langue utilise pour exprimer la localisation temporelle. Par exemple, en français, les formes verbales permettent de faire la distinction entre passé et présent. Pour préciser les distances respectives de deux situations passées par rapport au présent, le français utilise la forme verbale *plus-que-parfait*, qui est censée exprimer une localisation passée antérieure à celle qu'expriment les autres formes passées. D'autres langues offrent le même type de distinction, non sous forme relative, mais sous forme explicite, par exemple en opposant, dans leur grammaire, le *passé récent* au *passé non récent*. Des distinctions plus fines peuvent séparer un *passé proche*, situé dans la même journée, d'un *passé moins proche*, situé la veille. Certaines langues peuvent ainsi offrir jusqu'à cinq distinctions grammaticales pour l'expression des différentes situations passées.

Il ne s'agit, bien entendu, que de différences dans la précision que peuvent exprimer les mots ou les morphèmes dédiés à l'expression de la temporalité. Le fait remarquable est que, malgré cette diversité apparente, les individus peuvent toujours localiser une situation de manière précise en construisant des expressions composées. Il est même impossible de poser une limite *a priori* sur la précision qui peut être ainsi atteinte dans la localisation temporelle des situations, non par les seules entités lexicales ou mécanismes grammaticaux présents dans une seule clause, mais par l'emploi itéré des moyens, lexicaux ou grammaticaux, offerts par la langue. Dans le chapitre suivant, nous reviendrons sur ce point qui nous semble crucial.

Parmi les formes permettant d'exprimer la temporalité dans une langue donnée, on distingue généralement les moyens lexicaux des moyens grammaticaux. On parle de mécanisme grammatical dès que l'indication temporelle est portée par une construction morphologique, dérivationnelle ou flexionnelle. Les formes verbales, notamment, constituent

⁴ Pour cette affirmation et tous les faits concernant les langues humaines mentionnés dans cette section, nous nous appuyons sur des travaux en linguistique comparative (COMRIE 1976 [21], COMRIE 1985 [22]).

un mécanisme puissant et potentiellement varié d'expression de la temporalité. Il ne s'agit toutefois que d'un moyen parmi d'autres dont l'usage varie. Dans certaines langues, la localisation temporelle est assurée par l'emploi d'auxiliaires ou par la présence de mots réservés appartenant à une classe fermée. D'autres langues, peu nombreuses, présentent même la particularité de n'avoir aucun mécanisme grammatical proprement dit pour la localisation temporelle, si bien que seule la présence de certaines entités lexicales indique la localisation temporelle. Cette opposition classique entre les mécanismes grammaticaux et l'emploi d'entités lexicales spécialisées n'est pas aussi tranchée qu'il y paraît. La distinction, selon nous, doit dépendre du caractère systématique de la localisation temporelle présente dans l'énoncé. Quand la localisation temporelle d'une situation est systématiquement explicitée dans l'énoncé qui l'exprime, il est possible de dire que c'est la grammaire qui est responsable de la localisation temporelle. Sinon, tout élément concernant la temporalité qui apparaît dans un énoncé de manière facultative peut être considéré comme lexical. Selon cette distinction, toutes les langues humaines possèdent des moyens lexicaux servant à la localisation temporelle, et la quasi-totalité des langues utilisent des moyens grammaticaux dans le même but.

La localisation temporelle, telle qu'elle se décline dans les différentes langues, présente deux facettes différentes, que l'on peut représenter à l'aide de deux paramètres, le temps et l'aspect.

Tense relates the time of the situation referred to to some other time, usually to the moment of speaking. [...] Aspects are different ways of viewing the internal temporal constituency of a situation. (COMRIE 1976 [21] p. 1)

Le premier paramètre est le temps d'énoncé⁵. Il sert à établir une relation d'ordonnement temporel entre différentes situations. Dans le cas le plus simple, la relation concerne la situation exprimée par un énoncé et la situation dans laquelle l'énonciation a lieu (elle a déjeuné). Dans ce cas on parle parfois du temps absolu de l'énoncé, par opposition du temps relatif qui met en relation deux situations exprimées. Le long d'un discours, le temps d'un énoncé doit souvent se comprendre de manière relative, par rapport au temps d'un autre énoncé du même discours (elle a déjeuné ; elle a fait une sieste). Un seul énoncé peut aussi mettre en relation, de manière explicite, deux situations (après avoir déjeuné, elle a fait une sieste). En français ce paramètre de temps d'énoncé est systématiquement déterminé par la forme verbale, bien qu'une variété d'entités lexicales contribuent à préciser la relation d'ordonnement temporel des situations exprimées entre elles ou avec la situation d'énonciation (hier, elle a fait une sieste).

Le paramètre d'aspect établit la manière dont un énoncé exprime le déroulement d'une situation. Il peut se déterminer par d'autres moyens linguistiques que ceux qui déterminent le temps d'énoncé. En français, l'aspect, comme le temps d'énoncé, est présent dans la forme verbale. Une même situation peut être exprimée de manière globale (ce midi, elle a déjeuné à la cantine) ou comme une durée (ce midi, elle déjeunait à la cantine). La manière dont la situation est exprimée peut résulter d'un jeu entre la forme verbale et d'autres entités lexicales de l'énoncé. Ainsi, la forme verbale associée à l'expression des durées peut aussi exprimer une répétition (cette année, elle déjeunait à la cantine). Le paramètre d'aspect peut être aussi important pour préciser la relation entre deux situations. Deux situations peuvent être présentées comme simultanées (quand il est sorti, il a plu) ou incluses l'une dans l'autre (quand il est sorti, il pleuvait).

⁵ Le mot anglais *tense* n'ayant pas d'équivalent en français, nous précisons chaque fois "le temps d'énoncé" pour distinguer le paramètre linguistique associé de la notion générale du temps.

Le temps d'énoncé et l'aspect résument l'essentiel des relations temporelles qui peuvent s'exprimer de manière simple par le langage. Les dispositifs particuliers mis en œuvre, qu'ils soient grammaticaux ou lexicaux, varient d'une langue à l'autre, mais ils sont révélateurs des moyens dont dispose notre système cognitif pour élaborer des relations temporelles. Dans le reste de ce chapitre, nous nous intéressons à différents modèles visant à caractériser les relations temporelles que nous exprimons par le langage.

1.2. La séquence de temps

La relation temporelle la plus simple consiste à localiser une situation par rapport à une autre, en la déclarant comme antérieure, simultanée ou ultérieure. Cette relation produit une séquence où les situations sont ordonnées. Dans plusieurs langues, c'est la forme verbale qui exprime cette relation. La forme verbale nous dit, entre autres, si la situation exprimée par le verbe est antérieure, simultanée ou ultérieure à un repère temporel fourni par le contexte. Le repère le plus naturel est celui du moment de l'énonciation. Ainsi, la situation exprimée par un énoncé est localisée par rapport à la situation dans laquelle il est prononcé. Il suffit cependant d'étudier n'importe quelle langue pour constater que les relations temporelles exprimées sont bien plus riches qu'un simple positionnement par rapport au moment d'énonciation. Comment expliquer, par exemple, la différence entre le passé composé (ils ont vécu heureux) et le passé simple (il vécurent heureux) en français ? L'une des premières solutions proposées fut celle de l'introduction d'un moment de référence comme deuxième repère pour localiser la situation exprimée par un énoncé.

We see that we need three time points even for the distinction of tenses which, in a superficial consideration, seem to concern only two time points. The difficulties which grammar books have in explaining the meanings of the different tenses originate from the fact that they do not recognize the three-place structure of the time determination given in the tenses. (REICHENBACH 1947 [91] p. 289)

La structure proposée pour représenter la séquence de temps d'un énoncé postule trois composants : le point d'énonciation, le point de référence et le point d'événement (REICHENBACH 1947 [91]). Une telle structure peut par exemple expliquer la forme perfective. En anglais, les formes verbales simple et perfective du présent, par exemple les formes *goes* et *has gone* pour le verbe *to go*, ont en commun le fait que, dans les deux cas, le point de référence est localisé comme confondu avec le point d'énonciation. Ces deux formes se distinguent par le fait que, dans la forme perfective, le point d'événement est antérieur au point de référence, alors que, dans la forme simple, le point d'événement se confond avec les deux autres.

Ces trois composants introduisent un système productif qui génère plusieurs configurations, parmi lesquelles on peut retrouver les formes verbales de l'anglais. Les formes de localisation temporelle exprimées dans les autres langues humaines se retrouveraient de manière systématique parmi ces configurations (REICHENBACH 1947 [91]).

E_R_S	E_S,R	E_S_R S,E_R S_E_R
R,E_S	S,R,E	S_R,E
R_E_S R_S,E R_S_E	S,R_E	S_R_E

Dans le tableau ci-dessus les lettres S, R et E représentent respectivement les points d'énonciation, de référence et d'événement. Le signe “_” désigne l'antériorité entre deux points, et le signe “,” désigne le fait que deux points correspondants sont simultanés. La

génération se produit de manière suivante : d'abord, localiser le point de référence par rapport au point d'énonciation, ce qui donne les trois possibilités de passé (R_S), de présent (S,R) et de futur (S_R) ; puis, localiser le point d'événement par rapport au point de référence. Par exemple la configuration R,E_S signifie que le point de référence est antérieur au point d'énonciation, et que le point d'événement et le point de référence sont simultanés. Dans deux cas, la localisation du point d'événement par rapport au point de référence engendre des possibilités supplémentaires. Par exemple, dans le cas où le point de référence est antérieur au point d'énonciation (R_S) la localisation du point d'événement comme ultérieur au point de référence engendre trois configurations (R_E_S ou R_S,E ou R_S_E). Six formes parmi les formes verbales de l'anglais peuvent être identifiées par ce type de configurations (REICHENBACH 1947 [91]).

E_R_S (<i>past perfect</i>)	E_S,R (<i>present perfect</i>)	S_E_R (<i>future perfect</i>)
R,E_S (<i>past</i>)	S,R,E (<i>present</i>)	S_R,E (<i>future</i>)

Ce système constitue un début de modélisation. Il postule l'existence d'une entité abstraite, le point de référence, qui ne possède pas de contrepartie linguistique. Le point d'événement correspond à la situation exprimée par l'énoncé. On en a une trace linguistique dans le verbe. Le point d'énonciation représente le moment de l'acte d'énonciation. Il correspond, par ailleurs, au repère temporel le plus immédiat donné par le contexte. La pertinence de l'hypothèse du point de référence est plus indirecte. Son utilité se justifie dans l'explication de divers phénomènes linguistiques, comme la concordance des temps entre les formes verbales utilisées dans les énoncés qui expriment plusieurs situations.

I had mailed the letter when John came.

La forme verbale du deuxième verbe de cet énoncé est contrainte par le premier. Il est par exemple incorrect d'utiliser une forme présente perfective pour le deuxième verbe. Cette contrainte, qui impose une séquence entre les situations, peut s'expliquer par l'hypothèse de la stabilité du point de référence au sein d'un énoncé (REICHENBACH 1947 [91]). Selon le modèle ci-dessus, les deux formes verbales utilisées dans cet énoncé correspondent aux configurations suivantes.

E1_R1_S
E2,R2_S

La contrainte vient du fait que les deux points de références R1 et R2 sont superposés, ce qui exclut, entre autres, la configuration R2,S. On est donc conduit à utiliser la forme de passé prétérit pour le deuxième verbe. Ainsi, la stabilité du point de référence suffit à expliquer la séquence de temps qui se traduit dans les contraintes sur l'usage des formes verbales.

La stabilité du point de référence peut toutefois être contournée si une entité lexicale impose un nouveau point de référence (REICHENBACH 1947 [91]).

He was healthier when I saw him than he is now.

La séquence de temps de cet énoncé peut être représentée par le schéma suivant, où les deux points de références R1 et R2 sont superposés, tandis que le troisième point de référence R3, introduit par le mot now, doit être considéré comme différent des deux autres.

R1,E1_S
R2,E2_S
S,R3,E3

La structure présentée ci-dessus ne peut, telle quelle, rendre compte des énoncés qui comportent une forme verbale progressive. Une première approximation consiste à remplacer certains points de la structure de départ par des périodes (REICHENBACH 1947 [91]). La notion de période correspond à une sorte d'étirement de temps. Elle exprime tantôt une durée dans laquelle une situation dure, tantôt la répétition d'une situation. Dans le premier cas, la période est un point étendu ; dans le deuxième cas, la période est une suite de points. Par exemple, on aura les configurations suivantes pour les formes progressives en anglais (REICHENBACH 1947 [91]).

EE_R_S	EE_S,R	S_EE_R
<i>(past perfect progressive)</i>	<i>(present perfect progressive)</i>	<i>(future perfect progressive)</i>
RR, EE_S	S, R \in EE	S_RR, EE
<i>(past progressive)</i>	<i>(present progressive)</i>	<i>(future progressive)</i>

Dans ce tableau, les étirements des points, les périodes, sont représentées par des doubles lettres. On voit qu'une dissymétrie apparaît dans le tableau. Là où la période d'événement est superposé au point de référence, le point de référence devient lui aussi une période. De plus, dans le cas du présent, une nouvelle relation entre les situations apparaît, celle de l'inclusion, représentée par le signe "∈". Le statut de ces étirements et des relations qui opèrent dessus n'est pas totalement clair à ce stade. Nous reviendrons plus tard sur ces relations qui viennent s'ajouter à celles de l'ordonnancement temporel.

L'intérêt premier de ce modèle est de permettre de caractériser, en n'utilisant qu'un nombre minimal d'éléments, les relations d'ordonnancement temporel qui peuvent s'exprimer à l'aide des mécanismes grammaticaux présents dans les différentes langues. Son prolongement naturel s'est réalisé dans un vaste programme de recherche visant à caractériser les contraintes temporelles imposées par les entités lexicales.

1.3. Les schémas temporels

Le modèle présenté dans la section précédente présente la forme verbale comme un moyen de localiser les situations exprimées par les verbes les uns par rapport aux autres. Il ignore un certain nombre de contraintes liées aux verbes par lesquelles les situations sont exprimées. Par exemple, toute situation n'est pas libre d'avoir un point ou une période d'événement propre.

The fact that verbs have tenses indicates that considerations involving the concept of time are relevant to their use. These considerations are not limited merely to the obvious discrimination between past, present, and future; there is another, a more subtle dependence on that concept: the use of a verb may also suggest the particular way in which that verb presupposes and involves the notion of time. (□ENDLER 1967 [107] p. 97)

L'idée est que les verbes, ou les groupes verbaux contenant certains compléments, introduisent des schémas temporels qui déterminent de manière systématique l'application de telles ou telles formes verbales (□ENDLER 1967 [107]). Les schémas temporels déterminent en outre l'emploi des prépositions ou des adverbes susceptibles d'accompagner le verbe. Certains projets de recherche visent donc à classifier les différents schémas temporels contenus dans le lexique.

La première dichotomie qui vient à l'esprit est celle entre les verbes qui permettent un emploi continu ou qui ne le permettent pas (□ENDLER 1967 [107]). Prenons pour exemple les

deux verbes *push* et *believe* en anglais. L'acceptabilité des interactions suivantes révèle leur différence dans leur rapport avec la continuité temporelle.

What are you doing? - I am pushing it.
* What are you doing? - I am believing it.
* Do you push it? - Yes I do.
Do you believe it? - Yes I do.

La deuxième et la troisième interaction semblent mal formées. Ceci suggère que ces deux verbes n'expriment pas la continuité temporelle d'une situation de la même manière. L'idée est que le verbe *push*, de même que les verbes *run*, *draw*, *et cætera*, expriment des processus qui se déroulent dans le temps et qui consistent en phases successives qui se suivent les unes les autres. Ce n'est pas le cas du verbe *believe*, ni celui des verbes *know*, *reach*, *et cætera*. Ces verbes peuvent se rapporter à une situation sur un certain point ou pendant une certaine période, mais n'expriment en rien un déroulement quelconque. À cette première distinction liée à la présence ou l'absence d'un processus, nous pouvons ajouter d'autres discriminations.

Considérons d'abord les verbes comme *push* ou *draw* qui permettent un emploi continu. Lorsqu'ils sont attribués à un processus, certains de ces verbes seulement peuvent également s'appliquer à chaque partie propre de ce processus. Ce test permet par exemple de séparer les deux situations exprimées par les syntagmes *pushing the cart* et *drawing the circle*. La première peut être découpée en tronçons temporels qui, tous, continuent à être exprimé par l'expression *pushing the cart*. Il n'en est pas de même de la seconde. Les interactions suivantes illustrent cette idée.

For how long did you push the cart? - I was pushing it for half an hour.
* For how long did you draw the circle? - I was drawing it for twenty seconds.
* How long did it take to push the cart? - It took me half an hour to push it.
How long did it take to draw the circle? - It took me twenty seconds to draw it.

De nouveau, la deuxième et la troisième interaction semblent bizarres. La raison en est que le processus qui consiste à pousser un chariot peut être interrompu à n'importe quel moment sans changer de nature, alors que le processus qui consiste à tracer un cercle doit s'arrêter à un moment précis pour que l'on puisse dire que le processus a eu lieu. Cette distinction peut être résumée en disant que les verbes qui expriment des processus sont de deux types, les verbes d'activité et les verbes d'accomplissement (□ENDLER 1967 [107]). Ainsi, le syntagme *pushing a cart* exprime une activité, tandis que le syntagme *drawing a circle* exprime un accomplissement. Il est important de noter que ce genre de trait n'est pas porté seulement par le verbe, dans la mesure où les compléments peuvent avoir un effet sur les schémas temporels. Par exemple, la forme verbale *running* peut exprimer une activité tandis que le syntagme *running a mile* exprime un accomplissement.

La deuxième famille de verbes, ceux qui, comme le verbe *believe*, n'expriment pas de processus se déroulant dans le temps, donne également lieu à une dichotomie. Parmi ces verbes, certains présentent un aspect ponctuel, tandis que les autres s'étalent sur des périodes de temps plus ou moins grandes. Prenons le cas des situations exprimées par les syntagmes *reach the top* et *believe in the stork*. La première semble concerner un moment précis du temps, tandis que la deuxième peut durer. Les interactions suivantes illustrent cette idée.

For how long did you believe in the stork? - Till I was seven.
* For how long did you reach the top? - Till noon sharp.
* At what time did you believe in the stork? - At I was seven.
At what time did you reach the top? - At noon sharp.

Cette distinction peut se formuler en distinguant les verbes d'état des verbes d'achèvement (□ENDLER 1967 [107]). Ainsi, le syntagme *reach the top* exprime un achèvement, alors que le syntagme *believe in the stork* exprime un état. Certains emplois des verbes d'état ressemblent à des achèvements sans en être. Par exemple, dans l'énoncé *and then suddenly I knew the solution*, la situation exprimée semble être localisée comme un point précis. Cependant, ce n'est pas exact, car dix minutes plus tard l'individu peut toujours formuler l'énoncé *I know the solution* en exprimant ainsi le même état. L'énoncé initial exprimait plutôt une situation comme celle exprimée par l'énoncé *I did not know the solution before*.

Cette classification en quatre schémas temporels apparaît rapidement comme imparfaite. Certains verbes montrent des propriétés relatives à plusieurs schémas. Prenons les énoncés suivants.

He thinks that John is arrogant.
He is thinking about the arrogance of John.

L'usage des prépositions joue ici un rôle essentiel. Ainsi, là où le groupe verbal *think that* exprime un état, le groupe verbal *think about* présente un aspect délibéré qui en fait une activité (□ENDLER 1967 [107]). Un deuxième exemple montre comment, à l'inverse, un verbe d'activité peut devenir un verbe d'état.

He is smoking a cigar.
He smokes cigars.

Ici la différence réside dans la détermination du complément. Dans le premier énoncé il s'agit d'un processus particulier, tandis que dans le cas du deuxième énoncé, il est question d'une habitude, c'est-à-dire un état de faits (□ENDLER 1967 [107]). C'est l'usage du complément indéterminé qui fait que la situation exprimée par un verbe d'activité est perçue comme un état. Nous observons donc une sorte de mixité entre verbes d'état et verbes d'activité, quoique les échanges ne sont pas complètement symétriques. Dans les paires d'exemples précédentes, la manière dont le verbe change de fonction n'est pas identique. Cette différence peut être expliquée en utilisant les notions d'état générique et état spécifique (□ENDLER 1967 [107]). Le verbe *smoke*, dans son emploi premier, reste une activité. Dans son emploi en tant qu'état, cette activité est distribuée sur une durée de temps. Pendant cette durée, de manière régulière, le processus exprimé par le verbe se produit. Un tel état, dit spécifique, correspond à seulement certaines périodes de cette durée. Dans le cas du groupe verbal *think that*, l'état exprimé n'est en aucune manière le résultat de la distribution sur une durée de l'activité exprimée par le groupe verbal *think about*. C'est un état générique, qui s'applique de manière globale à cette durée. Ce genre d'observation permet de restaurer la validité de la classification. Les verbes ne changent pas de catégorie par hasard, il existe une logique permettant d'expliquer le fait que dans des contextes différents, ils puissent correspondre à des schémas différents.

Cette approche lexicale de la temporalité a donné lieu à de nombreux développements en sémantique linguistique. L'objectif est de pouvoir déduire les relations temporelles entre les situations exprimées dans un énoncé non seulement à partir des marqueurs temporels morphologiques ou lexicaux, mais également à partir de la reconnaissance des schémas portés par les verbes et certains mots susceptibles d'affecter leur sens. Nous aurons toutefois l'occasion, dans la suite de notre travail, de critiquer ce type de taxonomie rigide attachée au lexique.

Dans ce qui précède, nous avons considéré les relations temporelles pour elles-mêmes, sans chercher à les coupler aux autres relations exprimées par les éléments de l'énoncé pris indépendamment de leur temporalité. Nous envisageons cette synthèse dans le cadre des structures logiques d'interprétation.

1.4. L'interprétation modale du temps

L'énoncé type, objet de l'analyse logique, est généralement atemporel. L'indication du temps qui est portée, selon la langue concernée, par des mots particuliers, des marques morphologiques ou des mécanismes syntaxiques spécialisés, doit être incorporée dans le langage atemporel de base. La question est de savoir comment modifier le système logique pour ce faire. Si l'on part de situations que l'on cherche à localiser dans le temps les unes par rapport aux autres, les situations deviennent l'objet d'une prédication temporelle. De même que pour une entité X il est possible d'avoir une prédication du genre X est rouge, on peut dire X est présent dès que X désigne une situation. De même que l'on peut exprimer des relations explicites entre deux entités comme Y contient Z , on aura des relations portant sur des situations comme Y précède Z . Les situations sont donc réifiées de manière à pouvoir entrer comme argument dans les prédications temporelles. Une telle solution, bien que naturelle au premier abord, ne va pas sans poser de problèmes.

'Is present', 'is past', etc., are only quasi-predicates, and events only quasi-subjects. ' X 's starting to be Y is past' just means 'It has been that X is starting to be Y ', and the subject here is not ' X 's starting to be Y ' but X . [...] It is X which comes to have started to be Y , [...] the other entities are superfluous, and we see how to do without them, how to stop treating them as subjects, when we see how to stop treating their temporal qualifications ('past', etc.) as predicates, by rephrasings which replace them with propositional prefixes ('It has been that', etc.) analogous to negation. (PRIOR 1967 [85] p. 18)

Cet argument commence par refuser de réifier les situations : il n'y a pas de situations, il n'y a que des entités ; il n'y a pas de relation qui concerne le temps, il n'y a que les relations atemporelles logiques. La différence d'approche ne se limite pas à ce refus. Le fait de considérer l'indication temporelle comme un préfixe propositionnel, au même titre que la négation, est porteur de nombreuses conséquences. La temporalité apparaît dans la transcription logique comme un opérateur, au même titre que les opérateurs logiques. En d'autres termes, le traitement de la dimension temporelle est renvoyé dans la procédure d'interprétation des énoncés. Les énoncés continuent à représenter des relations atemporelles entre des entités, et c'est leur évaluation sémantique qui est assujettie au temps. Une autre façon de présenter cette idée est de dire que l'on effectue un traitement intensionnel de la temporalité : les extensions des symboles logiques se déterminent en fonction du temps. Cette façon de penser la temporalité en fait une modalité. La logique temporelle apparaît ainsi comme une logique modale particulière (PRIOR 1967 [85]). Dans un modèle modal temporel, la notion de monde possible correspond à celui de l'état du monde à un moment donné et la relation d'accessibilité s'identifie à celle de l'évolution temporelle d'un état vers les états qui le suivent.

Si l'on applique cette idée à la logique d'ordre zéro, alors la valeur de vérité d'une proposition est déterminée à chaque moment de manière différente. Pour ce faire, on définit une structure $\mathbf{M} = (M, <)$, où M est l'ensemble des moments du temps, et $<$ est une relation binaire qui représente l'évolution du temps⁶. On définit ensuite une famille de valuations v_m qui déterminent la valeur de vérité des propositions à chaque moment m appartenant à l'ensemble M . La valuation v_m associe à toute proposition atomique φ une valeur binaire : dire que $v_m(\varphi) = 1$ signifie que la proposition φ est vraie au moment m . L'interprétation des

⁶ Pour le moment, rien n'est dit sur la nature de ces moments et leurs relations. La caractérisation mathématique de la structure temporelle sera abordée dans la section suivante.

propositions composées se fait selon les définitions habituelles des connecteurs logiques (les connecteurs écrits en gras sont les connecteurs sémantiques définis, par exemple, à l'aide des tables de vérité).

$$\begin{aligned} v_m(\neg\varphi) &= \mathbf{non} \ v_m(\varphi) \\ v_m(\varphi \wedge \psi) &= v_m(\varphi) \ \mathbf{et} \ v_m(\psi) \\ v_m(\varphi \vee \psi) &= v_m(\varphi) \ \mathbf{ou} \ v_m(\psi) \\ v_m(\varphi \supset \psi) &= \mathbf{si} \ v_m(\varphi) \ \mathbf{alors} \ v_m(\psi) \end{aligned}$$

Ce système d'indexation de la structure d'interprétation fournit un système d'une richesse sans commune mesure avec les nuances qui peuvent être exprimées dans une langue donnée. Une manière naturelle pour se limiter à des relations plus sommaires consiste à ne retenir que les relations de type passé, présent et futur. On introduit pour cela deux nouveaux opérateurs temporels P et F. Si la proposition φ correspond à un énoncé exprimé au présent, le résultat de l'application de ces opérateurs à cette proposition, les propositions $P\varphi$ et $F\varphi$, sont censées exprimer le même énoncé, respectivement, au passé simple et au futur simple. La vérité de ces propositions à un moment m est déterminée de manière suivante.

$$\begin{aligned} v_m(P\varphi) &= 1 \text{ si et seulement s'il existe un moment } m', \text{ tel que } m' < m \text{ et } v_{m'}(\varphi) = 1 \\ v_m(F\varphi) &= 1 \text{ si et seulement s'il existe un moment } m', \text{ tel que } m < m' \text{ et } v_{m'}(\varphi) = 1 \end{aligned}$$

Les opérateurs P et F correspondent respectivement, en termes linguistiques, aux expressions *il fut vrai que φ* , et *il sera vrai que φ* . Ces opérateurs sont qualifiés d'opérateurs faibles. Il est possible de définir des opérateurs duaux H et G, dits les opérateurs forts, qui expriment le fait qu'une proposition devient définitivement vraie après le moment courant ou qu'elle a toujours été vraie avant ce moment. La vérité de ces propositions à un moment m est déterminée de manière suivante.

$$\begin{aligned} v_m(H\varphi) &= 1 \text{ si et seulement si pour tout moment } m', \text{ si } m' < m \text{ alors } v_{m'}(\varphi) = 1 \\ v_m(G\varphi) &= 1 \text{ si et seulement si pour tout moment } m', \text{ si } m < m' \text{ alors } v_{m'}(\varphi) = 1 \end{aligned}$$

Les opérateurs H et G correspondent, respectivement, aux expressions *il fut toujours vrai que φ* , et *il sera toujours vrai que φ* . On peut constater que ces nouveaux opérateurs se déduisent des précédents.

$$\begin{aligned} H\varphi &\equiv \neg P\neg\varphi \\ G\varphi &\equiv \neg F\neg\varphi \end{aligned}$$

Parfois un énoncé au présent est prononcé pour signifier que l'énoncé est vrai de manière atemporelle, qu'il s'agit d'une vérité logique. Dans le cadre de logique temporelle, ce type d'énoncé est interprété par une proposition valide, c'est-à-dire une proposition qui est vraie de toute éternité.

$$\models_{\mathcal{M}} \varphi \text{ si et seulement si pour tout moment } m, v_m(\varphi) = 1$$

Cette éternité peut s'exprimer à l'aide des opérateurs définis ci-dessus.

$$\models_{\mathcal{M}} \varphi \text{ si et seulement s'il existe un moment } m, \text{ tel que } v_m(\varphi) = 1, v_m(G\varphi) = 1 \text{ et } v_m(H\varphi) = 1$$

De même, on peut parler d'une conséquence logique si la vérité d'un énoncé résulte de la vérité d'un ensemble d'hypothèses et ceci indépendamment du moment où les hypothèses sont affirmées.

$$\Gamma \models_{\mathcal{M}} \varphi \text{ si et seulement si pour tout moment } m, \text{ si } v_m(\psi) = 1 \text{ pour toute proposition } \psi \text{ appartenant à } \Gamma \text{ alors } v_m(\varphi) = 1$$

Une fois ces définitions précisées, il faut encore ajouter aux axiomes de la logique dans laquelle on se situe de nouveaux axiomes propres aux opérateurs temporels, de manière à permettre le type d'inférences que les humains réalisent sur le temps. Ces axiomes vont par paires, l'un pour le passé, l'autre pour le futur. Les axiomes les plus naturels sont les suivants.

$$\begin{aligned} \varphi &\supset \text{HF}\varphi \\ \varphi &\supset \text{GP}\varphi \\ \text{H}(\varphi \supset \psi) &\supset (\text{H}\varphi \supset \text{H}\psi) \\ \text{G}(\varphi \supset \psi) &\supset (\text{G}\varphi \supset \text{G}\psi) \end{aligned}$$

Le deuxième axiome, par exemple, précise que si une proposition est vraie maintenant, alors elle aura toujours été vraie. Le troisième nous dit que ce qui a toujours résulté d'un fait qui a toujours été vrai, a toujours été vrai. À ces axiomes s'ajoutent deux schémas d'inférence permettant de faire le lien entre la validité (atemporelle) d'une proposition et son éternelle validité.

$$\begin{aligned} \varphi &\vdash \text{H}\varphi \\ \varphi &\vdash \text{G}\varphi \end{aligned}$$

Ces axiomes précisent que s'il existe une preuve pour la validité d'un énoncé, alors on dispose d'une preuve pour sa validité passée et future. L'ensemble de ces définitions permet de construire une logique temporelle minimale (PRIOR 1967 [85]). Dans ce cadre minimal des logiques modales, aucune supposition n'est faite sur la nature de la relation d'accessibilité. Si l'on veut préciser la nature de l'évolution temporelle que l'on imagine, il faut ajouter des axiomes portant sur les propriétés de la relation d'accessibilité. Nous en parlerons dans la section suivante à propos des instants et des intervalles.

Le système modal qui vient d'être décrit permet d'engendrer des propositions complexes censées représenter la signification temporelle des énoncés du langage naturel. Or, il se révèle souvent insuffisant. En particulier, on souhaite souvent exprimer la vérité d'une proposition entre le moment d'énonciation et le moment où une autre proposition était vraie. Il est démontré que dans certaines conceptions de l'évolution temporelle, il n'est pas possible de représenter une telle relation temporelle à l'aide des opérateurs classiques de la logique temporelle (KAMP & REYLE 1993 [56]). Pour cette raison deux nouveaux opérateurs temporels binaires S et U sont définis, que l'on peut paraphraser respectivement par les expressions ψ est vrai depuis que φ fut vraie et ψ sera vrai jusqu'à ce que φ sera vrai. Ces opérateurs, au contraire des quatre opérateurs de base, s'appliquent à un couple de propositions.

$$v_m(S\varphi\psi) = 1 \text{ si et seulement si il existe un moment } m', \text{ tel que } m' < m \text{ et } v_{m'}(\varphi) = 1, \text{ et pour tout moment } m'', \text{ si } m' < m'' \text{ et } m'' < m \text{ alors } v_{m''}(\psi) = 1$$

$$v_m(U\varphi\psi) = 1 \text{ si et seulement si il existe un moment } m', \text{ tel que } m < m' \text{ et } v_{m'}(\varphi) = 1, \text{ et pour tout moment } m'', \text{ si } m < m'' \text{ et } m'' < m' \text{ alors } v_{m''}(\psi) = 1$$

Ces deux opérateurs S et U suffisent pour définir une logique temporelle, car les opérateurs classiques peuvent être définis à partir d'eux.

$$\begin{aligned} \text{P}\varphi &\equiv \text{S}\varphi(\varphi \vee \neg\varphi) \\ \text{F}\varphi &\equiv \text{U}\varphi(\varphi \vee \neg\varphi) \end{aligned}$$

L'introduction de ces opérateurs augmente le pouvoir d'expressivité de la logique temporelle. Cependant, il reste des problèmes inhérents à l'interprétation du temps comme une modalité.

Le système des opérateurs tire sa richesse du fait que l'imbrication des opérateurs sur des propositions permet de produire des propositions de plus en plus complexes de manière récursive. Or, cette richesse n'est pas toujours compatible avec ce que les humains expriment avec le langage naturel. Un exemple nous est fourni par l'itération des opérateurs. L'interprétation modale du temps autorise à faire agir un nombre arbitraire d'opérateurs sur une proposition. Or, dans la plupart des cas, le résultat d'une telle itération n'a pas d'équivalent linguistique exact (KAMP & REYLE 1993 [56]). Il est clair que la proposition $PHFGPHF\phi$ ne peut pas être raisonnablement exprimée sous forme langagière. Toutefois, l'absence de correspondance entre les opérateurs itérés et les énoncés linguistiques n'est pas due qu'à des problèmes de performance humaine limitée. Certaines des itérations les plus simples apparaissent déjà comme peu pertinentes.

Une traduction plausible des propositions $FP\alpha$ ou de $FH\alpha$ est le futur antérieur. Cette forme verbale représente un fait futur, évalué comme antérieur à un référentiel, futur lui aussi (il aura terminé avant 5h / avant que tu arrives). Les deux formes logiques mentionnées couvrent, outre la période future considérée, tout le passé. Or, les instants qui précèdent le référentiel d'énonciation ne sont pas pertinents dans la situation suggérée par la forme linguistique. Ces deux formes, bien que parmi les plus simples qui peuvent être exprimées à l'aide des opérateurs de base, n'ont pas d'équivalent linguistique simple. Pour exprimer le futur antérieur sous forme logique, il faut ajouter une conjonction pour indiquer le moment où la proposition commence à être vraie, ou plutôt utiliser des combinaisons avec les opérateurs binaires qui, par nature, font le lien entre les deux propositions. De même, des propositions comme $PF\phi$ et $PG\phi$ semblent pouvoir exprimer des relations conditionnelles. Une formule comme PF (beau-père) semble fournir une traduction logique acceptable d'une expression linguistique statique comme ex-futur-beau-père. Cependant, dans ce cas comme lorsqu'il s'agit de rendre ce que nous exprimons par le mode conditionnel en français, il faut supposer une bifurcation dans l'évolution temporelle, ce qui nécessite d'ajouter des axiomes à la logique temporelle pour préciser la structure ramifiée du temps. Mentionnons encore le fait que des propositions du genre $PP\phi$, ou $PH\phi$ apportent peu par rapport à celles de $P\phi$ et $H\phi$ respectivement, car elles introduisent un décalage par rapport au moment d'énonciation sans pouvoir préciser ce décalage. Les expressions linguistiques qui utilisent par exemple la forme plus-que-parfait réalisent bien davantage : elles précisent un nouveau référentiel, ou établissent un lien temporel entre deux faits différents (il était parti avant dix heures / avant qu'elle soit arrivée). Les différentes marques linguistiques de temps, présentes dans ce type d'énoncé, expriment des relations temporelles entre des situations, ce que la superposition itérée d'opérateurs a du mal à rendre.

Ces exemples suggèrent que la possibilité d'itérer l'application des opérateurs engendre un ensemble trop riche de possibilités qui n'ont pas leur équivalent exact dans les langues naturelles, sans pour autant parvenir à rendre l'éventail des relations temporelles exprimées par le langage⁷.

La richesse d'expression temporelle du langage naturel est liée, entre autres, à l'utilisation des référentiels temporels et aux liens que ces référentiels établissent entre les propositions. Par exemple, le moment d'énonciation n'a pas pour seul rôle la détermination de la valuation des énoncés. Il est accompagné d'un contexte susceptible d'affecter l'interprétation temporelle de la forme verbale, notamment lorsque cette interprétation fait intervenir le phénomène d'indexicalité (KAMP & REYLE 1993 [56]). Considérons les interactions suivantes.

⁷ Ce problème reste entier pour la logique du premier ordre. Même si l'interprétation y est plus riche que dans la logique propositionnelle, le temps continue d'être exprimé au niveau modal.

- (1) Finalement il est parti en vacances l'été dernier ?
Non. Il a dit qu'il était malade.
- (2) Pourquoi n'est-il pas venu à la réunion d'hier ?
Il a dit qu'il était malade.
- (3) Je ne le vois pas dans la pièce. Pourquoi est-il parti ?
Il a dit qu'il était malade.

Si la proposition φ dénote l'énoncé il est malade, à partir de l'énoncé il a dit qu'il était malade, on peut, selon le contexte, inférer dans (1) que $\text{PP}\varphi$, dans (2) que $\text{P}\varphi$, et dans (3) que φ . La proposition logique que l'on peut attacher à un énoncé langagier dépend donc d'un décodage préalable des référentiels temporels. Or ceux-ci dépendent du contexte, comme le montrent les exemples précédents. De manière équivalente, l'interprétation des entités lexicales associées au temps peut dépendre de la structure temporelle de l'énoncé. Dans l'exemple qui suit, l'interprétation du mot minuit doit être déduite du temps verbal.

Il rentrera à minuit.
Il est rentré à minuit.

La définition du moment d'énonciation, essentielle à l'application des opérateurs temporels modaux, ne s'arrête pas aux limites du syntagme verbal ou de l'énoncé. Dans l'exemple suivant, le référentiel temporel est repris de manière anaphorique d'une proposition à l'autre.

Il est rentré à minuit. Il m'a appelé tout de suite.

Ainsi, le moment passé, auquel l'énoncé il est rentré fait référence, doit être utilisé pour calculer celui qui est introduit dans l'énoncé il m'a appelé. Or, ce phénomène de reprise anaphorique des référentiels temporels pose des difficultés aux logiques temporelles (KAMP & REYLE 1993 [56]). Le problème est augmenté par le fait que les relations temporelles entre propositions sont variables. Dans les exemples suivants, la permutation dans l'ordre de prononciation des énoncés change le type de relation qu'ils entretiennent entre eux. Dans le premier cas il s'agit d'une simultanéité, tandis que dans le deuxième cas une inclusion est suggérée.

Elle est sortie voir un ami. Il pleuvait.
Il pleuvait. Elle est sortie voir un ami.

Les référentiels temporels introduits par des mots contribuent pour une part essentielle à la richesse de la temporalité qui s'exprime dans le langage naturel. Or, les opérateurs de la logique temporelle sont, en quelque sorte, amnésiques. Chaque application d'un opérateur masque le référentiel temporel précédent. Il est donc impossible de le reprendre de manière anaphorique.

Dans la logique temporelle, tout est organisé pour que le temps n'intervienne que dans les opérateurs qui préfixent une proposition atemporelle. Dès que l'on veut faire intervenir le temps de manière explicite, il faut au préalable préciser la structure de la dimension temporelle utilisée. Le premier choix qu'il faut opérer est celui de l'ontologie temporelle de base, qui est généralement de type intervalle ou de type instant.

1.5. Les instants et les intervalles

Le repérage temporel prend typiquement deux formes. On peut repérer un instant par rapport à un autre instant, en précisant qu'il est situé en même temps, avant ou après. On peut aussi repérer un intervalle par rapport à un autre intervalle, en précisant qu'il est inclus dans l'autre, qu'il l'inclut, ou qu'ils se chevauchent. Ces deux formes de repérage peuvent être modélisées à l'aide des structures mathématiques, c'est-à-dire des ensembles munis de relations qui lient leurs éléments les uns aux autres.

A logical study of Time presupposes a formal pattern for its subject. [...] Time [can be] considered as a totality of temporal individuals connected by certain relations – as a structure in the model–theoretic sense, that is. [...] Both as regards temporal individuals and relations, various interesting conceptual possibilities exist.

(□AN BENTHEM 1983 [104] p. 1)

Ainsi, il est possible de caractériser les structures mathématiques adéquates aux deux formes de repérage temporel, que nous allons appeler, respectivement, des structures de points et des structures de périodes⁸.

Points

Considérons la structure $\mathbf{P}(\mathcal{P}, <)$, où \mathcal{P} est un ensemble non vide d'individus, appelés points, et $<$ est une relation binaire, appelée relation de précédence. Les intuitions que l'on peut avoir sur la nature et l'organisation des instants du temps peuvent être décrites par les propriétés de cette relation.

La relation de précédence est conçue intuitivement comme un ordre. En mathématique un ordre est avant tout caractérisé par la propriété de transitivité. Si un point précède un autre, il précède aussi tous les points que ce deuxième précède.

$$\forall p \forall q \forall r (p < q \wedge q < r) \supset p < r$$

Notre intuition sur la relation de précédence suggère une deuxième propriété, celle d'irréflexivité, selon laquelle aucun point ne se précède.

$$\forall p \neg p < p$$

La propriété d'asymétrie, selon laquelle deux points ne peuvent pas se précéder mutuellement, peut être déduite des deux propriétés précédentes.

$$\forall p \forall q p < q \supset \neg q < p$$

Ces trois propriétés caractérisent la relation de précédence comme un ordre strict partiel. Cela suffit pour représenter bon nombre d'inférences intuitives concernant l'ordonnement des instants du temps. Cependant l'intuition suggère également plusieurs autres propriétés pour la relation de précédence entre les points.

La première intuition est qu'il est possible de se déplacer au sein d'une structure de points, selon un principe appelé connexion.

⁸ Pour les définitions et les théorèmes de cette section, nous reprenons les travaux sur la variété des ontologies temporelles en théorie des modèles (□AN BENTHEM 1983 [104]).

Soit $\mathcal{P}(\mathcal{P}, <)$ une structure de points. Pour deux points quelconques p et q appartenant à l'ensemble \mathcal{P} , il existe une séquence finie de points r_1, \dots, r_k appartenant au même ensemble, telle que $r_1 = p$ et $r_k = q$, et que pour chaque i entre 1 et k , soit $r_i < r_{i+1}$, soit $r_{i+1} < r_i$.

Ainsi, l'ensemble \mathcal{P} ne peut pas être partitionné en sous-ensembles sans liens de précédence entre eux. Ce principe de connexion peut être précisé en dotant la relation de précédence de la propriété de direction.

$$\begin{aligned} \forall p \forall q \exists r \ p < r \wedge q < r \\ \forall p \forall q \exists r \ r < p \wedge r < q \end{aligned}$$

Cette propriété autorise par exemple des structures de points sous forme de graphe dans lesquelles deux points ne sont comparables que par rapport à un troisième. Une version encore plus contrainte du principe de connexion est celle où, simplement, tous les points se succèdent. Cela correspond à la chronologie de base où l'on peut toujours décider, entre deux points distincts, lequel est antérieur à l'autre. Il s'agit ici d'attribuer à la relation de précédence la propriété de linéarité.

$$\forall p \forall q \ p < q \vee p = q \vee q < p$$

Avec cette propriété, la relation de précédence devient un ordre strict total. Cette contrainte est parfois trop forte, notamment pour exprimer les conditionnels ou le futur vu comme une modalité. Le temps, dans ce cas, doit être doté d'une structure d'arbre, permettant des branchements à droite. Pour ce faire, on doit remplacer la propriété de linéarité par celle de linéarité à gauche.

$$\forall p \forall q \forall r \ (p < r \wedge q < r) \supset (p < q \vee p = q \vee q < p)$$

À l'inverse, une structure d'arbre avec des branchements à gauche, s'obtient à l'aide de la propriété de linéarité à droite.

$$\forall p \forall q \forall r \ (r < p \wedge r < q) \supset (p < q \vee p = q \vee q < p)$$

Une autre réflexion qui peut être faite à propos des structures de points concerne leur début et leur fin. Hors de toute considération cosmologique, on peut toujours concevoir, intuitivement, un point qui précède un point donné dans une structure et un autre qui le suit. Cette absence de borne peut être formulée à l'aide de la propriété de succession.

$$\begin{aligned} \forall p \exists q \ q < p \\ \forall p \exists q \ p < q \end{aligned}$$

Cette propriété confère un caractère infini aux structures de points. Une autre manière d'introduire l'infini dans une structure de points est d'affirmer qu'il existe une infinité de points entre deux points quelconques. Cela revient à doter la relation de précédence de la propriété de densité.

$$\forall p \forall q \ p < q \supset \exists r \ p < r \wedge r < q$$

Si l'on refuse une telle infinité à une structure de points, on peut au contraire considérer qu'elle n'offre qu'une précision finie. La relation de précédence peut être ainsi dotée de la propriété de discrétion.

$$\begin{aligned} \forall p \forall q \ p < q \supset \exists r \ p < r \wedge \neg \exists s \ p < s \wedge s < r \\ \forall p \forall q \ p < q \supset \exists r \ r < q \wedge \neg \exists s \ r < s \wedge s < q \end{aligned}$$

Une autre caractéristique que l'on peut souhaiter attribuer à une structure de points est que toute division exhaustive de cette structure à une partie antérieure et une partie ultérieure, suppose un point de séparation : il n'y en a pas de lacune. Il s'agit de doter la relation de précédence de la propriété de continuité.

$$\forall A (\forall p \forall q ((Ap \wedge \neg Aq) \supset p < q) \wedge \exists r Ar \wedge \exists r \neg Ar) \supset \\ (\exists s (As \vee \neg As) \wedge (\forall t s < t \supset \neg At) \wedge (\forall t t < s \supset At))$$

Dans une logique d'ordre deux, cette propriété exprime le fait que pour tout prédicat unaire A , si l'expression Ap est vraie avant d'être fausse, il existe soit un point où elle est encore vraie, mais devient fausse pour tout point ultérieur, soit un point où elle est déjà fausse, mais restait vraie pour tout point antérieur.

Outre ces propriétés qui viennent d'être mentionnées et qui concernent la relation de précédence entre les points, d'autres principes peuvent être formulés concernant les structures de points. Ces principes introduisent des morphismes sur ces structures⁹. Ils sont, au départ, indépendants de l'axiomatisation qui détermine la nature de la relation de précédence, mais il est possible de les retrouver dans certains modèles d'une telle axiomatique, notamment les modèles mathématiques dits standard.

Un premier principe exprime l'intuition selon laquelle on peut renverser la direction du temps sans en modifier la structure. Il s'agit du principe de symétrie.

Soit $\mathcal{P}(\mathbb{P}, <)$ une structure de points. Pour tout point p appartenant à l'ensemble \mathbb{P} , les deux structures $(\{q:q < p\}, <)$ et $(\{q:p > q\}, >)$, où la relation $>$ est exactement l'opposée de la relation de précédence $<$, sont isomorphes.

En d'autres termes, la structure des points ultérieurs à un point donné est identique à la structure des points antérieurs à ce point. Le principe de symétrie impose évidemment des conditions sur le nombre de points dans les deux directions. Par exemple, la propriété de succession bilatérale de la relation de précédence rend la symétrie possible. On peut formuler un deuxième principe plus fort, celui d'isotropie.

Soit $\mathcal{P}(\mathbb{P}, <)$ une structure de points. Pour tout point p appartenant à l'ensemble \mathbb{P} , les deux structures $(\{q:q < p\}, <)$ et $(\{q:p < q\}, <)$ sont isomorphes.

Ce principe stipule que, vu d'un point, les structures du passé et du futur sont superposables par une opération de projection, sans renversement du temps. Ce principe est rendu possible par les propriétés de succession et de densité de la relation de précédence.

Une autre intuition concerne les projections d'une structure de points sur elle-même. Cette idée est formulée par le principe d'homogénéité.

Soit $\mathcal{P}(\mathbb{P}, <)$ une structure de points. Pour deux points quelconques p et q appartenant à l'ensemble \mathbb{P} , il existe un automorphisme de \mathcal{P} qui projette p sur q .

Autrement dit, on peut projeter n'importe quel point sur n'importe quel autre en conservant la structure globale intacte. Un principe encore plus fort, concernant la projection d'une structure de points sur ses parties propres, est celui de réflexion.

⁹ Les morphismes sont des applications établissant des liens entre les éléments d'ensembles munis de relations. Ils appliquent les individus d'un ensemble sur ceux d'un autre, en conservant les relations analogues établies entre ces individus dans les deux structures. Deux structures analogues sont considérées comme isomorphes s'il existe entre elles un morphisme bijectif, dont l'application réciproque est aussi un morphisme. On appelle automorphisme les isomorphismes d'un ensemble structuré sur lui-même.

Soit $\mathcal{P}(\mathcal{P}, <)$ une structure de points. Pour deux points quelconques p et q appartenant à l'ensemble \mathcal{P} , tels que $p < q$, il existe un isomorphisme entre \mathcal{P} et sa sous-structure $(\{r : p < r \wedge r < q\}, <)$.

Les structures de points fournissent un système de dates qui permet de représenter certains aspects temporels des énoncés du langage. Cependant, de nombreux énoncés portent, directement ou implicitement, sur des durées. Il est donc naturel de s'intéresser à des structures dans lesquelles les intervalles constituent les entités de base.

Périodes

Considérons la structure $\mathcal{P}(\mathcal{P}, \subseteq, <)$, où \mathcal{P} est un ensemble non vide d'individus, appelés périodes, \subseteq est une relation binaire, appelée relation d'inclusion, et $<$ est une relation binaire, appelée relation de précédence. Les intuitions que l'on peut avoir sur la nature et l'organisation des intervalles du temps peuvent être décrites par les propriétés de ces deux relations.

Considérons tout d'abord les propriétés qui doivent être attribuées à la relation d'inclusion. Cette relation représente l'intuition selon laquelle les périodes, au contraire des points, peuvent s'inclure les unes les autres. Ceci crée une hiérarchie d'inclusion qui correspond à un ordre. Ainsi, la relation d'inclusion est, à son tour, caractérisée par la propriété de transitivité.

$$\forall p \forall q \forall r (p \subseteq q \wedge q \subseteq r) \supset p \subseteq r$$

À la différence de la relation de précédence, la relation d'inclusion n'est pas un ordre strict. On peut sans problème concevoir qu'une période s'inclut elle-même. La relation d'inclusion doit donc posséder la propriété de réflexivité.

$$\forall p p \subseteq p$$

En acceptant la propriété de réflexivité, on perd celle d'asymétrie. Pour conserver l'idée de l'absence de symétrie dans l'ordre, il faut attribuer une troisième propriété à la relation d'inclusion, celle d'anti-symétrie.

$$\forall p \forall q (p \subseteq q \wedge q \subseteq p) \supset p = q$$

Ainsi, seules les périodes identiques peuvent s'inclure mutuellement. Les trois propriétés de transitivité, de réflexivité, et d'anti-symétrie font de la relation d'inclusion un ordre large partiel.

À partir de cet ordre, on peut définir deux autres relations entre les périodes. La première est la relation de chevauchement. Deux périodes se chevauchent lorsqu'il existe une troisième période qui est incluse dans les deux.

$$\forall p \forall q p \circ q \stackrel{\text{def}}{=} \exists r r \subseteq p \wedge r \subseteq q$$

Intuitivement, la relation de chevauchement entre deux périodes définit une troisième période. Cette opération devient possible si l'on attribue à la relation d'inclusion la propriété de conjonction.

$$\forall p \forall q p \circ q \supset \exists r r \subseteq p \wedge r \subseteq q \wedge \forall s (s \subseteq p \wedge s \subseteq q) \supset s \subseteq r$$

Autrement dit, le chevauchement de deux périodes définit une plus grande période qui est incluse dans ces deux périodes. Avec cette propriété, la relation d'inclusion peut donner lieu à une opération d'intersection semblable à l'intersection ensembliste. Cette opération aura les propriétés d'absorption, de commutativité et d'associativité. Une différence notable avec

l'intersection ensembliste est que l'intersection entre deux périodes qui ne se chevauchent pas n'est pas définie, car il n'y a pas de période nulle semblable à l'ensemble vide. Il s'agit donc d'une opération d'intersection partielle.

$$\forall p \forall q \forall r \ r = p \cap q \equiv_{\text{def}} r \subseteq p \wedge r \subseteq q \wedge \forall s \ (s \subseteq p \wedge s \subseteq q) \supset s \subseteq r$$

Une autre propriété importante à formuler sur la relation d'inclusion prescrit que si toutes les parties d'une période chevauchent une autre période, alors la première est incluse dans la deuxième. Il s'agit de la propriété de liberté.

$$\forall p \forall q \ (\forall r \ r \subseteq p \supset r \cap q) \supset p \subseteq q$$

Cette propriété confère une constituance par rapport aux périodes incluses : si une période p n'est pas incluse dans une deuxième période q , alors il existe une période r , incluse dans p , responsable de ce fait, c'est-à-dire que r ne chevauche pas q .

À partir de l'ordre large partiel défini par la relation d'inclusion, on peut définir une deuxième relation entre les périodes, la relation de recouvrement. Cette relation impose qu'il existe une troisième période qui recouvre les deux périodes en relation.

$$p \cup q \equiv_{\text{def}} \exists r \ p \subseteq r \wedge q \subseteq r$$

De manière parallèle à ce qui a été dit pour la relation de chevauchement, la relation de recouvrement entre deux périodes peut définir une troisième période. Pour rendre possible une telle opération, la relation d'inclusion doit être dotée de la propriété de disjonction.

$$\forall p \forall q \ p \cup q \supset \exists r \ p \subseteq r \wedge q \subseteq r \wedge \forall s \ (p \subseteq s \wedge q \subseteq s) \supset r \subseteq s$$

Autrement dit, le recouvrement de deux périodes définit une plus petite période qui inclut les deux premières. Cette propriété de la relation d'inclusion peut donner lieu, à son tour, à une opération d'union.

$$\forall p \forall q \forall r \ r = p \cup q \equiv_{\text{def}} p \subseteq r \wedge q \subseteq r \wedge \forall s \ (p \subseteq s \wedge q \subseteq s) \supset r \subseteq s$$

Cette opération ressemble à l'union ensembliste, avec la différence que, dans le cas des périodes, le résultat peut inclure des périodes qui ne sont pas incluses dans les deux périodes de départ. Il est possible de définir une nouvelle opération, celle de somme, qui exclut une telle possibilité.

$$\forall p \forall q \forall r \ r = p + q \equiv_{\text{def}} r = p \cup q \wedge \forall s \ s \subseteq r \supset (s \cap p \vee s \cap q)$$

Dans cette nouvelle construction, la période r se découpe exhaustivement en deux parties correspondant aux périodes p et q . Les deux opérations d'union et de somme ont, à leur tour, les propriétés d'absorption, de commutativité et d'associativité.

Contrairement à la relation de chevauchement, la relation de recouvrement peut être conçue entre n'importe quel couple de périodes. Pour le permettre, il suffit de doter la relation d'inclusion de la propriété de direction.

$$\forall p \forall q \ p \cup q$$

Cette propriété peut donner un caractère arbitrairement grand à la structure des périodes, c'est-à-dire qu'il est possible de construire des périodes de plus en plus grandes. De manière inverse, on peut dire qu'il y a toujours des périodes de plus en plus petites. Cette idée suggère la propriété de descente infinie.

$$\forall p \forall q \ q \subseteq p \supset \exists r \ r \subseteq q \wedge \neg r = q$$

Il est parfaitement possible de refuser la propriété précédente. On peut très bien imaginer que les périodes ne peuvent pas être plus petites qu'un grain défini. Dans ce cas la relation d'inclusion sera dotée de la propriété d'atomicité.

$$\forall p \exists q q \subseteq p \wedge \forall r r \subseteq q \supset r = q$$

Considérons maintenant la relation de précédence. Intuitivement, il s'agit d'un ordre strict partiel, c'est-à-dire une relation possédant les mêmes propriétés de transitivité, d'irréflexivité, et d'asymétrie que la précédence entre les points. L'absence de borne dans une structure de périodes peut être caractérisée, comme dans le cas des points, par les propriétés de succession de la relation de précédence. De même, la propriété de direction de la relation de précédence, comme dans le cas des points, peut rendre possible le principe de connexion pour une structure de périodes. La propriété de linéarité, quant à elle, se formule par une propriété mixte qui lie les deux relations d'inclusion (sous la forme de la relation de chevauchement) et de précédence.

$$\forall p \forall q p < q \vee q < p \vee p \circ q$$

On peut voir ainsi dans la relation de précédence l'équivalent d'un ordre strict total, puisque toutes les périodes sont, sauf quand elles se chevauchent, nécessairement comparables. Une exigence plus forte peut être formulée pour une structure de périodes, qui précise que les relations de précédence et de chevauchement, et *a fortiori* d'inclusion, sont incompatibles. Les relations de précédence et d'inclusion peuvent ainsi être liées par la propriété de séparation.

$$\forall p \forall q p < q \supset \neg p \circ q$$

L'alternative entre un ordre dense ou discret pour les points trouve un parallèle dans les propriétés de descente infinie ou d'atomicité de la relation d'inclusion, qui déterminent l'existence ou non de périodes de plus en plus petites. En ce qui concerne la relation de précédence, son caractère discret peut s'exprimer par la propriété de voisinage : toute période possède deux voisins immédiats.

$$\forall p \forall q p < q \supset \exists r p < r \wedge \neg \exists s p < s \wedge s < r$$

$$\forall p \forall q p < q \supset \exists r r < q \wedge \neg \exists s r < s \wedge s < q$$

Cette propriété correspond assez bien à l'intuition que l'on peut avoir de l'agencement des intervalles du temps. Le choix inverse, qui confère un caractère dense à la relation de précédence, semble contre-intuitif. Il suppose qu'il existe une troisième période entre deux périodes quelconques. Un tel choix demande une réflexion supplémentaire sur la notion même de voisinage¹⁰. Il existe une manière plus naturelle d'exprimer une propriété de densité en rapport avec la relation de précédence, en la liant à la relation d'inclusion.

$$\forall p \exists q \exists r p = q \cup r \wedge q < r$$

Cette propriété stipule que toute période p possède une aile gauche et une aile droite, représentées respectivement par les périodes q et r . Il s'agit d'une propriété mixte, où la relation d'inclusion intervient par le biais de l'opération d'union. Noter que cette propriété de densité autorise la présence d'un fossé entre les deux périodes q et r . Pour exclure une telle possibilité, on peut formuler la propriété de densité renforcée, où la relation d'inclusion intervient par le biais de l'opération de somme.

$$\forall p \exists q \exists r p = q + r \wedge q < r$$

¹⁰ Nous reviendrons plus loin sur la notion topologique de voisinage et sa pertinence au sujet de la modélisation des relations temporelles exprimées par les énoncés langagiers.

Cette nouvelle propriété suppose que toute période p peut être découpée de manière exhaustive en deux périodes q et r qui sont immédiatement voisines l'une de l'autre.

Les relations de précédence et d'inclusion peuvent aussi être liées pour renforcer l'idée exprimée par la propriété de liberté. Il s'agit d'affirmer que si une période p ne précède pas une deuxième période q , alors il existe deux périodes r et s , respectivement incluses dans p et dans q , responsables de ce fait, c'est-à-dire qu'il n'existe aucune période incluse dans r précédant une période incluse dans s . En ajoutant cette propriété à la propriété de liberté définie ci-dessus, nous obtenons la propriété de liberté renforcée.

$$\forall p \forall q \neg p < q \supset \exists r \exists s r \subseteq p \wedge s \subseteq q \wedge \forall t \forall u (t \subseteq r \wedge u \subseteq s) \supset \neg t < u$$

Une autre propriété mixte est celle qui impose à la relation de précédence de se propager aux périodes incluses dans une période donnée. Il s'agit de la propriété de monotonie.

$$\begin{aligned} \forall p \forall q p < q \supset \forall r r \subseteq p \supset r < q \\ \forall p \forall q p < q \supset \forall r r \subseteq q \supset p < r \end{aligned}$$

La dernière propriété mixte que l'on peut formuler est celle de convexité, qui stipule que si une période en recouvre deux autres, elle recouvre également toutes les périodes intermédiaires.

$$\forall p \forall q \forall r (p < q \wedge q < r) \supset \forall s (p \subseteq s \wedge r \subseteq s) \supset q \subseteq s$$

Enfin, de même que nous avons des principes concernant les morphismes dans les structures de points, nous pouvons formuler ici le principe de réflexion pour une structure de périodes.

Soit $\mathcal{P}(\mathcal{P}, \subseteq, <)$ une structure de périodes. Pour toute période p appartenant à l'ensemble \mathcal{P} , la restriction de \mathcal{P} à l'ensemble des sous-périodes de p est isomorphe à \mathcal{P} .

Il résulte de ce qui précède que les points et les périodes sont deux moyens cohérents de représenter le temps. On pourrait s'en étonner, tant l'intuition qui sous-tend ces deux approches est différente : les points sont censés représenter des dates, alors que les périodes représentent des durées. Il peut être réconfortant pour l'intuition de savoir qu'il existe plusieurs moyens d'établir une équivalence entre les deux approches.

Points versus Périodes

Même si instants et intervalles apparaissent comme de nature radicalement différente, il existe un lien entre les deux : l'intuition mathématique suggère qu'un intervalle peut apparaître comme un ensemble constitué d'instants et, à l'inverse, qu'un instant peut être vu comme ce qui est commun à un ensemble d'intervalles emboîtés. Cette intuition est confirmée par le fait qu'il est possible de définir les structures de points et les structures de périodes les unes à partir des autres.

Pour exposer cette correspondance, nous nous basons sur les définitions minimales suivantes pour les structures de points et les structures de périodes.

Une structure de points $\mathcal{P}(\mathcal{P}, <)$ est définie par la donnée d'un ensemble non vide \mathcal{P} muni d'une relation d'ordre strict partiel $<$, appelée la relation de précédence.

Une structure de périodes $\mathcal{P}(\mathcal{P}, \subseteq, <)$ est définie par la donnée d'un ensemble non vide \mathcal{P} muni d'une relation d'ordre strict partiel $<$, appelée la relation de précédence, et d'une relation d'ordre large partiel, appelée la relation d'inclusion, définissant une opération d'intersection partielle, ces deux relations étant liées par la propriété mixte de monotonie.

La manière la plus simple de définir des périodes à partir des points consiste à considérer les premiers comme des ensembles des seconds. Cependant, tout ensemble de points ne possède pas les propriétés suffisantes pour servir de base à la définition d'une période. Une de ces propriétés est celle de la convexité.

Soit $\mathcal{P}(\mathcal{P}, <)$ une structure de points. Un sous-ensemble c de l'ensemble \mathcal{P} est convexe, si et seulement si pour deux points quelconques p et q appartenant à c , et pour tout point r appartenant à \mathcal{P} , si $p < r$ et $r < q$, alors r appartient à c .

Pour tout sous-ensemble d'une structure d'ordre strict partiel, il existe une clôture convexe. Cette clôture s'obtient par une procédure qui consiste à ajouter à ce sous-ensemble tous les éléments intermédiaires entre chaque paire de ces éléments.

Ainsi, à partir d'une structure de points, il est possible de définir une structure de périodes dont les éléments ne sont que des sous-ensembles convexes non vides de cette structure de points.

Soit $\mathcal{P}(\mathcal{P}, <)$ une structure de points. La structure de périodes convexes $\mathcal{CP}(\mathcal{C}, \subseteq_c, <_c)$ introduite par \mathcal{P} est définie par la donnée de \mathcal{C} , l'ensemble des sous-ensembles convexes non vides de l'ensemble \mathcal{P} , de la relation d'inclusion ensembliste \subseteq_c , et d'une relation de précédence $<_c$. Cette relation est telle que $c <_c d$ pour deux sous-ensembles convexes quelconques c et d appartenant à \mathcal{C} , si et seulement si pour deux points quelconques p et q appartenant respectivement à c et à d , $p < q$.

On peut vérifier que \mathcal{CP} satisfait les conditions d'une structure de périodes définies ci-dessus. La relation d'ordre large est donnée par l'inclusion ensembliste entre sous-ensembles convexes. De même, l'intersection partielle est issue de l'intersection ensembliste restreinte aux résultats non vides, par le fait que l'intersection de deux ensembles convexes est convexe. La transitivité et l'irréflexivité de la relation $<_c$ s'héritent de celles de la relation $<$. La propriété de monotonie découle naturellement du fait que la relation \subseteq_c correspond à l'inclusion ensembliste. De plus, on remarque que \mathcal{CP} possède la propriété de convexité.

Construire une structure de périodes à partir des sous-ensembles convexes de points est donc possible, mais l'exigence de convexité n'est pas nécessaire. Il suffit que soit garantie l'existence d'une opération partielle d'intersection. Ceci peut être obtenu directement par la définition d'une structure d'intervalles de points.

Soit $\mathcal{P}(\mathcal{P}, <)$ une structure de points. Une structure d'intervalles de points $\mathcal{IP}(\mathcal{I}, \subseteq_i, <_i)$ introduite par \mathcal{P} est définie par la donnée de \mathcal{I} , un ensemble de sous-ensembles non vides de l'ensemble \mathcal{P} , clos par la formation d'intersections ensemblistes non vides, de la relation d'inclusion ensembliste \subseteq_i , et d'une relation de précédence $<_i$. Cette relation est telle que $i <_i j$ pour deux intervalles quelconques i et j appartenant à l'ensemble \mathcal{I} , si et seulement si pour deux points quelconques p et q , appartenant respectivement à i et à j , $p < q$.

On vérifie facilement que \mathcal{IP} satisfait les conditions d'une structure de périodes définies ci-dessus. L'existence d'une opération partielle d'intersection vient de la clôture de

l'ensemble \mathbb{I} qui fait que l'intersection ensembliste non vide de deux éléments de cet ensemble lui appartient aussi.

L'opération inverse, qui consiste à définir une structure de points à partir d'une structure de périodes, n'est pas aussi facile. Une première idée consiste à définir les points comme les plus petites périodes. C'est évidemment possible quand la structure de périodes possède la propriété d'atomicité. Ainsi, à partir d'une structure de périodes, il est possible de définir une structure de points dont les éléments ne sont que des atomes de cette structure de périodes.

Soit $\mathbf{P}(\mathbb{P}, \subseteq, <)$ une structure de périodes dotée de la propriété d'atomicité. La structure d'atomes de périodes $\mathbf{AP}(\mathbb{A}, <_a)$ introduite par \mathbf{P} est définie par la donnée de \mathbb{A} , l'ensemble des atomes de l'ensemble \mathbb{P} , et d'une relation de précédence $<_a$ qui est la restriction de la relation $<$ de \mathbb{P} à \mathbb{A} .

On vérifie facilement que \mathbf{AP} est une structure de points. Il suffit d'observer que la relation $<_a$ est une relation d'ordre strict partiel, ce qui provient du fait qu'il s'agit de la restriction d'une relation d'ordre strict partiel.

De plus, on peut vérifier qu'une structure d'atomes de périodes offre une représentation du temps qui, sous certaines conditions, est la même que celle de la structure de périodes qui l'introduit. Pour ce faire, il suffit de l'utiliser pour reconstituer une nouvelle structure de périodes, et montrer que cette dernière structure est isomorphe à la structure de périodes initiale. Il faut toutefois que celle-ci possède la propriété de liberté renforcée.

Soit $\mathbf{AP}(\mathbb{A}, <_a)$ une structure d'atomes de périodes introduite par une structure de périodes $\mathbf{P}(\mathbb{P}, \subseteq, <)$ dotée des propriétés d'atomicité et de liberté renforcée. La structure d'intervalles d'atomes $\mathbf{IAP}(\mathbb{I}, \subseteq_i, <_i)$ introduite par \mathbf{AP} est définie par la donnée de \mathbb{I} , l'ensemble de toutes les projections $i = \text{atomes}(p)$, où $\text{atomes}(p)$ est l'ensemble de tous les atomes inclus dans une période quelconque p appartenant à l'ensemble \mathbb{P} , de la relation d'inclusion ensembliste \subseteq_i , et d'une relation de précédence $<_i$. Cette relation est telle que $i <_i j$ pour deux intervalles quelconques i et j appartenant à l'ensemble \mathbb{I} , si et seulement si pour deux atomes quelconques a et b , appartenant respectivement à i et à j , $a <_a b$.

Cette définition produit bien une structure d'intervalles de points, car l'ensemble \mathbb{I} , ainsi défini, est clos pour la formation d'intersections ensemblistes. Pour deux périodes quelconques p et q appartenant à l'ensemble \mathbb{P} , si l'intersection ensembliste des deux intervalles $i = \text{atomes}(p)$ et $j = \text{atomes}(q)$ existe, alors il existe au moins un atome qui est inclus à la fois dans p et dans q , si bien que l'intersection entre p et q existe. Il est facile de vérifier que l'intervalle correspondant aux atomes inclus dans la période $p \cap q$ est équivalent à l'intersection ensembliste entre i et j . Donc cette dernière appartient à \mathbb{I} .

Pour que la structure de périodes ainsi obtenue soit isomorphe à la structure de départ, il faut premièrement que la projection atomes soit injective, c'est-à-dire que pour deux périodes quelconques différentes p et q appartenant à l'ensemble \mathbb{P} , les projections $\text{atomes}(p)$ et $\text{atomes}(q)$ soient deux intervalles différents appartenant à l'ensemble \mathbb{I} . Ceci nécessite que la relation \subseteq possède au moins la propriété de liberté. La propriété d'anti-symétrie implique que $\neg p \subseteq q$ ou $\neg q \subseteq p$. La propriété de liberté, elle, implique que si $\neg p \subseteq q$, alors il existe des périodes incluses dans p qui ne chevauchent pas q , et donc qu'il existe des atomes inclus dans p qui ne sont pas inclus dans q , si bien que l'on a $\neg \text{atomes}(p) = \text{atomes}(q)$. Un argument équivalent peut être formulé pour le cas où $\neg q \subseteq p$. Dans ce raisonnement, la

propriété de liberté permet de considérer les atomes comme les constituants des périodes de \mathcal{P} , ce qui permet de les faire correspondre aux éléments appartenant aux intervalles de \mathbf{IAP} .

Dans un deuxième temps, il faut que la projection atomes engendre une relation \subseteq_i isomorphe à la relation \subseteq . La transitivité de la relation d'inclusion \subseteq suffit pour démontrer que, pour deux périodes quelconques p et q , si $p \subseteq q$, alors $\text{atomes}(p) \subseteq_i \text{atomes}(q)$. Pour démontrer la clause réciproque, c'est-à-dire, pour deux périodes quelconques p et q , si $\text{atomes}(p) \subseteq_i \text{atomes}(q)$ alors $p \subseteq q$, il faut faire intervenir la propriété de liberté comme précédemment.

Dans un troisième temps, il faut que la projection atomes engendre une relation $<_i$ isomorphe à la relation $<$. La propriété de monotonie suffit pour démontrer que, pour deux périodes quelconques p et q , si $p < q$ alors $\text{atomes}(p) <_i \text{atomes}(q)$. La démonstration de la clause réciproque, à savoir, le fait que pour deux périodes quelconques p et q , si $\text{atomes}(p) <_i \text{atomes}(q)$, alors $p < q$, nécessite l'usage de la deuxième partie de la propriété de liberté renforcée. Supposons que p ne précède pas q . Alors il existe deux périodes r et s , telles que $r \subseteq p$ et $s \subseteq q$, et il n'existe aucune période incluse dans r précédant une période incluse dans s . Or deux telles périodes ne peuvent pas exister car tous les atomes de la période p précèdent les atomes de la période q .

La construction qui précède permet de montrer qu'il existe une structure de points équivalente à toute structure de périodes sous certaines conditions, notamment que la structure de périodes possède la propriété d'atomicité. Or, cette dernière exigence peut être évitée. Pour définir des points à partir de périodes dépourvues d'atomes, on utilise la notion de filtre.

Soit $\mathcal{P}(\mathcal{P}, \subseteq, <)$ une structure de périodes. Un sous-ensemble f de l'ensemble \mathcal{P} est un filtre, si et seulement si pour toute période p appartenant à l'ensemble f , toutes les périodes q , telles que $p \subseteq q$, appartiennent à f , et pour deux périodes quelconques p et q appartenant à f , la période $p \cap q$ existe et appartient à f .

Notamment, il est possible de définir un filtre f_p pour toute période p comme l'ensemble de toutes les périodes q telles que $p \subseteq q$. Il est intéressant de constater que les filtres présentent la propriété de décomposition, c'est-à-dire que pour tout filtre f , deux périodes quelconques p et q appartiennent à ce filtre si et seulement si la période $p \cap q$ lui appartient.

Ainsi, à partir d'une structure de périodes, il est possible de définir une structure de points dont les éléments ne sont que des filtres de cette structure de périodes, sans qu'aucune propriété supplémentaire ne soit nécessaire pour celle-ci.

Soit $\mathcal{P}(\mathcal{P}, \subseteq, <)$ une structure de périodes. La structure de filtres de périodes $\mathbf{FP}(\mathcal{F}, <_f)$ introduite par \mathcal{P} est définie par la donnée de \mathcal{F} , l'ensemble des filtres non vides de l'ensemble \mathcal{P} , et d'une relation de précédence $<_f$ telle que $f <_f g$ pour deux filtres quelconques f et g appartenant à \mathcal{F} , si et seulement s'il existe deux périodes p et q appartenant respectivement à f et à g , telles que $p < q$.

Pour vérifier que \mathbf{FP} est une structure de points, il suffit d'observer que la relation $<_f$ est une relation d'ordre strict partiel. Supposons, que $f <_f g$ et $g <_f h$, pour trois filtres quelconques f et g et h . On aura $p < q$ et $r < s$, où les périodes q et r appartiennent à g , et les périodes p et s appartiennent respectivement à f et à h . Or, par la propriété de monotonie, p précède la période $q \cap r$, qui, à son tour, précède s . Par transitivité de la relation $<$, p précède donc s , si bien que $f <_f h$. En outre, si $f <_f f$, alors deux périodes p et q

appartenant à f sont telles que $p < q$. Par la propriété de monotonie, la période $p \cap q$ se précède elle-même, ce qui n'est pas possible en raison d'irréflexivité de la relation $<$. Donc la relation $<_f$ est bien un ordre strict.

Pour montrer que la structure de filtres de périodes représente bien la même structure temporelle que la structure de périodes de départ, le mieux est de montrer que l'on peut reconstituer, à partir de la première, une structure isomorphe à la deuxième.

Soit $\mathbf{FP}(F, <_f)$ une structure de filtres de périodes introduite par une structure de périodes $\mathbf{P}(P, \subseteq, <)$. La structure d'intervalles de filtres $\mathbf{IFP}(I, \subseteq_i, <_i)$ introduite par \mathbf{FP} est définie par la donnée de I , l'ensemble de toutes les projections $i = \text{filtres}(p)$, où $\text{filtres}(p)$ est l'ensemble de tous les filtres auxquels appartient une période quelconque p appartenant à l'ensemble P , de la relation d'inclusion ensembliste \subseteq_i , et d'une relation de précédence $<_i$. Cette relation est telle que $i <_i j$ pour deux intervalles quelconques i et j appartenant à l'ensemble I , si et seulement si pour deux filtres quelconques f et g appartenant respectivement à i et à j , $f <_f g$.

Pour vérifier que \mathbf{IFP} est bien une structure d'intervalles de points, il faut montrer que l'ensemble I contient toutes les intersections ensemblistes non vides de ses éléments. Pour deux périodes quelconques p et q appartenant à l'ensemble P , si l'intersection des intervalles deux $i = \text{filtres}(p)$ et $j = \text{filtres}(q)$ existe, alors il existe un filtre qui contient p et q . Ce filtre contient donc aussi la période $p \cap q$. Par la propriété de décomposition, on vérifie facilement que l'intervalle $\text{filtres}(p \cap q)$ est équivalent à l'intersection ensembliste entre i et j . Donc cette dernière appartient à I .

Pour qu'il y ait isomorphisme, il faut que premièrement que la projection filtres soit injective. Pour deux périodes quelconques différentes p et q appartenant à l'ensemble P , les intervalles associés, $i = \text{filtres}(p)$ et $j = \text{filtres}(q)$, doivent être différents. La propriété d'anti-symétrie implique que $\neg p \subseteq q$ ou $\neg q \subseteq p$. Or si $\neg p \subseteq q$, alors on connaît au moins un filtre auquel appartient p , à savoir le filtre f_p , et auquel q n'appartient pas. Un argument équivalent peut être formulé pour le cas où $\neg q \subseteq p$. Donc les intervalles i et j sont différents.

Il faut ensuite que la projection filtres engendre une relation \subseteq_i isomorphe à la relation \subseteq . Par définition des filtres, pour deux périodes quelconques p et q , si $p \subseteq q$ alors $\text{filtres}(p) \subseteq_i \text{filtres}(q)$. L'existence des filtres f_p et f_q suffit pour montrer que, pour deux périodes quelconques p et q , si $\text{filtres}(p) \subseteq_i \text{filtres}(q)$, alors $p \subseteq q$.

Enfin, il faut que la projection filtres engendre une relation $<_i$ isomorphe à la relation $<$. Pour deux périodes quelconques p et q , si $p < q$, alors par la définition des relations $<_f$ et $<_i$, $\text{filtres}(p) <_i \text{filtres}(q)$. Inversement, pour deux périodes quelconques p et q , si $\text{filtres}(p) <_i \text{filtres}(q)$, alors en particulier $f_p <_f f_q$. Il existe donc deux périodes r et s , appartenant respectivement à f_p et à f_q telles que $r < s$. Comme $p \subseteq r$ et $q \subseteq s$, on obtient par la propriété de monotonie que $p < q$.

La construction qui précède permet de montrer qu'il existe une structure de points équivalente à toute structure de périodes, sans imposer aucune exigence supplémentaire sur cette dernière. Or la contrepartie de cette flexibilité est que les structures de points ainsi construites présentent un défaut intrinsèque : elles contiennent trop d'éléments.

Pour exposer ce problème, prenons l'exemple d'une structure de périodes finie $\mathbf{P}(P, \subseteq, <)$, telle que $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$, et que $p_4 \subseteq p_2$, $p_2 \subseteq p_1$, et $p_3 \subseteq p_1$. Les ensembles $f_1 = \{p_1\}$, $f_2 = \{p_1, p_2\}$, $f_3 = \{p_1, p_3\}$, et $f_4 = \{p_1, p_2, p_4\}$ constituent les

filtres définis à partir de \mathcal{P} . La structure d'intervalles de filtres qui en résulte contient les ensembles $i_1 = \{f_1, f_2, f_3, f_4\}$, $i_2 = \{f_2, f_4\}$, $i_3 = \{f_3\}$, et $i_4 = \{f_4\}$. Il est facile de vérifier que la même structure d'intervalles de filtres pourrait résulter des seuls trois filtres f_2 , f_3 , et f_4 . Autrement dit, le filtre f_1 est redondant par rapport aux trois autres filtres.

Pour remédier à ce défaut, on peut modifier la construction précédente en introduisant la notion d'ultrafiltre.

Soit $\mathcal{P}(\mathcal{P}, \subseteq, <)$ une structure de périodes. Un sous-ensemble u de l'ensemble \mathcal{P} est un ultrafiltre, si et seulement si u est un filtre, et pour toute période p n'appartenant pas à u , il existe une période q appartenant à u , telle que $\neg p \circ q$.

L'intérêt principal de l'emploi des ultrafiltres réside dans le fait que chaque fois qu'ils contiennent une période, ils contiennent au moins l'une des périodes qui la constituent. Cette idée de constituance peut être formulée à l'aide de l'opération de somme. Supposons que pour une période quelconque p appartenant à un ultrafiltre u , il existe deux périodes q et r , telles que $p = q + r$. On peut vérifier que soit q appartient à u , soit r appartient à u , soit les deux lui appartiennent. Car, supposons qu'aucune des deux périodes q et r n'appartienne au filtre u . Selon la définition ci-dessus, il existe deux autres périodes s et t appartenant à u , telles que $\neg s \circ q$ et $\neg t \circ r$. Mais, u étant un filtre, la période $s \cap t \cap p$ existe et appartient à u . Or, par la définition de l'opération de somme, cette dernière période doit avoir une intersection avec au moins l'une des deux périodes q et r , ce qui est contradictoire avec notre dernière supposition.

Dans l'exemple ci-dessus, le filtre $f_1 = \{p_1\}$ n'est pas un ultrafiltre : il ne contient aucune des deux branches constituantes de la période p_1 . C'est pour cette raison qu'il est redondant par rapport aux deux ultrafiltres f_2 et f_3 qui, eux, contiennent chacun une branche possible de cette période, à savoir, respectivement, p_2 et p_3 . Ainsi le filtre f_1 représente un point surnuméraire par rapport à la structure de points optimale associée à la structure de périodes de départ.

Ainsi, à partir d'une structure de périodes, il est possible de définir une structure de points dont les éléments ne sont que des ultrafiltres de cette structure de périodes.

Soit $\mathcal{P}(\mathcal{P}, \subseteq, <)$ une structure de périodes. La structure d'ultrafiltres de périodes $\mathcal{UP}(\mathcal{U}, <_u)$ introduite par \mathcal{P} est définie par la donnée de \mathcal{U} , l'ensemble des ultrafiltres de l'ensemble \mathcal{P} , et d'une relation de précédence $<_u$ telle que $u <_u v$ pour deux ultrafiltres quelconques u et v , si et seulement si il existe deux périodes p et q appartenant respectivement à u et à v , telles que $p < q$.

Avant de vérifier que \mathcal{UP} conduit à une structure de points, encore faut-il s'assurer que cette définition a un contenu, autrement dit que ces ultrafiltres de périodes existent. C'est bien le cas, car il est possible de démontrer que tout filtre est inclus dans un ultrafiltre. Ce théorème, qui est un équivalent de l'axiome du choix, se démontre en constatant qu'à partir d'un filtre, on peut construire une chaîne de filtres qui s'ordonnent de manière croissante pour l'inclusion. Cette chaîne admet un élément maximal qui est un ultrafiltre. À partir de là, on peut définir une structure d'ultrafiltres pour n'importe quelle structure de périodes.

La vérification du fait que \mathcal{UP} est une structure de points s'effectue exactement de la même manière que cette même vérification pour une structure de filtres de périodes. Pour montrer que la structure d'ultrafiltres de périodes représente bien la même structure temporelle que la structure de périodes de départ, il suffit de l'utiliser pour reconstituer une nouvelle structure de périodes, et montrer que cette dernière structure est isomorphe à la

structure de périodes initiale. Il faut toutefois que celle-ci possède la propriété de liberté renforcée.

Soit $\mathcal{UP}(U, <_u)$ une structure d'ultrafiltres de périodes introduite par une structure de périodes $\mathcal{P}(P, \subseteq, <)$ dotée de la propriété de liberté renforcée. La structure d'intervalles d'ultrafiltres $\mathcal{IUP}(I, \subseteq_i, <_i)$ introduite par \mathcal{UP} est définie par la donnée de I , l'ensemble de toutes les projections $i = \text{ultrafiltres}(p)$, où $\text{ultrafiltres}(p)$ est l'ensemble de tous les ultrafiltres auxquels appartient une période quelconque p appartenant à l'ensemble P , de la relation d'inclusion ensembliste \subseteq_i , est d'une relation de précédence $<_i$. Cette relation est telle que $i <_i j$ pour deux intervalles quelconques i et j appartenant à l'ensemble I , si et seulement si pour deux ultrafiltres quelconques u et v appartenant respectivement à i et à j , $u <_u v$.

La vérification du fait que \mathcal{IUP} est une structure d'intervalles de points isomorphe à la structure de périodes initiale, s'effectue par les mêmes étapes que cette même vérification pour une structure de filtres de périodes. Parmi ces étapes, seules celles pour lesquelles l'hypothèse de l'existence des filtres du type f_p dans toute structure de filtres de périodes a été utilisée, nécessite une démonstration différente. Car ces filtres ne sont pas obligatoirement des ultrafiltres : dans l'exemple ci-dessus le filtre f_1 est un filtre de ce type, et ce n'est pas un ultrafiltre.

Il faut donc démontrer, dans un premier temps, que, pour deux périodes quelconques p et q appartenant à P , si $\text{ultrafiltres}(p) \subseteq_i \text{ultrafiltres}(q)$, alors $p \subseteq q$.

Pour ce faire, supposons qu'il existe deux périodes p et q , telles que $\neg p \subseteq q$ et $\text{ultrafiltres}(p) \subseteq_i \text{ultrafiltres}(q)$. Selon la propriété de liberté de la relation \subseteq il existe une troisième période r , telle que $r \subseteq p$ et $\neg r \cap q$. Les périodes r et p appartiennent au filtre f_r qui est inclus dans un ultrafiltre u . Or, la période q est exclue de cet ultrafiltre. Donc, il existe au moins un ultrafiltre u qui appartient à l'intervalle $\text{ultrafiltres}(p)$, et qui n'appartient pas à l'intervalle $\text{ultrafiltres}(q)$, ce qui est contradictoire avec notre hypothèse initiale.

Dans un deuxième temps, il faut démontrer que, pour deux périodes quelconques p et q appartenant à P , si $\text{ultrafiltres}(p) <_i \text{ultrafiltres}(q)$, alors $p < q$.

Pour ce faire, supposons qu'il existe deux périodes p et q , telles que $\neg p < q$ et $\text{ultrafiltres}(p) <_i \text{ultrafiltres}(q)$. Selon la propriété de liberté renforcée de la relation \subseteq il existe deux périodes r et s , telle que $r \subseteq p$ et $s \subseteq q$, et aucune sous-période de la période r ne précède une sous-période de la période s . De même, il existe au moins deux ultrafiltres u et v , auxquels appartiennent respectivement r et s : ce sont les ultrafiltres qui incluent les filtres f_r et f_s . Or, si $u <_u v$, alors u et v contiennent respectivement deux périodes m et n , telles que $m < n$. Ainsi, les périodes $m \cap r$ et $n \cap s$ existent, et selon la propriété de monotonie $m \cap r < n \cap s$. Mais ceci est contradictoire avec la contrainte prononcée à propos des périodes r et s . Ainsi, il existe deux ultrafiltres, u et v , appartenant respectivement aux intervalles $\text{ultrafiltres}(p)$ et $\text{ultrafiltres}(q)$, tels que $\neg u <_u v$, ce qui est contradictoire avec notre hypothèse initiale.

Le développement qui précède montre que, sous certaines conditions minimales, les structures de points et les structures de périodes sont deux manières équivalentes de représenter le temps. Ceci suggère que la distinction intuitive entre les instants et les intervalles peut disparaître lorsqu'il s'agit d'une caractérisation mathématique de la structure du temps en termes de points ou de périodes. Cependant, cette distinction, loin d'être inhérente à l'organisation d'une dimension temporelle réifiée, est inspirée par le fait que les

énoncés du langage peuvent exprimer les situations, tantôt comme des changements ponctuels, tantôt comme des périodes de stabilité. Pour une modélisation mathématique plausible de l'expression langagière du temps, la tâche essentielle est donc de rendre compte de cette dualité.

La structure temporelle et les situations

L'adoption d'une structure temporelle, qu'il s'agisse d'une structure de points ou d'une structure de périodes, n'est qu'une première étape dans la représentation des situations exprimées par le langage. Il faut, de plus, intégrer cette structure dans le système logique qui modélise les énoncés langagiers.

Dans le cadre d'une logique d'ordre un, pour représenter la stabilité d'une situation, il semble plausible d'établir un lien entre la valeur de vérité d'un prédicat et un ensemble d'instantanés du temps. De même, pour représenter un changement de situation, on peut relier un instant du temps à la modification de valeur de vérité d'un prédicat. Or, ces deux opérations se révèlent inadéquates lorsqu'il s'agit d'exprimer la stabilité et le changement couramment véhiculés par le langage.

Considérons les énoncés suivants.

- (1) Ce matin, il n'était pas à l'université.
- (2) Cet après-midi, il était à l'université.
- (3) À midi, il est arrivé à l'université.

On peut représenter ces trois énoncés à l'aide d'un prédicat α qui représente la situation d'être à l'université¹¹. La constante t_0 représente l'instant présent.

$$\exists t_1 \exists t_2 \exists t_3 \ t_3 < t_2 < t_1 < t_0 \wedge \\ \forall t \ (t_3 < t < t_2 \supset \neg \alpha(t)) \wedge (t_2 < t < t_1 \supset \alpha(t))$$

Ce type de représentation oblige à traiter différemment le groupe verbal être à l'université, qui est traduit par le prédicat α , et le groupe verbal arriver à l'université, qui est rendu par une expression logique composée. De plus, il faut obligatoirement que l'arrivée corresponde à un instant du temps. Or, cela rend impossible la représentation d'un énoncé comme le téléphone a sonné pendant qu'il arrivait.

Le problème vient du fait que, dans cette démarche, la distinction intuitive entre la stabilité d'une situation et son changement, est représentée par l'emploi respectif d'un ensemble d'instantanés et d'un instant isolé. Si l'on renonce à ce choix, il faut supposer l'existence de deux instantanés passés distincts t_4 et t_5 , tels que $t_5 < t_4$, et qui prendront la place de t_2 , respectivement, dans les clauses associées aux expressions $\neg \alpha(t)$ et $\alpha(t)$. Ainsi, l'arrivée peut être représentée par une expression $\beta(t)$, qui aura la valeur vraie pour l'ensemble des instantanés t qui se trouvent entre t_5 et t_4 . Or, dans une telle représentation, il est impossible d'attribuer une valeur de vérité à l'expression $\alpha(t)$ pour le même ensemble d'instantanés.

Pour remédier à ce défaut, il est légitime de se tourner vers une représentation à base d'intervalles. Nous obtenons alors le type de représentation suivante pour les énoncés ci-dessus, où la constante t_0 désigne l'intervalle présent.

$$\exists t_2 \exists t_1 \ (t_2 < t_1 < t_0 \wedge \neg \alpha(t_2) \wedge \alpha(t_1))$$

¹¹ Nous considérons le cas où les éléments de la structure temporelle peuvent être des arguments des prédicats ; le cas où cette structure n'intervient que dans la procédure d'évaluation conduit à des conclusions similaires.

Une représentation correcte nécessite que la relation entre les intervalles t_2 et t_1 soit précisée. Trois cas peuvent être considérés. Dans le premier cas, on utilise la propriété de voisinage pour dire que l'intervalle t_1 est un voisin immédiat de l'intervalle t_2 . Dans ce cas, l'absence d'intervalle nul fait qu'un prédicat β censé représenter l'arrivée du personnage ne peut pas être situé temporellement. Dans le deuxième cas, il existe un nouvel intervalle t_3 telle que $t_2 < t_3 < t_1$, et l'expression $\beta(t_3)$ est vraie. Le problème est que l'on ne sait pas quelle valeur de vérité attribuer à l'expression $\alpha(t_3)$. Le troisième cas correspond au chevauchement des intervalles t_2 et t_1 . Appelons l'intervalle t_4 l'intersection des intervalles t_2 et t_1 . Ce cas est tout aussi problématique que le précédent, car l'expression $\alpha(t_4)$ est supposée recevoir deux valeurs de vérité contradictoires, dans la mesure où l'intervalle t_4 est inclus à la fois dans l'intervalle t_2 et dans l'intervalle t_1 .

On constate que l'expression des situations à l'aide de prédicats et d'une structure temporelle est loin d'aller de soi. On en vient donc à considérer l'idée que les situations elles-mêmes puissent être des objets logiques pouvant se prêter à des quantifications. De plus, il semble nécessaire de distinguer deux types différents de situations, les états et les événements, afin de rendre compte des intuitions associées aux notions de stabilité et de changement.

1.6. Les états et les événements

L'idée selon laquelle les situations doivent apparaître en tant qu'entités à part entière dans l'interprétation logique des énoncés du langage naturel a été proposée pour une raison indépendante des considérations qui précèdent, à savoir la représentation logique des énoncés portant sur des actions. Pour les verbes dits d'action, la représentation logique classique qui consiste à traduire un verbe sous la forme d'un prédicat ayant une arité égale au nombre d'arguments du verbe n'est pas satisfaisante (DAVIDSON 1980 [24]). Prenons les énoncés suivants.

- (1) Jean-Louis apprécie un Bordeaux dont j'oublie l'appellation exacte.
- (2) Jean-Louis boit un Bordeaux dont j'oublie l'appellation exacte.

Les formes grammaticales de ces deux énoncés sont identiques. Pourtant, parmi les deux énoncés suivants, seul le deuxième peut être logiquement déduit¹².

- (3) Jean-Louis apprécie.
- (4) Jean-Louis boit.

Certes, le verbe apprécier est généralement utilisé avec un complément. Il faut cependant expliquer pourquoi l'énoncé (4) constitue une conclusion correcte. Représentons les énoncés (1) à (4) en logique du premier ordre.

- (1') $\exists x \exists y \text{bordeaux}(x) \wedge \text{apprécier}(\text{Jean-Louis}, x) \wedge \text{appelation_exacte}(y, x) \wedge \text{oublier}(\text{Laleh}, y)$
- (2') $\exists x \exists y \text{bordeaux}(x) \wedge \text{boire}(\text{Jean-Louis}, x) \wedge \text{appelation_exacte}(y, x) \wedge \text{oublier}(\text{Laleh}, y)$
- (3') $\text{apprécier}(\text{Jean-Louis})$
- (4') $\text{boire}(\text{Jean-Louis})$

¹² Le présent du verbe boire est utilisé ici dans le sens du syntagme est en train de boire.

Le problème que nous avons posé plus haut revient à se demander comment l'expression (4') peut être dérivée de l'expression (2'). Ce problème est lié à un autre problème, celui du traitement des compléments circonstanciels et des adverbes. Dans les exemples suivants, l'énoncé (8) peut être déduit de chacun des énoncés (5), (6) et (7).

- (5) Jean-Louis boit un Bordeaux sur une terrasse du café.
- (6) Jean-Louis boit un Bordeaux dans une coupe.
- (7) Jean-Louis boit tranquillement un Bordeaux.
- (8) Jean-Louis boit un Bordeaux.

Dans ces exemples, le nombre de compléments du verbe boire ne change pas. La question est de savoir comment représenter les prédications correspondantes et le fait que l'énoncé (8) puisse en être conclu. On peut imaginer de traduire les énoncés (5) et (6) à l'aide d'un prédicat boire à trois places dont la troisième correspond, respectivement, à l'endroit indiqué ou au récipient utilisé. Cependant, rien n'indique la manière dont un énoncé qui contient le prédicat boire binaire est dérivé d'un énoncé comportant le prédicat boire ternaire. Dans le cas de l'énoncé (7), on peut imaginer utiliser un prédicat de deuxième ordre pour qualifier le prédicat boire. Encore une fois, on ne sait pas comment en conclure (8) qui correspond à l'action effectuée tranquillement.

La clé du problème réside justement dans le fait de savoir sur quoi porte l'adverbe. Une réponse plausible est de dire que l'adverbe porte sur un événement (DAVIDSON 1980 [24]). L'idée est qu'un verbe d'action comme boire introduit un événement qui devient argument du prédicat associé. L'adverbe introduit une prédication sur cet événement. La représentation des énoncés (5) et (6) et (7) et (8) peut alors prendre la forme suivante.

- (5') $\exists e \exists x \exists u \text{ boire}(\text{Jean-Louis}, x, e) \wedge \text{bordeaux}(x) \wedge \text{terrasse_du_cafe}(u) \wedge \text{endroit}(e, u)$
- (6') $\exists e \exists x \exists v \text{ boire}(\text{Jean-Louis}, x, e) \wedge \text{bordeaux}(x) \wedge \text{coupe}(v) \wedge \text{moyen}(e, v)$
- (7') $\exists e \exists x \exists w \text{ boire}(\text{Jean-Louis}, x, e) \wedge \text{bordeaux}(x) \wedge \text{tranquille}(w) \wedge \text{manière}(e, w)$
- (8') $\exists e \exists x \text{ boire}(\text{Jean-Louis}, x, e)$

Il est facile de voir que l'expression (8') peut être dérivée de chacune des trois expressions précédentes. Autrement dit, les énoncés (5) (6) (7) peuvent être paraphrasés comme suit.

Il existe un événement qui consiste dans le fait que Jean-Louis boit un bordeaux et que ...

Ainsi, de ces trois énoncés, on peut toujours conclure la paraphrase de l'énoncé (8).

Il existe un événement qui consiste dans le fait que Jean-Louis boit.

L'introduction des événements comme individus logiques à part entière simplifie donc significativement les choses. Cette méthode, que nous venons d'utiliser pour les adverbes et les compléments circonstanciels, peut être étendue au traitement des compléments obligatoires, ce qui donne les représentations logiques suivantes pour les énoncés (2) et (4). Ces traductions permettent de produire la dérivation de l'expression (4'') à partir de l'expression (2'').

- (2'') $\exists e \exists x \exists y \text{ bordeaux}(x) \wedge \text{boire}(\text{Jean-Louis}, e) \wedge \text{objet}(e, x) \wedge \text{appellation_exacte}(y, x) \wedge \text{oublier}(\text{Laleh}, y)$
- (4'') $\exists e \text{ boire}(\text{Jean-Louis}, e)$

Ce genre de démarche repose sur une caractérisation logique adéquate des mots qui peuvent introduire un événement. Notamment, la caractérisation des verbes dits d'action n'est pas sans poser de problème, y compris de nature philosophique. En particulier, les mêmes verbes d'action n'introduisent pas toujours les mêmes événements. Prenons l'énoncé Jean-Louis boit souvent un bordeaux dont j'ai oublié le nom. Peut-on dire que l'événement sur lequel porte l'adverbe souvent est l'acte de boire de Jean-Louis ? Il porte plutôt sur l'acte de boire un bordeaux particulier. Il est donc plus plausible de dire que l'événement introduit par cet énoncé peut être exprimé par l'énoncé Jean-Louis boit un bordeaux et non pas par l'énoncé Jean-Louis boit. Pourtant, dans les énoncés de type (7) comportant un adverbe de manière, l'événement qualifié est plutôt exprimé par l'énoncé Jean-Louis boit, car la conclusion Jean-Louis boit tranquillement semble correcte. Les indices syntaxiques sont donc insuffisants pour décider du type d'événement à introduire dans la représentation logique. Prenons un autre exemple. Il semble que n'importe quel verbe qui, normalement, ne désigne pas une action puisse introduire un événement. Dans l'énoncé Jean-Louis apprécie vraiment un bordeaux dont j'ai oublié le nom, l'adverbe vraiment ne porte pas sur un événement. Il qualifie plutôt l'intensité du prédicat binaire $\text{apprécier}(x, y)$. Dans l'énoncé Jean-Louis apprécie souvent un bordeaux dont j'ai oublié le nom, il existe une interprétation où l'adverbe souvent porte sur l'événement de Jean-Louis appréciant le bordeaux. Ce fait induit à penser qu'il existe un prédicat à trois places $\text{apprécier}(x, y, e)$. Le verbe apprécier n'est donc plus seulement une relation entre deux individus, mais désigne un événement possible dans laquelle le prédicat binaire $\text{apprécier}(x, y)$ peut avoir lieu. Les énoncés qui introduisent un événement ne sont donc pas limités à ceux qui comportent des verbes dits d'action.

Part of what we must learn when we learn the meaning of any predicate is how many places it has, and what sorts of entities the variables that hold these places range over. Some predicates have an event place, some do not. (DAVIDSON 1980 [24] p. 119)

Dans cette perspective, la caractérisation des énoncés qui introduisent des événements impose donc une réflexion philosophique approfondie sur les notions d'action et d'intention (DAVIDSON 1980 [24]).

Nous ne rentrons pas dans ce débat. Pour notre propos, il faut se demander en quoi les énoncés qui introduisent des événements expriment la temporalité différemment des autres. En particulier, nous devons les opposer à des énoncés qui introduisent des états, par exemple les énoncés construits autour d'une copule. Il est facile de représenter l'énoncé Jean-Louis est amateur de vin à l'aide d'une relation d'appartenance de l'individu Jean-Louis à la classe d'individus qui tombent sous la propriété d'être amateur de vin. Cette appartenance apparaît comme un état de fait. Cet état de fait peut changer quand l'individu cessera d'apprécier le vin. Jusqu'à ce jour, il existe une continuité qui se résume dans la validité de cette relation d'appartenance.

La même idée s'applique à bon nombre de verbes. Quand on prononce l'énoncé Jean-Louis préfère le bordeaux au Bourgogne, on énonce un état de fait. Le penchant de Jean-Louis peut être localisé dans le temps, comme dans l'énoncé depuis peu Jean-Louis préfère le Bordeaux au Bourgogne. Par contre, dans l'énoncé récemment Jean-Louis s'est mis à apprécier le Bordeaux, on marque un changement dans le comportement de l'individu. Il est toujours question d'un fait, mais on se focalise sur la survenue de ce fait et sur la différence entre cet état de fait et celui qui le précédait. Un tel changement d'un état à un autre apparaît comme un événement.

Events involve some kind of change, whereas states do not: that a state obtains over some interval *i* means that some condition remains in force for the duration of *i*. The occurrence of an event, in contrast, seems to imply that some condition, which obtains when the event begins, is terminated by the event and gets replaced by another, “opposite” condition.

(KAMP & REYLE 1993 [56] p. 507)

Nous obtenons ainsi une caractérisation de l’opposition état/événement qui s’exprime en termes de continuité/discontinuité. Un état correspond à une situation continue, dans laquelle une certaine relation est maintenue, alors qu’un événement est la marque d’une discontinuité dans cette relation. Cette distinction ressemble à l’opposition entre les points et les périodes, si bien que l’on pourrait être tenté de faire correspondre les états aux périodes et les événements aux points. Ce n’est malheureusement pas si simple. Les notions de points et de périodes peuvent être définies l’une à partir de l’autre. En revanche, nous avons deux intuitions différentes concernant la continuité et la discontinuité. La discontinuité n’est pas l’élément constitutif de la continuité, et la continuité seule ne peut engendrer la discontinuité. La différence de nature entre états et événements semble incontournable. Pour autant, les notions temporelles d’état et d’événement ne sont pas sans entretenir un rapport étroit, au point d’apparaître comme deux notions duales. En particulier, un état peut être borné par deux événements, et un événement peut être encadré par deux états.

Elle a habité dans cette ville depuis le décès de son grand-père jusqu’à la fin de ses études.
Ayant passé les concours avec succès, elle est partie de chez ses parents pour s’installer.

Dans cet exemple, le séjour dans la ville est un état borné par deux événements, sans doute deux déménagements. L’événement du décès sert de repère pour le premier, la fin des études permet de localiser le second. L’événement de la réussite dans les concours apparaît comme une frontière, terminant un état et commençant un autre, tous deux des domiciles. Chaque événement repéré joue le rôle d’une bifurcation. Sans cette bifurcation, l’état précédant l’événement se serait poursuivi. La réalité cognitive de la bifurcation apparaît encore plus clairement lorsque l’on fait des inférences sur la branche irréaliste.

Si elle n’avait pas réussi, elle ne serait pas partie.

Cette notion de bifurcation éclaire la dualité état/événement. L’état présente une stabilité intrinsèque. Seul un événement peut y mettre fin. Mais en tant que bifurcation, l’événement ne dure pas, il conduit à un changement. Le caractère insécable d’un événement le rend fondamentalement différent d’un intervalle constitué d’un ensemble d’instant. Un événement ne peut pas non plus être considéré comme un instant tandis que les états seraient des intervalles, car si un intervalle est constitué d’instant, un état n’est pas un ensemble de bifurcations possibles.

Sur quels indices faire reposer la distinction états/événements ? D’un point de vue linguistique, il semble qu’elle soit portée essentiellement par les verbes.

Cet après-midi il restera à la maison.
Ce soir il sortira de la maison.

La nature du verbe est donc importante, mais sa forme l’est tout autant, au point de pouvoir inverser la catégorie que l’on assigne normalement au verbe.

Il sortait de la maison quand l’un des invités l’a appelé.
Pour une fois, il est resté à la maison l’après-midi !

Cette possibilité de changer la nature événementielle des verbes par l’emploi d’une forme où d’une conjonction appropriée induit à penser que la distinction entre les états et les

événements n'est pas attachée aux mots, ni même à la situation désignée, mais au "regard" que l'on porte sur cette situation et à la manière dont ce regard est rendu par les mots.

States differ from events, we said, in that states involve the continuation of some condition whereas events involve its abrogation. But a condition is something conceptual, something that has a much to do with the way in which we choose to see reality as with reality itself. So we should not be surprised to find that the same bit of reality can be conceptualized either as event- or as state-like, depending on how we look at it. This conceptual dimension to the distinction between events and states is reflected by the way we speak.

(KAMP & REYLE 1993 [56] p. 507)

Une même scène peut être décrite par deux énoncés il lui tendit la main et il lui tendait la main. Ce qui distingue ces deux manières d'exprimer la situation n'est pas tant que la première induit une idée de ponctualité tandis que la seconde induit une idée de durée. Dans le premier cas, la scène est considérée de l'extérieur : on peut parler d'un avant et d'un après, si bien que la scène marque une discontinuité, un point de changement. Elle apparaît comme un événement. En revanche, dans le deuxième cas, on se place mentalement à l'intérieur de la scène. Cela induit un état, une continuité, car le point de vue intérieur laisse apparaître une période de stabilité dans la situation.

La distinction événement/état repose donc sur la notion de point de vue. Dans le cas d'un état, le point de vue est intérieur, ce qui permet ensuite d'explorer d'éventuelles bifurcations, sachant que les propriétés de l'état perdurent. Dans le cas d'un événement, en revanche, le point de vue est extérieur, si bien que les éventuelles bifurcations internes sont, à ce stade, inaccessibles.

Nous aurons l'occasion de revenir sur cette notion fondamentale de point de vue dans le chapitre suivant. Si la distinction état/événement ne correspond pas à la distinction point/période, il est légitime de se demander comment elle se traduit dans une structure temporelle. La section suivante suggère qu'elle peut être vue comme une opposition de nature topologique.

1.7. La topologie des situations

La représentation des relations logico-temporelles entre états et événements peut être obtenue en partant d'une représentation dynamique des situations en jeu, puis en effectuant une projection de ces aspects dynamiques sur une structure temporelle. La stabilité des valeurs de certains paramètres dans le domaine dynamique se projette, sur la structure temporelle, par un état, alors que la projection d'un changement des mêmes valeurs produit un événement sur la structure temporelle. On peut s'intéresser à une troisième catégorie de situation : un processus est la projection, sur la structure temporelle, du passage des valeurs de certains paramètres dans le domaine dynamique d'une stabilité initiale vers une stabilité finale (DESCLÈS 1989 [27]). Alors qu'un événement représente l'occurrence d'un changement, un processus représente sa trajectoire. Le contraste est illustré par l'emploi des formes progressives (he was swimming) et simples (he swam) en anglais. Le caractère duratif du processus peut être rapproché de celui de l'état en observant que le processus exprime, dans le domaine dynamique, la stabilité de la dérivée de certains paramètres. Il s'agit de se demander, à partir des définitions dynamiques qui correspondent aux états, événements, et processus, comment ces situations se différencient lorsqu'elles sont projetées sur une structure temporelle.

The situations are considered in linguistics as the denotations of predicative relations and are expressed by means of sentences and texts. The description of these complex denotations is represented by the *phase-portrait* of a dynamic system. This phase-portrait is an abstract space filled with the trajectories of the processes, occurrences of events and constant trajectories of states. To study the grammatical meanings, we project these trajectories and occurrences on a temporal referential. In this temporal referential, each process, event and state are represented by the intervals with different topological properties. (DESCLÈS 1989 [27] p. 169)

La projection de la représentation dynamique sur la structure temporelle permet de produire des relations logiques liées à la temporalité. Ainsi, une situation, caractérisée par un ensemble de valeurs de paramètres du domaine dynamique, peut se caractériser, après projection, par l'application d'un prédicat à un ensemble d'éléments de la structure temporelle. Si l'on fonde la classification état/événement/processus sur l'existence de propriétés dynamiques différentes, il faut montrer comment ces différences se traduisent sur la structure temporelle. Il semble plausible de considérer que ces différences sont de nature topologique. Pour cela, on considère une structure dans laquelle les situations sont représentées par des ensembles bornés d'instantants contigus (DESCLÈS 1989 [27]).

Soit T un ensemble non vide d'instantants, muni d'une relation d'ordre strict total $<$.

Un sous-ensemble I de T est convexe, si et seulement si pour deux instantants quelconques i et j appartenant à I , pour tout instant t appartenant à T , si $i < t$ et $t < j$, alors t appartient à I .

Soit I un sous-ensemble de T . Pour tout instant m appartenant à T , m est un minorant de I (respectivement un majorant de I), si et seulement si $m < i$ (respectivement $i < m$) pour tout instant i appartenant à I .

Soit I un sous-ensemble de T . Pour tout instant b appartenant à T , b est une borne inférieure de I (respectivement une borne supérieure de I), si et seulement si pour tout m minorant de I (respectivement majorant de I), $m < b$ (respectivement $b < m$).

Un sous-ensemble convexe I de T est, par définition, un intervalle ouvert, si et seulement s'il existe une borne inférieure b_1 et une borne supérieure b_2 pour I , tels que b_1 et b_2 n'appartiennent pas à I ¹³.

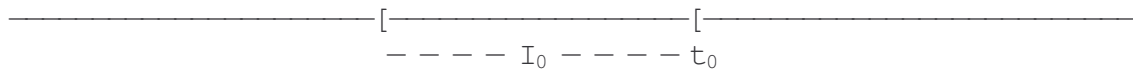
Un sous-ensemble convexe I de T est, par définition, un intervalle fermé à gauche (respectivement intervalle fermé à droite), si et seulement s'il existe un intervalle ouvert J , tel que I est égal à J augmenté de sa borne inférieure b_1 (respectivement de sa borne supérieure b_2).

Un sous-ensemble convexe I de T est, par définition, un intervalle fermé, si et seulement s'il est fermé à la fois à gauche et à droite.

Sur la base de cette structure, il est possible de distinguer les différents types de situations. Un état est représenté par un intervalle ouvert, un processus est représenté par un intervalle fermé à gauche, et un événement est représenté par intervalle fermé (DESCLÈS 1989 [27]). Le cas particulier d'un intervalle fermé réduit à un seul instant représente un événement ponctuel. Nous pouvons schématiser ces distinctions sur une ligne

¹³ Il est facile d'observer que les bornes d'un intervalle, si elles existent, sont uniques.

droite, censée représenter l'ensemble des instants ordonnés, sur laquelle nous superposons la notation classique par crochets des segments ouverts $]b_1, b_2[$ et segments fermés $[b_1, b_2]$. La première situation à représenter est le processus d'énonciation (DESCLÈS 1989 [27]).

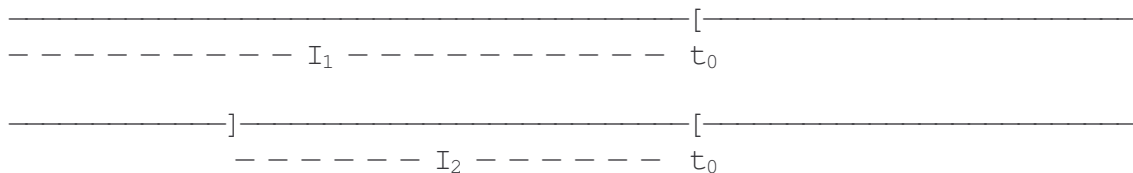


Le segment I_0 représente le processus d'énonciation, et le point t_0 représente l'instant de ce processus par rapport auquel les situations exprimées vont être représentées. Cet instant apparaît toujours dans les schémas et peut être appelé l'instant d'énonciation (DESCLÈS 1989 [27]). L'instant correspondant au début du processus I_0 n'apparaît dans les schémas que quand il est pertinent.

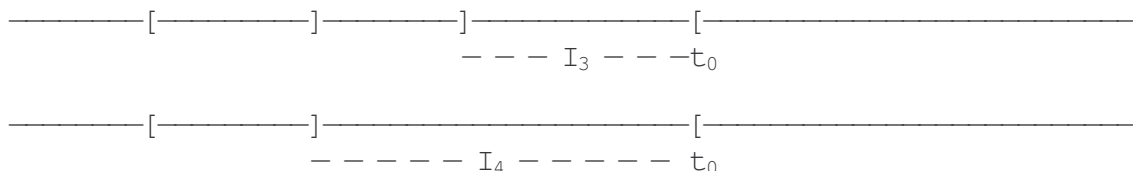
Prenons les exemples suivants.

- (1) Whales are mammals.
- (2) The door is open.
- (3) The door is opened.
- (4) He has opened the door.
- (5) He is opening the door.
- (6) He was opening the door when she arrived.
- (7) He opened the door.

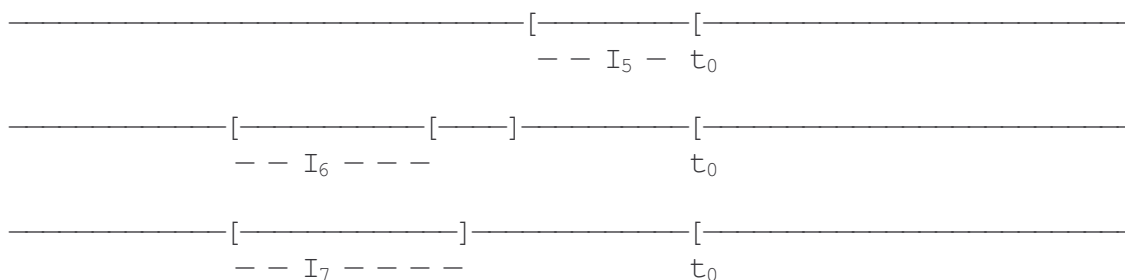
Les situations exprimées dans les énoncés (1) et (2) sont des états, représentés donc par des intervalles ouverts. Leur borne supérieure correspond toujours à l'instant d'énonciation. La différence est que le premier peut être vu comme un état permanent, dont la borne inférieure n'est pas précisée, tandis que le deuxième est un état contingent (DESCLÈS 1989 [27]).



Les énoncés (3) et (4) expriment aussi des états. Dans les deux cas, et contrairement aux énoncés (1) et (2), il s'agit d'un état causé par un événement, l'ouverture de la porte. Les représentations des énoncés (3) et (4) comportent donc un événement, plus un état résultant. L'énoncé (4) diffère de l'énoncé (3) par le fait que l'événement comporte un agent explicite. On peut qualifier les états exprimés dans les énoncés (3) et (4), respectivement, comme état passif et état résultant (DESCLÈS 1989 [27]). Dans le premier cas, on sait implicitement que l'événement existe et qu'il précède l'état, sans pouvoir dire qu'ils sont contigus. Dans le cas de l'état résultant, c'est l'état qui est implicite et sa borne inférieure est indiscernable de la borne supérieure de l'événement qui le produit.



L'énoncé (5) peut être représenté par un processus progressif (DESCLÈS 1989 [27]). Sa borne supérieure coïncide avec l'instant d'énonciation. L'énoncé (6) représente un processus du même type dont la borne supérieure est repérée par un événement antérieur à l'instant d'énonciation. Enfin, le processus exprimé en (5), lorsqu'il est terminé, donne un événement qui est exprimé par l'énoncé (7).



Le choix de ce système de représentation repose sur le fait que les intervalles ouverts peuvent donner lieu à la définition d'un espace topologique¹⁴. Ceci est dû au fait que, dans un ensemble totalement ordonné, la famille des sous-ensembles convexes qui ne contiennent pas leurs bornes constitue la base d'une topologie¹⁵. Ainsi, tout ouvert non vide de l'espace topologique résultant peut être écrit comme une union de tels intervalles. Notamment les intervalles ouverts eux-mêmes font partie des ouverts de cet espace topologique. Nous pouvons résumer cette construction comme suit.

Soit T un ensemble non vide d'instants, muni d'une relation d'ordre strict total $<$. Il existe un espace topologique (T, \mathcal{O}) , tel que tout ouvert de la topologie \mathcal{O} est l'union des sous-ensembles convexes de T qui ne contiennent ni leur borne inférieure, ni leur borne supérieure.

Dans l'espace topologique (T, \mathcal{O}) il est possible d'appliquer les opérateurs d'intérieur et de fermeture à tout sous-ensemble de T ¹⁶. Notamment, ces opérateurs peuvent être appliqués aux intervalles ouverts et fermés définis ci-dessus (DESCLÈS 1989 [27]).

Soit I un intervalle de T .

L'intérieur I° de I est un intervalle ouvert que I inclut, et qui inclut tout autre intervalle ouvert que I inclut.

La fermeture \bar{I} de I est un intervalle fermé qui inclut I , et qu'inclut tout autre intervalle fermé qui inclut I .

Le choix de représenter les états et les événements, respectivement, par des intervalles ouverts et fermés, entraîne que l'intérieur d'un état est identique à ce même état, et la fermeture d'un événement est identique à ce même événement. L'utilité de ces notions apparaît avec la possibilité d'avoir une double lecture de la même situation, que l'on décrit tantôt comme un état, tantôt comme un événement. L'événement correspond à la fermeture de l'état. En incluant l'état, son commencement ainsi que son achèvement, il offre une

¹⁴ Un espace topologique peut être défini par un ensemble d'ouverts. Étant donné un ensemble T , la structure (T, \mathcal{O}) est un espace topologique si \mathcal{O} est un sous-ensemble de l'ensemble $P(T)$, des parties de T , possédant les propriétés suivantes : les ensembles T et \emptyset appartiennent à \mathcal{O} ; toute intersection finie d'éléments de \mathcal{O} appartient à \mathcal{O} ; toute union d'éléments de \mathcal{O} appartient à \mathcal{O} . L'ensemble \mathcal{O} est appelé une topologie de l'ensemble sous-jacent T . Les éléments de \mathcal{O} sont appelés les ouverts de cette topologie.

¹⁵ Soit (T, \mathcal{O}) un espace topologique. Un sous-ensemble B de l'ensemble $P(T)$, des parties de T est une base pour la topologie \mathcal{O} , si et seulement si tout ouvert non vide appartenant à \mathcal{O} peut être construit par une union des éléments de B .

¹⁶ La définition des opérateurs d'intérieur et de fermeture se fait à partir de la notion de voisinage. Pour un élément quelconque t de T , un sous-ensemble V de T est appelé voisinage de t , s'il existe un ouvert \circ appartenant à \mathcal{O} tel que t appartient à \circ , et que \circ soit inclus dans V . L'intérieur I° d'un sous-ensemble I de T est l'ensemble de tous les éléments de T dont au moins un voisinage est inclus dans I . La fermeture \bar{I} d'un sous-ensemble I de T est l'ensemble de tous les éléments de T dont aucun voisinage n'a d'intersection vide avec I . Il est facile de voir que l'intérieur d'un ensemble est nécessairement inclus dans cet ensemble, tandis que sa fermeture peut contenir des éléments qui ne lui appartiennent pas.

description globale du changement. Inversement, comme l'intérieur d'un événement est ce même événement privé de son commencement et de son achèvement, il constitue un état décrivant le déroulement de cet événement.

Une telle description rencontre cependant quelques difficultés, en particulier, en ce qui concerne les événements ponctuels. Un intervalle fermé qui se résume à un seul instant ne peut pas être transformé en un intervalle ouvert. Or, le langage permet de transformer n'importe quel événement, aussi court qu'il soit, en l'exprimant sous la forme d'une durée, c'est-à-dire une succession d'instant. Un problème similaire apparaît quand on s'intéresse au début ou la fin d'un état. Intuitivement le début et la fin d'un état correspondent chacun à un événement. Or le seul intervalle qui peut être engendré, grâce aux opérations topologiques, à partir de l'instant qui correspond à la borne, est ce même instant.

Ces difficultés nous ramènent au problème, soulevé plus haut, concernant la représentation des situations par des instants isolés. Peut-on parler de l'instant précis où un état se termine pour laisser la place à sa négation ? Peut-on affirmer que l'événement qui est sous-jacent à ce changement peut se réduire à un seul instant ?

Une solution élégante consiste à remplacer les opérateurs habituels d'intérieur et de fermeture par d'autres opérateurs. De nouveaux opérateurs sont proposés dans le cadre de la locologie (DE GLAS 1992 [26]). Le but est de définir une forme de relation de proximité entre les instants qui représente la notion de grain. Cette relation remplacera la notion de voisinage qui est à la base des opérateurs topologiques habituels.

L'idée consiste à considérer les bornes d'un intervalle comme un nouvel intervalle. Ceci revient à modifier le grain d'observation : ce qui pouvait apparaître comme ponctuel à l'échelle de l'intervalle entier apparaît maintenant comme ayant un intérieur, ou plutôt un "cœur". À chaque grain d'observation, un halo est associé à chaque instant. De même que le grain est plus ou moins fin, ce halo peut être plus ou moins large. Un tel halo peut être calculé à l'aide d'une relation qui devra avoir les propriétés suivantes (DE GLAS 1992 [26]).

Soit λ une relation définie sur un ensemble T . On note $\lambda(t)$ l'ensemble de tous les éléments x appartenant à T tels que $t\lambda x$. La relation λ est, par définition, une locologie sur T , si et seulement si :

λ est réflexive ;

λ n'est pas maigre, *id est* il n'existe pas de t appartenant à T tel que $\lambda(t) = \{t\}$;

λ inclut une relation symétrique qui satisfait les deux conditions précédentes.

Sur la base de cette relation, deux opérateurs, appelés cœur et ombre, peuvent être définis (DE GLAS 1992 [26]).

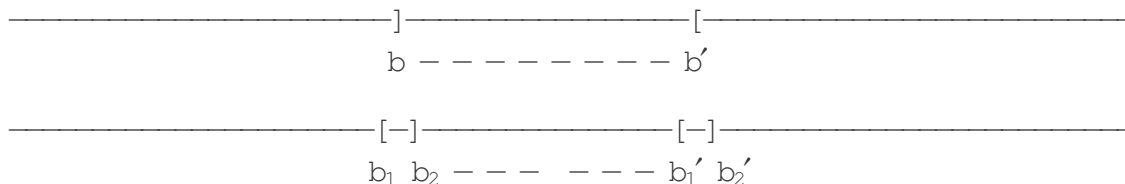
Soit T un ensemble totalement ordonné d'instant. Soit I un sous-ensemble de T .

Pour tout instant t appartenant à T , t appartient à l'ensemble $h(I)$, le cœur de I , si et seulement si $\lambda(t)$ est inclus dans I .

Pour tout instant t appartenant à T , t appartient à l'ensemble $s(I)$, l'ombre de I , si et seulement si l'intersection de $\lambda(t)$ et de I n'est pas vide.

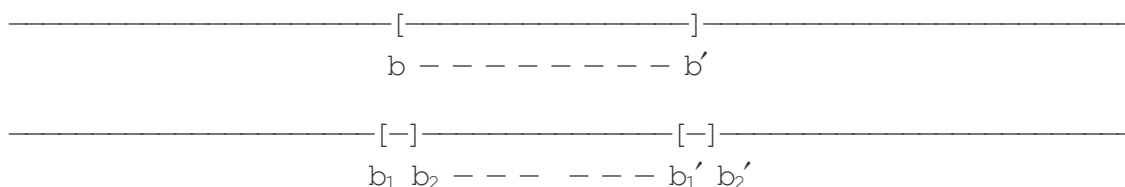
Ces deux opérateurs sont similaires aux opérateurs topologiques, avec la différence notable que les opérateurs topologiques sont idempotents : l'intérieur d'un ensemble est son propre intérieur, alors que le cœur d'un ensemble inclut son propre cœur. De même, l'ombre de l'ombre inclut l'ombre. Ceci est dû au rôle de la relation non maigre λ qui représente l'idée intuitive de changement de grain. Ainsi, le calcul du cœur ou de l'ombre d'un intervalle introduit implicitement un nouveau grain d'observation. Ce calcul peut être itéré pour obtenir des grains d'observation de plus en plus fin.

Si l'on applique les opérateurs locologiques à la structure des intervalles définie ci-dessus, le début et la fin d'un état peuvent être vus comme des événements.



L'intervalle $[b_1, b_2]$ est défini comme l'ombre de $\{b\}$. Il constitue un événement qui correspond au commencement de l'état de départ. De même, l'intervalle $[b_1', b_2']$, défini comme l'ombre de $\{b'\}$ constitue un événement qui correspond à l'achèvement de l'état de départ. L'intervalle $[b_1, b_2']$ est l'événement qui englobe ce même état. Noter qu'en raison du changement de grain, cet intervalle est différent de celui engendré par la fermeture de l'intervalle $]b, b' [$.

De la même manière, le début et la fin d'un événement peuvent être vus comme des événements.



Cette fois, $\{b\}$ correspond au cœur de l'intervalle $[b_1, b_2]$. Cet intervalle constitue un événement qui correspond au commencement de l'événement de départ. De même, $\{b'\}$ correspond au cœur de l'intervalle $[b_1', b_2']$ qui constitue un événement correspondant à l'achèvement de l'événement de départ. L'intervalle $[b_2, b_1']$ correspond à l'état qui décrit le déroulement de ce même événement. En raison du changement de grain, cet intervalle diffère de celui engendré par l'intérieur de l'intervalle $[b, b']$.

Cette modélisation présente l'avantage de proposer une description plausible, de nature topologique, des notions d'état et d'événement en évitant, apparemment, les difficultés inhérentes à une ontologie d'instant. Nous verrons cependant, dans le prochain chapitre, que les choses ne sont pas si simples, en raison du fait que les opérations de changement de grain ont lieu sur la même structure et peuvent être itérées à l'infini.

Outre son intérêt technique, l'usage de notions topologiques comme la proximité, l'intérieur, ou la frontière a l'avantage de mettre au premier plan la similitude intuitive entre les traitements cognitifs du temps et de l'espace.

1.8. Le temps, l'analogie et la métaphore

L'analogie entre l'expression du temps et celle de l'espace est manifeste. Cette analogie est fortement marquée dans le langage, par des interprétations parallèles des notions temporelle et spatiale d'étendue et de localisé. Les exemples suivants illustrent ce propos.

- Le positionnement d'un localisé dans une étendue.
- Cette grotte se situe dans la région de l'Ardèche.
- Le mariage a eu lieu pendant le mois de janvier.

La répétition d'un localisé dans une étendue.

Il y a des villages tout au long de la route.
Il y a eu des accidents au cours de son voyage.

La délimitation d'une étendue par deux localisés.

La forêt commence au pied des montagnes, et s'étend jusqu'au bord de la mer.
La fête a commencé au coucher du soleil, et a duré jusqu'à l'aube.

La séparation de deux étendues par un localisé.

La ville se situe entre la forêt et le désert.
Le cambriolage a eu lieu entre le matin et l'après-midi.

Le chevauchement de deux étendues.

L'herbe avance jusqu'au milieu de la cour.
Les vacances se sont poursuivies jusqu'à la moitié de l'automne.

L'ordonnancement de deux localisés.

Son bureau est à droite de la fenêtre.
Son départ a eu lieu après la chute du gouvernement.

Cette analogie étroite entre la représentation spatiale et la représentation temporelle est précieuse pour notre compréhension de cette dernière. Prenons l'exemple de l'opposition entre le localisé et l'étendu. La localisation spatiale d'un objet demande un regard extérieur. L'objet est considéré dans sa globalité, en tant que discontinuité dans le paysage qui l'entoure. En revanche, la perception d'une étendue suppose que le point de vue change et se situe à l'intérieur pour la parcourir. Ainsi, dans l'énoncé cette grotte se situe dans la région de l'Ardèche, le point de vue est externe à la grotte et interne à la région. Cette différence entre les points de vue extérieur et intérieur est exactement la même que celle qui s'applique à la distinction fondamentale entre les catégories temporelles d'événement et d'état.

Les exemples ci-dessus révèlent une autre parenté entre les représentations spatiale et temporelle. Des verbes comme commencer, s'étendre, avancer sont des expressions dynamiques, qui supposent un mouvement. Le mouvement est ainsi systématiquement employé, tant dans le domaine spatial que temporel, pour exprimer des étendues et des durées. L'omniprésence de la notion de mouvement s'observe également dans les emplois métaphoriques qui font intervenir des mouvements dits fictifs, comme dans les énoncés la moquette avance jusqu'au milieu de la pièce et la crise se rapproche à grands pas.

Les phénomènes liés à l'analogie et à la métaphore sont au centre des préoccupations d'un ensemble d'auteurs, regroupés dans le courant dit grammaires cognitives. Parmi les outils principaux pour rendre compte de ces phénomènes, il y a les deux notions de projection (*mapping*) et fusion (*blending*) (FAUCONNIER 1997 [33]).

L'idée est que les analogies et les métaphores mêlent des expressions langagières qui trouvent leurs significations dans des domaines cognitifs distincts. Les domaines de la temporalité et de la spatialité en sont des exemples. Or, les locuteurs utilisent parfois le vocabulaire associé à un domaine pour parler d'un autre domaine. Cette capacité cognitive est décrite comme un mécanisme cognitif de projection des structures du premier domaine sur le deuxième (FAUCONNIER 1997 [33]). Le premier domaine est appelé domaine source et le deuxième domaine cible. Prenons l'énoncé le calme revient. Habituellement, ce sont des personnes ou des objets mobiles qui sont susceptibles de revenir. Or, ici, le mot revenir est appliqué dans le domaine des propriétés.

De même, les locuteurs peuvent utiliser des expressions associées à deux domaines différents pour exprimer une idée indépendante de ces deux domaines. Ce genre d'expression

langagière s'explique par un deuxième mécanisme cognitif, le mécanisme de fusion, qui consiste à projeter les deux domaines sur un troisième, le domaine mixte (*blend*). Celui-ci hérite partiellement des structures des deux domaines et obtient ses propres structures émergentes (FAUCONNIER 1997 [33]). Considérons l'énoncé *ce geste lui coûtera cher*. Dans un premier domaine, les objets sont comparés entre eux et évalués par un prix. Un deuxième domaine concerne les actions et leurs conséquences. Dans le troisième domaine, qui résulte de la fusion, la conséquence du geste se trouve évaluée, comme le serait un objet, mais en tant qu'action, comme chère. Ces mécanismes de projection et de fusion peuvent être utiles pour analyser certaines constructions où le temps est utilisé métaphoriquement comme l'espace.

Prenons l'exemple suivant.

I can't catch up with myself.

Le locuteur exprime qu'il se trouve en retard par rapport à ce que la situation exige de lui. Par exemple, il devrait être déjà en train de rédiger une conclusion, alors qu'il écrit encore le corps du texte. Essayons d'expliquer, étape par étape, les opérations mentales qui nous permettent de comprendre cet énoncé.

Considérons trois domaines : le domaine des individus i ; le domaine des temps t ; et le domaine des situations s . On peut projeter les individus sur les temps : $F(i) = t$. Cela peut correspondre au temps des activités quotidiennes, comme dans l'énoncé *il faut que j'organise mon temps*. Le résultat de la projection peut aussi être l'époque dans laquelle l'individu vit, comme dans l'énoncé *pour son temps c'était un progressiste*. On peut aussi projeter les individus sur les situations : $G(i) = s$. Par exemple, la situation peut être celle dans laquelle on est impliqué quotidiennement, comme dans l'énoncé *il est impossible de travailler dans sa situation*, ou bien la condition générale dans laquelle l'individu se trouve, comme dans l'énoncé *dans leur situation ces jeunes ne peuvent que se révolter*. On peut réaliser une troisième projection en associant les temps aux situations $H(t) = s$. Les années soixante sont associées à l'action du mouvement pacifiste, le milieu de l'après-midi est associé au goûter.

L'exemple du retard sur l'emploi du temps peut être décrit en utilisant ces trois projections. L'individu i qui parle se voit associer un temps $F(i)$ ainsi qu'une situation $G(i)$. Or, son emploi du temps associe à son temps une situation $H(F(i))$ qui est différente de sa situation effective $G(i)$. Par projection directe, l'individu est associé à une situation qui diffère de celle que lui alloue une projection composée qui passe par son temps puis par la situation programmée pour ce temps. Ainsi, les deux pronoms *I* et *myself* évoquent, respectivement, les situations $G(i)$ et $H(F(i))$. L'emploi du temps de l'individu impose un ordre entre les différentes situations dans lesquelles il peut se trouver, ce qui rend possible leur projection sur des positions dans le domaine de l'espace. Ceci crée la possibilité d'employer des relations spatiales à propos des deux pronoms.

L'interprétation pourrait en rester là, comme celle qui concerne l'énoncé *she is behind of herself*. Pour expliquer l'emploi métaphorique du verbe *catch*, on peut considérer qu'il y a fusion des deux domaines d'individus et de l'espace. La structure qui résulte de cette fusion permet le mouvement d'une position vers une autre. Les deux positions associées aux deux situations, effective et programmée, de l'individu sont donc fusionnées avec deux individus distincts donnant lieu à un nouveau domaine, où peut alors se jouer une capture fictive entre les pronoms *I* et *myself*.

Conclusion

Dans la dernière section de ce chapitre, nous avons souligné l'aspect métaphorique lié à la notion même de localisation temporelle. Cette localisation est souvent comprise comme une activité de placement. Notre capacité à repérer les situations dans le temps est donc souvent représentée, dans les différents modèles, par le placement des situations sur une dimension temporelle.

La première question à résoudre, dans un tel schéma, est celle de la structure de cette dimension temporelle. Est-elle constituée d'instants qui peuvent se précéder ou coïncider ? Ou est-elle constituée d'intervalles qui peuvent s'inclure, se chevaucher ou se précéder en étant disjoints ? Nous avons pu vérifier que le choix présente peu d'enjeu, dans la mesure où chaque type de structure peut se définir à partir de l'autre.

Une deuxième question que nous avons abordée dans ce chapitre concerne l'opposition état/événement à propos de la nature des situations localisées elles-mêmes : Les états représentent une continuité qui résulte d'un point de vue intérieur ; les événements une discontinuité qui résulte d'un point de vue extérieur. Ce fait, qu'une même situation perçue puisse donner lieu à deux lectures radicalement différentes, nous paraît être à la base de la conceptualisation du temps. La modélisation de ces différentes "lectures" et des relations qu'elles engendrent fait l'objet du chapitre qui suit.

Chapitre 2 :
La leçon de Zénon

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 connaissances 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'ordonnement 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, avant tout, 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 s'agit de cerner les moyens par lesquels les êtres humains parviennent à raisonner et à communiquer à propos de situations situées dans le temps. Notamment, il faut déterminer la nature de la structure de mémoire où sont stockées les dates et les durées des situations mémorisées ou imaginées. Ensuite, il faut comprendre comment cette structure de mémoire est 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 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 chapitre va nous conduire à remettre en question certains présupposés classiques concernant la localisation temporelle des situations.

2.1. Le dilemme de la granularité

La difficulté première d'un modèle de la compétence humaine de communiquer et de raisonner à propos du temps réside dans le choix d'une structure de représentation permettant la localisation des situations dans le temps. En l'absence d'une telle structure, on voit mal comment les jugements sur l'ordonnement des situations pourraient être effectués. Nous savons que l'indépendance des États-Unis est antérieure à la révolution française parce que nous l'avons appris ; nous savons que la guerre du Golfe est postérieure à la révolution iranienne parce que nous nous en souvenons ; nous savons que la mort d'Aristote est postérieure à la naissance d'Alexandre parce que nous jugeons que le contraire serait contradictoire avec le fait que le premier fut le précepteur du second. Quelle est le mécanisme qui nous permet de comparer ces faits ? Quelle est la nature des représentations à l'œuvre lorsque nous effectuons la déduction concernant la mort d'Aristote ? Font-elles partie de la même structure que celles qui sont évoquées lorsque nous évaluons le temps qu'il nous faut

¹ Un exemple de ce type de postulat est remarquablement illustré par le comportement de Funes, le personnage fictif décrit par Jorge Luis Borges (*Artifices* 1944).

pour passer à la librairie avant d'aller prendre le train de 17h12 ? Un dispositif mécanique ou cognitif capable de faire ces jugements doit disposer d'une structure de mémoire comportant au minimum des indications d'ordonnement. La question à laquelle nous sommes confrontés est de savoir quelles sont les caractéristiques minimales dont une telle structure doit être dotée.

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, 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 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'ordonnement des situations. Les situations qui ne diffèrent que d'une durée inférieure à ce grain doivent être conçues comme simultanés. 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'existence d'un grain temporel va de pair avec celle d'un horizon de précision. Or, il semble que notre capacité de comparaison ne soit pas astreinte à une telle limitation. Considérons la phase suivante.

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.

Une telle phrase n'est pas particulièrement délicate à comprendre. En particulier, l'ordonnement relatif du moment d'énonciation et des deux situations mentionnées, le

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

début de l'univers et la brisure de symétrie, ne fait pas mystère³. Le fait que nous comprenions cette phrase sans effort particulier est riche d'enseignements. Pour donner un sens à cette phrase, nous sommes capables de discerner des situations séparées de quelques secondes, chose que nous réalisons couramment dans la vie quotidienne. Si l'on imagine que les différentes situations doivent être positionnées sur une mémoire temporelle censée héberger, avec une certaine échelle et une certaine précision, l'ordonnancement de tous les faits qui ont pu se dérouler depuis le début de l'univers, il faut que cette mémoire temporelle contienne au moins un demi-milliard de milliards d'éléments représentant chacun une seconde. Or, ce nombre est déjà trois ordres de grandeur au-dessus du nombre de synapses d'un cerveau ! L'idée d'une structure de mémoire à l'image du déroulement temporel est donc absurde, non seulement en raison de ses dimensions prohibitives, 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. Or, 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 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 début 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.

Une solution permettant d'éviter l'absurdité de l'hypothèse d'une mémoire temporelle de dimension gigantesque représentant l'entièreté du déroulement des situations, mémorisées ou imaginées, consiste à la considérer comme une mémoire logarithmique. La plupart de nos perceptions possèdent la propriété d'être sensibles aux variations relatives et non aux variations absolues. Ainsi, le doublement de la puissance d'un son est perçu comme un ajout de trois décibels, son décuplement par l'ajout de dix décibels. Si l'on applique ce principe logarithmique à la perception du temps, il semble que l'on évite le problème d'une structure de mémoire de taille exorbitante. Le rapport entre les deux durées de notre exemple passe de 10^{17} à une valeur raisonnable, par exemple 170. Malheureusement, comme nous allons le voir, une telle solution perd d'un côté ce qu'elle gagne de l'autre.

Considérons les deux situations de notre exemple, le commencement C de l'univers et la brisure B de symétrie. La phrase énonce que C et B sont séparés de trois secondes. Nous pouvons imaginer sans peine le discours d'un physicien qui se plairait à décrire une multitude de faits ayant eu lieu entre le commencement de l'univers et la brisure de symétrie. De manière plus systématique, nous pouvons reprendre le raisonnement effectué il y a vingt-quatre siècles par Zénon d'Elée. Nous sommes capables de concevoir un fait A_1 s'étant produit entre C et B et distinct de C et de B. Puisque C et A_1 sont distincts, nous pouvons de même concevoir qu'un fait A_2 se soit produit entre C et A_1 . Si l'on réitère le processus, on en arrive à considérer une suite de faits A_1, A_2, A_3, \dots . La question qui se pose alors est de savoir comment ces faits sont représentés dans la mémoire temporelle. En d'autres termes, il s'agit de savoir comment la structure de la mémoire temporelle est contrainte par notre capacité d'insertion.

Les structures de points et de périodes que nous avons considérées précédemment se classent en deux groupes : les structures denses et les structures discrètes (CF. CHAPITRE 1). Si l'on considère une structure discrète de situations, alors tout élément p , pour qui il existe un autre élément q tel que $p < q$, possède un plus proche voisin à droite.

$$\exists r \ p < r \wedge \neg \exists s \ p < s \wedge s < r$$

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.

Le raisonnement de Zénon rend donc la propriété de discrétion, ou celle de voisinage, inacceptable, puisque celles-ci interdisent qu'une situation A soit insérée entre p et r.

Un problème analogue se pose si l'on s'intéresse aux durées qui séparent les situations considérées par Zénon. Considérons pour cela une structure de périodes constituée par les durées bornées par deux situations. Le raisonnement de Zénon empêche de conférer la propriété d'atomicité à une telle structure (CF. CHAPITRE 1). Si l'on considère une structure atomique, alors toute période p inclut un atome q qui n'inclut aucune autre période.

$$\forall r \quad r \subseteq q \supset r = q$$

Or, si q appartient à notre structure de périodes, c'est qu'elle est bornée par deux situations A et B. Le raisonnement de Zénon nous oblige à accepter l'existence d'une situation A_1 ultérieure à A et antérieure à B. Or, la période correspondant à la durée entre A et A_1 est strictement incluse dans q, ce qui est contradictoire avec l'hypothèse d'atomicité.

Le raisonnement de Zénon requiert donc la propriété de densité. Le fait que tout être humain soit capable de suivre le raisonnement de Zénon démontre que les modèles discrets, quelle que soit leur utilité d'un point de vue technique, sont dépourvus de plausibilité cognitive. Nous pouvons toujours, par la pensée, imaginer et verbaliser une situation située entre deux situations qui nous sont données.

Si nous considérons, de plus, 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.

Compte tenu du fait que tout être humain peut comprendre le raisonnement de Zénon, la question devient la suivante : peut-on représenter une structure qui respecte le raisonnement de Zénon sur une mémoire physique ? La réponse est "non !". À partir du moment où la relation de précédence est physiquement représentée, autrement dit si l'affirmation "A précède B" suppose que les situations A et B correspondent à des représentations mises en relation en mémoire, alors le caractère infini de la suite $\{A_i\}$, imposé par le raisonnement de Zénon, demande que la structure de mémoire comporte une infinité d'éléments distincts, ce qui est absurde. L'absurdité commence à partir du moment où l'on accepte que le raisonnement de Zénon engendre une infinité de représentations distinctes. L'exigence de continuité suggérée par Zénon oblige, de surcroît, à considérer que certaines durées matériellement représentées dans le cerveau du sujet sont, pour un observateur externe, de taille arbitrairement petite.

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. Le cerveau humain posséderait ainsi un mécanisme de repérage qui s'opère sur la structure du temps tel qu'il existe dans le monde extérieur. Indépendamment des problèmes considérables que poserait une telle solution sur le plan de l'épistémologie, constatons 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 précèdera 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 l'atomisme. 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.

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. Le fait d'introduire une imprécision dans la manière dont nous conceptualisons les durées ne change rien. Par exemple, le modèle locologique peut laisser supposer que le raisonnement de Zénon est bloqué, même en l'absence de la propriété de voisinage (CF. CHAPITRE 1). 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'ils 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 chapitre.

2.2. Procédure de localisation temporelle

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. Si nous renonçons à l'idée d'une mémoire temporelle globale, nous devons répondre à deux questions : (1) Comment les situations de la mémoire épisodique et de la mémoire encyclopédique sont-elles datées ? (2) Comment

parvenons-nous à raisonner sur le temps et à juger de l'ordonnement relatif de deux situations données ?

Temps qualitatif

Les êtres humains ont une perception des durées. Nous ne confondons pas la durée d'un voyage de Téhéran à Paris avec le temps que met une pomme pour tomber de l'arbre, ou avec le laps de temps entre l'enfoncement d'une touche sur le clavier et l'apparition du caractère correspondant sur l'écran. La perception des durées peut s'exercer "en temps réel" : c'est cette capacité qui nous permet de rester en vie lorsque nous traversons une rue. La perception des durées peut s'exercer sur des situations mémorisées : nous nous remémorons la durée exagérée du discours de départ d'un professeur. Enfin, de même que les aspects qualitatifs de la perception se retrouvent dans la simulation mentale, la perception des durées intervient dans les scènes que nous imaginons : de même que nous pouvons nous imaginer en train de traverser Paris à pied, nous pouvons imaginer le temps que nous mettrions pour cela. Nous appelons temps qualitatif l'ensemble des représentations et des mécanismes qui nous permettent de percevoir, d'estimer, d'évoquer, et d'anticiper les durées de manière intuitive.

Notre capacité de représentation qualitative du temps ne semble pas limitée à la perception et la simulation des durées. Nous possédons en outre la capacité d'agencer temporellement certains faits de notre mémoire encyclopédique. Nous pouvons nous figurer la suite de certains événements qui ont jalonné l'histoire de notre pays, même si bien entendu nous n'en avons pas été témoins. Cette capacité repose sur le lien associatif que nous avons établi, par apprentissage, entre chaque événement historique et celui qui le suit, dans notre mémoire. Les limites de cette capacité d'organiser nos connaissances et nos souvenirs en chaînes associatives temporelles s'observent dans les erreurs couramment commises. Par exemple, nous pouvons donner une succession d'événements politiques qui se sont produits en Europe aux dix-septième et dix-huitième siècles. Nous pouvons faire de même pour la succession des œuvres philosophiques majeures de cette époque, des œuvres théâtrales, des œuvres musicales. En revanche, il est souvent difficile de synchroniser ces suites entre elles ; si bien que de nombreuses personnes, mélangeant les différents classicismes, situent Bach à l'époque de Molière, alors que le second a disparu soixante-dix-sept ans avant le premier.

Les chaînes associatives temporelles sont analogues à d'autres chaînes associatives que nous apprenons par cœur, comme l'alphabet, la suite des nombres ou la suite des mots bijou, caillou, chou, Le parcours de telles chaînes présente des aspects qualitatifs analogues à la perception du temps : nous savons sans calcul que les lettres d et s sont plus éloignées que les lettres v et y dans l'alphabet. Il en est de même pour les chaînes temporelles que nous avons apprises. Par extension, nous inclurons ces chaînes associatives temporelles dans le temps qualitatif, compris au sens large.

La définition précise des différentes capacités qui sous-tendent le temps qualitatif est du ressort de la psychologie (JOHNSON & FOLEY & SUENGAS & RAYE 1988 [53]). Nous retenons que notre représentation qualitative du temps est approximative et parcellaire. Nous n'avons qu'une idée grossière du temps qui s'est écoulé depuis le moment où nous avons regardé notre montre. Nos associations ne nous donnent qu'une image très lacunaire de la chaîne des situations qui ont jalonné notre dernier voyage. Comment expliquer que nous parvenions à raisonner efficacement sur le temps à partir d'une mémoire temporelle si peu fiable ? Nous pouvons comparer notre représentation qualitative du temps à la situation qui prévaut dans un atelier de montage de cinéma. L'opérateur dispose d'une multitude de bouts de films et de séquences de diapositives montrant le genre de plans que l'on peut voir dans des documentaires ou dans des fictions. L'opérateur est capable d'associer telle image de telle séquence avec une autre séquence. Il peut ainsi monter quelques séquences pour réaliser un

passage cohérent. Si notre perception du temps est fidèle à cette analogie où tout est approximatif, lacunaire et sujet aux erreurs d'association, il faut montrer comment nous parvenons à raisonner de manière précise sur le temps et expliquer d'où nous vient l'idée d'un temps linéaire.

Une autre manière de présenter la différence entre la représentation qualitative du temps et la localisation temporelle exprimée par le langage consiste à voir la première comme intuitive et implicite, alors que la seconde est, par nature, explicite. C'est cette propriété qui rend la seconde propre à être communiquée verbalement, alors que le premier demeure une expérience privée. Alors que la perception des durées est une expérience "à la première personne", nous pouvons exprimer par des mots une relation de précédence comme celle exprimée par la phrase la révolution a précédé la guerre. Dans notre modèle, ce passage à la verbalisation est rendu possible par la mise en œuvre de cartes temporelles.

Cartes temporelles

Notre modèle repose sur l'idée que les représentations qui sous-tendent le temps qualitatif ne sont pas les seules mises en œuvre dans le raisonnement temporel. Nous postulons l'existence d'une structure de représentation, qui peut être qualifiée de mémoire de travail⁴, constituée de quelques registres qui permettent de conserver actives des représentations de type qualitatif. Cette mémoire héberge les grilles temporelles que nous allons considérer maintenant.

Considérons la phrase avant le repas, elle est sortie pour acheter des cigarettes. L'auditeur de cet énoncé comprend qu'il a affaire à deux situations, le repas R et la sortie S en vue de l'achat des cigarettes. Il sait que S précède R d'une durée D de l'ordre de l'heure. Comment sait-il que D n'est pas de l'ordre de mille ans ou d'une microseconde ? Une réponse précise nécessiterait des investigations psychologiques. La question a été abordée dans le cas du raisonnement spatial (TVERSKY 1993 [103]). La distance désignée par un syntagme comme à droite de l'arbre n'est généralement ni un millimètre, ni un kilomètre. Elle dépend de la taille du repère, l'arbre, mais aussi de celle de l'objet localisé : en cherchant à droite de l'arbre en question, on regardera plus loin pour localiser une voiture que s'il s'agit de localiser un stylo égaré. Elle peut aussi dépendre de la distance entre les interlocuteurs et le repère. Des paramètres analogues doivent s'appliquer à la localisation temporelle. Nous reparlerons plus loin de l'influence, sur les durées à considérer, des situations localisées. Nous retenons ici le fait que les sujets sont capables de déterminer une durée D plausible en utilisant leur estimation qualitative des ordres de grandeur en jeu et de leurs connaissances concernant les situations concernées. Dans notre exemple, la durée typique d'un repas et la durée typique d'un achat de cigarettes induisent l'auditeur à penser que D est du même ordre de grandeur que ces deux laps de temps.

Nous modélisons la performance de l'auditeur qui saisit les relations temporelles de notre exemple en supposant qu'il applique une grille temporelle aux représentations qualitatives, évoquées par les mots de l'énoncé. Dans cet exemple, il s'agit d'une grille de séparation qui permet de séparer et d'ordonner les événements S et R dans le temps. Nous symbolisons cette grille comme deux ronds séparés par un segment, ce que nous notons $\circ\text{---}\circ$. La grille devient une carte lorsque ses deux ronds renvoient à des situations du temps qualitatif et sa ligne à une durée. La carte temporelle relative à notre exemple peut donc se dessiner par le schéma suivant.

⁴ Le terme "mémoire de travail", importé de l'informatique, est largement utilisé en neuropsychologie (BADDELEY 1992 [2]). Nous comprenons ce terme comme référant à une base de registres, analogues à des pointeurs informatiques. En aucun cas nous ne supposons la possibilité d'une mémoire temporaire dans laquelle des contenus pourraient être copiés.



La durée D détermine l'échelle de la carte temporelle, de même que la distance réelle entre deux villes détermine l'échelle d'une carte sur laquelle figurent ces deux villes comme deux ronds reliés par une ligne symbolisant une route. La même grille s'appliquait à deux reprises dans notre exemple sur le début de l'univers, produisant deux cartes. La première carte, séparant le début de l'univers du moment d'énonciation, produisait une échelle de l'ordre de la dizaine de milliards d'années. La deuxième carte, qui permettait de séparer le début de l'univers de la brisure de symétrie, était à l'échelle de la seconde.

Notre modèle prévoit un nombre limité de grilles temporelles. Ainsi, une grille d'inclusion, notée $--o--$, permet de traiter les relations temporelles comme celle exprimée dans la phrase *elle est née pendant l'été 1350*. Dans ce cas, un événement, la naissance, est localisé au sein d'un état caractérisé par une date, l'été 1350. L'échelle est donnée, ici, par la durée considérée par le mot *été*. D'autres grilles sont possibles, comme celles que nous notons $o----$ et $----o$, qui permettent de traiter des phrases comme *elle est née au début / à la fin de l'été 1350*. Nous utiliserons également une grille d'extension, notée $=====$, pour signifier qu'un état s'étend au moins à un autre, comme dans la phrase *elle a été malade pendant deux jours*, où la durée de l'état de maladie évoqué est étendue de manière à englober la durée des deux jours. Enfin, nous utiliserons une grille de superposition, notée $--8--$, pour représenter l'aspect temporel des phrases comme *il est arrivé quand je suis partie*.

La notion de grille remplit la fonction de mémoire de travail. Les éléments d'une grille sont autant de registres qui peuvent "pointer", au sens informatique du terme, vers des éléments du temps qualitatif. Nous appelons moments les registres qui pointent vers des événements et qui sont désignés par des ronds dans notre symbolisation des grilles. Nous appelons époques les registres qui pointent vers des états et qui sont désignés par un segment dans une carte donnée.

Le fait de considérer des cartes temporelles peut laisser supposer que le modèle est sujet au dilemme de la granularité. Comment représenter des durées de temps de plus en plus fines sur une carte temporelle ? L'hypothèse fondamentale du modèle est qu'une carte n'offre que les moments et les époques que comporte sa grille. Tout autre traitement nécessite un changement de carte, comme nous le verrons.

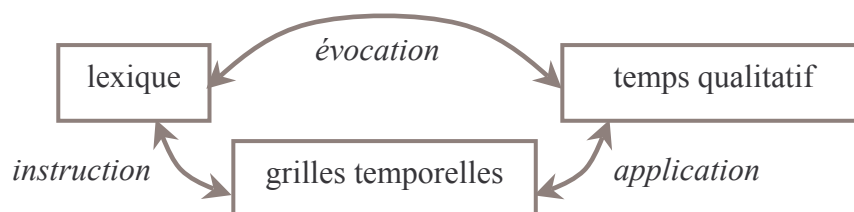
Du langage vers le temps qualitatif

Nous devons maintenant indiquer comment les deux systèmes que nous avons distingués, le système du temps qualitatif et le système des grilles temporelles, fonctionnent conjointement pour permettre la gestion des aspects temporels du langage et du raisonnement. Nous commençons par décrire comment les composants d'un énoncé simple contribuent à la formation d'une carte temporelle.

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* et *cætera*, 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. Nous n'avons aucune difficulté pour nous rappeler ce que nous avons fait avant le repas et ce que nous avons fait après. Ce qui permet à notre interlocuteur d'évoquer en nous l'un ou l'autre de ces souvenirs est la différence qui existe entre les effets cognitifs produits par les mots avant et après. Selon notre modèle, ces mots nous donnent accès au souvenir adéquat par l'intermédiaire 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. Dans la phrase elle est sortie avant le repas, le mot *avant* convoque deux moments, ce qui donne une grille de séparation $\circ\text{---}\circ$. En revanche, dans la phrase elle est absente depuis le repas, le mot *depuis* convoque un moment et une époque, que l'on retrouve dans la grille de début $\circ\text{---}\text{---}$.

La formation de la carte temporelle commence au moment où les mots produisent leur pouvoir d'évocation par association. Dans la phrase elle est sortie avant le repas, le mot *repas* évoque, par exemple, le dernier repas que les interlocuteurs ont pris ensemble. Le mot *avant* pousse l'auditeur non seulement à considérer mentalement l'épisode du repas dans son ensemble, mais également à rechercher une évocation pour la sortie du personnage dans le temps qui a précédé le repas. Cette capacité suppose que nous soyons capables de diriger la recherche au sein de notre mémoire épisodique dans certaines directions. Lorsque nous nous demandons ce que nous avons fait hier, nous essayons de raviver nos souvenirs récents. Ce processus est sujet à l'erreur : nous pouvons prendre un épisode de l'avant-veille pour un épisode de la veille. L'indexation des épisodes est rendue plus aisée par certaines contraintes, comme la continuité des lieux où l'on se trouve, ou la causalité, qui fait qu'un effet suit sa cause. Par le jeu combiné des associations et de ces contraintes, nous parvenons à nous diriger dans notre mémoire épisodique. Ainsi, nous pouvons nous transporter mentalement dans l'année dernière, par exemple en ravivant un souvenir marquant ou typique de cette époque. Nous pouvons également nous projeter dans le mois prochain, en utilisant les connaissances que nous avons sur ce que sera notre situation (JOHNSON 1988 [52]). Il est important de noter que cette exploration de la mémoire épisodique est très peu déterministe, dans la mesure où elle repose largement sur les capacités associatives. Nous verrons comment la précision peut être obtenue par raffinements successifs.

Le schéma précédent décrit un partage des tâches. Certains éléments lexicaux d'un énoncé, comme les mots *repas* ou *sortie*, évoquent des épisodes que l'auditeur connaît ou qu'il peut imaginer. Pour aider à la détermination temporelle de ces épisodes, d'autres mots fournissent des instructions. Ainsi, le syntagme *pendant le repas* pousse le sujet à rechercher

mentalement une association au sein de la durée qualitative du repas⁵. Par exemple, la phrase elle est sortie pendant le repas peut conduire l'auditeur à former ou à rappeler un épisode dans lequel la personne, attablée et en train de dîner, se lève et sort. Les aspects qualitatifs de l'évocation ne sont pas toujours aussi riches. L'important est que l'interprétation de l'énoncé produit une carte temporelle en appliquant les éléments d'une grille temporelle à des épisodes plus ou moins instanciés. Comme nous le verrons, cette carte sert ensuite à la formation d'autres cartes ou à la production d'inférences.

Il importe de commenter la nature des instructions associées à certains mots à connotation temporelle. Par exemple, nous supposons que le mot après convoque une grille de séparation du type ○----○ ; le mot pendant implique une idée d'inclusion et donc force à considérer une grille du type --○-- ou du type ===== ; de même, le mot quand suggère une simultanéité qui ne peut être exprimée que par les grilles --8--, --○--, ou =====. Ce faisant, il semble que nous soyons en train d'assigner de manière rigide des schémas symboliques à des mots. Cela signifierait que ces mots sont, cognitivement, représentés sous la forme de ces schémas. Or, comme nous le verrons, une telle hypothèse pose des problèmes considérables (CF. CHAPITRE 7). Nous évitons cette difficulté en considérant que ces mots sont simplement associés aux instructions qu'ils donnent. Comme toute association, le lien que certains mots entretiennent avec les instructions qu'ils suggèrent est fortuit et modifiable par l'habitude. Simplement, l'éventail extrêmement restreint des instructions possibles fait que ces associations passent difficilement d'un type d'instruction à un autre. Elles sont donc d'une grande stabilité, au point de paraître aussi rigides que des définitions. Il n'en reste pas moins que les instructions temporelles attachées à un mot donné peuvent fluctuer et être ambiguës, comme pour tout lien associatif. Ainsi, l'évolution de la langue et la variété des parlers régionaux ont associé le mot français tantôt à des instructions temporelles équivoques, qui conduisent à considérer un moment soit antérieur, soit postérieur, voire un moment défini de la journée.

Du temps qualitatif vers le langage

Pour être cognitivement plausible, le même modèle doit fonctionner aussi bien en production qu'en compréhension des expressions langagières. Notons que les liens de notre schéma sont bidirectionnels. Les liens marqués évocation et instruction étant de type associatif, sont par nature bidirectionnels. Il est important de comprendre en quoi l'opération correspondant à la constitution d'une carte temporelle par application d'une grille temporelle au temps qualitatif peut se faire dans les deux sens. Dans un sens, celui de la compréhension, la grille est convoquée par certains mots de l'énoncé et contraint les associations que l'on peut faire au niveau du temps qualitatif. L'opération inverse, correspondant à la production d'un énoncé consiste, pour le sujet, à partir d'une situation, remémorée ou imaginée au niveau qualitatif, qu'il cherche à localiser dans le temps, pour arriver à la mettre en relation avec une autre situation. Au niveau qualitatif, le temps n'est disponible que sous forme implicite. Il existe une perception des durées, tant pour la situation présente que pour les situations remémorées ou imaginées, mais rien ne permet de faire des associations avec des mots comme avant, déjà, pendant, *et cætera*, qui supposent qu'au moins deux situations soient discernées sur le plan temporel. Nous supposons que, pour ce faire, les sujets possèdent les deux capacités suivantes.

Premièrement, les sujets peuvent considérer une situation en se plaçant mentalement à l'extérieur ou à l'intérieur, transformant respectivement la situation en moment ou en époque. Cette distinction correspond à la séparation traditionnelle entre états et événements, avec la

⁵ Un phénomène analogue existe pour l'espace. Une expression comme dans le stade pousse l'auditeur à explorer, visuellement ou mentalement, l'intérieur de l'espace circonscrit par les limites du stade.

différence notable que la propriété d'être un moment ou une époque est transitoire, et n'est attachée de manière intrinsèque ni aux situations, ni aux mots qui peuvent l'évoquer.

Deuxièmement, les sujets ont la capacité de contraster temporellement deux situations quelconques qu'ils considèrent. Selon qu'ils les considèrent de l'intérieur ou de l'extérieur, ils parviennent aux grilles temporelles indiquées dans le tableau ci-dessous. Ici, les termes thème et repère réfèrent respectivement au premier et au deuxième élément du contraste.

thème repère	moment	Époque
moment	○-----○ --8--	○----- --○-- ----○
époque	○----- --○-- ----○	=====

La première case de ce tableau décrit le cas où les deux situations sont considérées de l'extérieur et forment des moments. Les seules grilles appropriées à ce cas sont la grille de séparation et la grille de superposition. À l'inverse, la dernière case décrit le cas de deux situations considérées de l'intérieur. La seule grille qui puisse s'appliquer dans ce cas est une grille d'extension. Les deux cas croisés peuvent donner lieu à différentes configurations de type inclusion, début, fin. Noter que si les grilles sont les mêmes pour ces deux cas, l'ordre de l'évocation des deux situations mises en relation est inverse. Ainsi, la grille d'inclusion peut être produite lorsqu'un moment est situé au sein d'une époque, ce qui donnera une verbalisation comme la phrase elle est née en cette année-là, ou lorsqu'une époque est située par rapport à un moment, donnant par exemple la phrase l'année où elle est née.

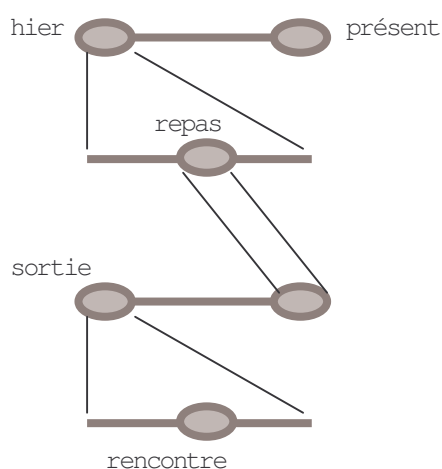
Insistons sur le fait que l'opposition moment/époque est une affaire de point de vue. La conséquence est que le seul sens que l'on peut donner à un constat comme "le verbe éternuer est un verbe d'événement" est que "typiquement, la situation évoquée par le verbe éternuer est considérée de l'extérieur". Il est parfaitement possible de dire et de comprendre une phrase comme pendant qu'il éternuait, il s'est produit plus d'un million de désintégrations dans l'échantillon de plutonium. Dans ce cas, la situation de l'éternuement est considérée de l'intérieur et apparaît comme une époque. Le fait que nous nous placions mentalement à des durées rarement inférieures à la seconde, dans la vie courante, est un fait fortuit. On ne saurait trouver là de raison cognitive fondamentale pour opérer une partition du lexique.

Une autre remarque concerne la pauvreté de l'inventaire des grilles temporelles. Le caractère topologique des relations qu'elles représentent exclut la possibilité de distinguer sur une seule carte deux épisodes légèrement décalés. Les seules distinctions possibles sont celles du tableau précédent. L'un des aspects prédictifs du modèle réside dans le fait que, pour conceptualiser des relations plus fines, nous sommes contraints d'utiliser plusieurs cartes, comme nous allons le voir.

Les opérations qui consistent à considérer et à contraster les épisodes permettent de parvenir à une carte, puis à une verbalisation. Le modèle fonctionne ainsi à la fois en compréhension et en production. Il semble cependant que, tel quel, il ne puisse expliquer les relations temporelles des énoncés complexes. Un aspect fondamental du modèle est que la procédure de localisation peut s'appliquer de manière récursive.

Procédure récursive de localisation

Une partie des productions conversationnelles, notamment dans les narrations, sont consacrées à la localisation temporelle des situations. Cette localisation ne se fait généralement pas en une fois. Le principe est que, par une succession d'inclusions et de séparations, l'auditeur a les moyens de reconstituer, avec la précision requise, la localisation d'une situation qu'on cherche à lui indiquer. Reprenons notre précédent exemple, que nous complétons pour obtenir la phrase hier, avant le repas, quand elle est sortie pour acheter des cigarettes, elle a rencontré son professeur. Notre modèle stipule que, pour traiter ce fragment de discours, l'auditeur forme successivement un certain nombre de cartes temporelles. La première lui permet de séparer hier d'aujourd'hui ; puis il place à l'aide d'une autre carte le repas à l'intérieur d'hier ; une autre carte encore lui permet de séparer la sortie du repas ; une dernière carte lui permet de situer la rencontre à l'intérieur de la sortie. Nous résumons cela dans le schéma suivant.

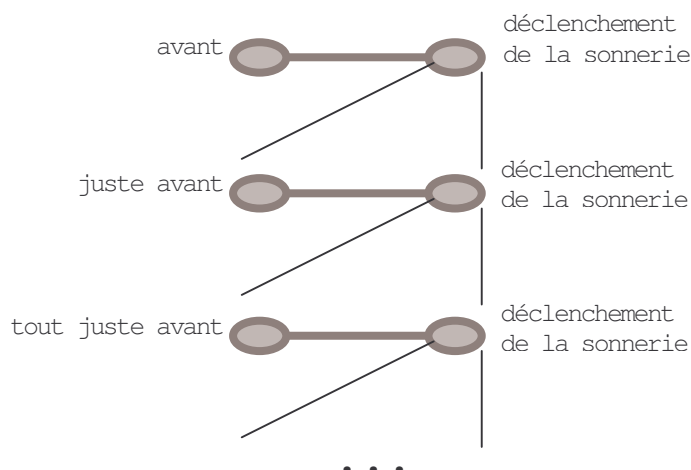


Cette succession de carte est due à une contrainte fondamentale imposée par notre modèle, qui est absente de la plupart des modèles rendant compte de la temporalité dans le langage. Cette contrainte veut que les différentes grilles ne soient pas superposables. En d'autres termes, il n'existe qu'une seule carte à un moment donné du traitement. Pour entrer à l'intérieur d'un moment, il faut le transformer en époque, ce qui exige un changement de carte. De même, pour opérer une séparation plus fine que la séparation courante, il faut également changer de carte. L'exemple précédent illustre bien le phénomène qui veut qu'une carte "chasse" l'autre. D'un point de vue cognitif, cela signifie que nous ne sommes pas capables de considérer (dans le sens particulier que nous avons donné à ce mot) plus de deux situations à la fois. Lorsque nous localisons la sortie avant le repas, la position d'hier par rapport à aujourd'hui n'est pas directement accessible ; de même, lorsque nous plaçons la rencontre avec le professeur pendant le temps de la sortie, le moment du repas n'est plus directement accessible. Cela ne veut pas dire que ces éléments ne laissent pas de trace mnésique. Simplement, ils ne sont accessibles que par voie associative, et non par "lecture directe". Ce phénomène a été étudié dans le cas des images mentales (KOSSLYN 1994 [61]) : lorsque le sujet déclare zoomer dans l'image, il perd la vision de l'ensemble (CF. CHAPITRE 9). Selon notre modèle, une situation analogue prévaut dans le cas des cartes temporelles. Cette contrainte conduit la procédure de localisation à se répéter en enchaînant carte après carte jusqu'à ce que la localisation soit jugée suffisamment précise pour les besoins de la communication.

À chaque changement de carte, les moments et les époques acquièrent un aspect qualitatif, lorsque cela est possible. Ainsi, l'auditeur peut se remémorer le repas de la veille. Il peut imaginer le trajet vers le bureau de tabac. Il peut rappeler à sa mémoire le visage du professeur s'il le connaît. Un aspect fondamental du modèle est que ces associations peuvent évoquer des images peu instanciées, voire aucune image. Cela ne bloque pas, la plupart du temps, le processus de compréhension. Ainsi, le lecteur a pu donner un sens à l'énoncé de notre exemple sans donner de durée précise au repas mentionné. On trouve un phénomène analogue dans l'imagerie spatiale, lorsqu'il s'agit d'interpréter la description d'un itinéraire. Le résultat aura un aspect qualitatif tout différent selon que l'on connaît les lieux ou non. Cependant, si la description est appropriée, celui qui ne connaît pas du tout le secteur peut néanmoins se former à l'avance une image, pauvre certes, mais suffisante, de ce qu'il doit trouver sur sa route.

L'itération de la procédure de localisation temporelle fait qu'on ne peut poser de limite *a priori* à la précision qu'il est possible d'atteindre dans l'évocation des épisodes. Cette propriété du modèle lui permet de résoudre le problème de la localisation temporelle sans tomber dans le dilemme de la granularité. Si nous reprenons la métaphore de l'atelier de montage cinéma, l'itération de la procédure de localisation conduit le monteur à passer de boîte en boîte, de bobine en bobine, de séquence en séquence, en suivant des liens associatifs, jusqu'à parvenir au passage recherché. Ce type de recherche ne requiert pas que l'ensemble des séquences soit totalement ordonné sur un film global unique. Il suffit que le monteur dispose de nombreux liens associatifs et soit capable de comprendre des consignes de direction ("c'était un film plus ancien" ou "la scène d'après") et d'inclusion ("c'est dans l'épisode du voyage"). Par cette technique, le monteur peut localiser, si elle existe, une scène correspondant à une durée arbitrairement courte. L'analogie suggère à la fois qu'il existe un grain pour nos souvenirs : nous ne sommes pas capables de rappeler à notre mémoire tous les détails de ce que nous avons vécu l'an dernier ou même la veille. Ce grain, dans notre analogie, correspond aux images effectivement présente sur la pellicule des reportages. En revanche, lorsque nous imaginons des scènes, ce qui correspond aux images de synthèse dans notre analogie, il n'y a pas de limite à la précision temporelle qui peut être atteinte. La procédure de localisation temporelle peut toujours être continuée un pas de plus, ce qui supprime toute idée de grain dans notre conceptualisation du temps.

L'évitement du dilemme de la granularité, dans notre modèle, est obtenu d'une part par l'abandon de l'idée d'une structure de mémoire temporelle unique, et d'autre part par le fait que la procédure de localisation temporelle est appliquée de manière itérative jusqu'à la précision désirée. Or, ce deuxième point semble problématique. Que se passe-t-il si, comme le suggère Zénon, on itère la procédure à l'infini ? Certes, comme la procédure n'opère pas sur une structure de mémoire globale, on ne peut pas en extrapoler l'existence d'un grain infinitésimal. Mais la possibilité même que la procédure puisse être itérée indéfiniment semble mettre le modèle en péril. En réalité, bien au contraire, le fait que la procédure de localisation puisse être itérée est précisément ce qui permet d'expliquer le fait que les sujets humains soient piégés par l'argument de Zénon. Prenons l'exemple de l'argument du moment inaccessible. L'expérimentateur demande au sujet de se placer mentalement avant le moment où l'horloge va sonner. Une fois cela fait, il demande au sujet d'imaginer un moment encore plus proche du déclenchement de la sonnerie, mais distinct de celui-ci. Cela fait, le sujet est censé recommencer, et ainsi de suite. Le sujet comprend rapidement qu'il s'agit d'un jeu sans fin. La perplexité cognitive qui en résulte est prédite par notre modèle. La figure suivante donne une idée de son comportement.



Lorsqu'il est en mesure, grâce à une grille de séparation, de distinguer un moment situé avant le déclenchement, le sujet ne peut considérer un moment situé "juste avant" le moment du déclenchement sans changer de carte. Le problème est que rien ne distingue la nouvelle carte de la précédente. Ceci est dû à la pauvreté de la représentation qualitative attachée à chaque étape. Comme nous n'avons pas d'expérience directe de durées aussi courtes, nous ne parvenons plus à donner un aspect qualitatif aux moments que nous construisons, si bien que les différentes cartes se retrouvent sans échelle, identiques les unes aux autres. Il en résulte une boucle potentiellement infinie qui ne dure que le temps de la persévérance de l'expérimentateur et de la bonne volonté du sujet. Le fait que le modèle prévoie l'entrée en boucle est donc à porter à son crédit.

Le fait que nous soyons capables de nous repérer dans le temps en l'absence de référence précise à toute expérience qualitative est une propriété remarquable de notre compétence temporelle. Pour le non physicien, une phrase comme il y a quinze milliards d'années, trois picosecondes après le début de l'univers, la symétrie entre la matière et l'antimatière s'est brisée reste compréhensible, bien que les durées mentionnées n'évoquent rien de palpable et restent totalement abstraites. Le sujet est néanmoins capable d'enchaîner deux grilles de séparation, ce qui peut lui suffire, dans de nombreux cas, à effectuer les inférences que l'on attend de lui.

Fonctionnement du modèle

Le modèle que nous venons d'esquisser présente un certain nombre d'avantages, dont le moindre n'est pas qu'il échappe au dilemme de la granularité. Nous pouvons également montrer qu'il fournit une description parcimonieuse d'un certain nombre de phénomènes d'acceptabilité sémantique relatifs à l'expression du temps.

Considérons les exemples suivants.

- (1) Il a mangé pendant le spectacle.
- (2) Il a mangé pendant deux heures.

Dans le premier cas, une interprétation possible est que l'individu s'est rassasié, par exemple en mangeant un sandwich, à un moment donné du déroulement du spectacle. Cette interprétation est impossible dans le deuxième cas, où le repas doit nécessairement durer les deux heures. Pour comprendre cette différence, examinons la nature des cartes construites. Dans les deux cas, le passé composé du verbe *manger* conduit à établir une première carte du type $\circ\text{---}\circ$ pour séparer le moment du repas du moment présent. Dans la phrase (1), la

mention pendant le spectacle conduit à considérer l'épisode du spectacle de l'intérieur, autrement dit à en faire une époque par rapport à laquelle le fait de manger est repéré. Nous avons donc une deuxième carte, qui peut être du type --○--, auquel cas le repas continue d'être un moment. Il ne s'agit que d'une préférence, car on peut comprendre que l'individu a mangé pendant toute la durée du spectacle, ce qui correspond à une carte du type =====. Dans la phrase (2), la deuxième carte correspond nécessairement à une grille d'extension. La raison que nous donnons de ce phénomène est que la mention deux heures est une indication de durée dont la détermination ne peut venir que du repas⁶. Il y a donc adéquation entre cette durée et celle du repas, d'où la grille d'extension. Il est important de noter que, conformément à ce que prévoit le modèle, l'auditeur imagine spontanément des situations simples. Dans le cas de la phrase (1), ce sera un repas ponctuel ou un repas qui occupe toute la durée du spectacle. Il n'imagine pas de configurations complexes comme deux prises d'aliment au début et une au milieu du spectacle. Contraint d'appliquer une grille d'inclusion ou une grille d'extension, il imagine une situation qui s'accorde le plus simplement possible avec ces grilles.

Considérons maintenant les phrases suivantes.

(3) Le mois dernier, elle a repeint son appartement.

(4) Le mois dernier, elle repeignait son appartement.

La phrase (3) suggère deux lectures, l'une où l'acte de repeindre n'a pris que quelques jours situés dans le mois précédent, l'autre où l'acte de repeindre a été réparti dans toute la durée du mois. Nous sommes exactement dans le cas de la phrase (1). Dans la phrase (4), seule la deuxième lecture est possible⁷. La marque de l'imparfait convoque une époque, autrement dit l'acte de repeindre est considéré de l'intérieur. L'apposition le mois dernier convoque également une époque. Nous sommes donc dans le cas d'une grille d'extension, ce qui explique que l'acte de repeindre soit perçu comme occupant l'entièreté du mois.

Considérons maintenant les exemples suivants.

(5) L'an dernier, elle mangeait au café de la Sorbonne.

(6) L'an dernier, elle mangeait au café de la Sorbonne quand la nouvelle est arrivée.

(7) L'an dernier, elle mangeait au café de la Sorbonne pendant la coupe du monde.

(8) * L'an dernier, elle mangeait au café de la Sorbonne pendant trois jours.

(9) L'an dernier, elle mangeait au café de la Sorbonne pendant deux heures.

L'auditeur de la phrase (5) comprend que la personne a pris régulièrement ses repas au lieu dit pendant l'année précédente, autrement dit qu'il ne s'agit pas d'un seul repas, mais d'une répétition. Ce phénomène est une conséquence de la nécessité d'appliquer la grille d'extension. Comme dans le cas de la phrase (4), la présence de l'imparfait oblige à considérer une époque, ce qui ne laisse comme option que la grille d'extension. Le problème est qu'au niveau qualitatif, un repas typique ne dure pas une année. Dans un tel cas, notre modèle prévoit que pour satisfaire la grille d'extension, le sujet a la possibilité de considérer non un épisode unique, mais la répétition de ce même épisode. À l'échelle d'une année, un repas typique sera forcément considéré de l'extérieur. En revanche, sa répétition, en tant

⁶ Pour la phrase il a mangé entre 14h et 16h, la lecture dans laquelle le repas n'a duré qu'un moment est possible. Elle suppose toutefois que les bornes 14h et 16h aient leur propre détermination, par exemple s'il s'agit d'une enquête de police et que ces bornes sont déduites d'autres faits. Sinon, c'est la deuxième lecture, dans laquelle le repas dure au moins deux heures, qui s'impose.

⁷ La phrase (4) peut être aussi utilisée dans une forme particulière de narration, comme dans le fragment de discours il y a deux ans, elle achetait l'appartement, l'an dernier, elle le repeignait, cette année elle le revend. Ici, la simplification fait que les années sont présentées comme ne pouvant contenir qu'une seule situation. Tout se passe comme si les situations, citées en tant que faits marquants par rapport au contexte, suffisaient chaque fois à remplir la durée correspondante. Les situations et les durées sont donc, là aussi, coextensives, ce qui est cohérent avec notre remarque.

qu'habitude, peut être considérée de l'intérieur. Il peut donc y avoir co-extension entre l'année et le repas itéré, conformément à ce que demande la seule grille applicable dans la phrase (5). La phrase (6), quant à elle, ne requiert pas l'itération de l'épisode de manger. La marque de l'imparfait introduit bien une époque, mais cette époque n'est pas impliquée dans une grille d'extension. L'exemple met en jeu, tout d'abord, une grille de séparation pour situer l'an dernier par rapport au présent⁸, puis une grille d'inclusion pour inclure le moment du repas dans l'année, et enfin une grille d'inclusion pour inclure l'arrivée de la nouvelle dans l'épisode du repas. L'époque associée à la marque de l'imparfait est impliquée dans la dernière carte, non dans celle qui repère le repas par rapport à l'année, comme dans le cas de la phrase (5). Il n'y a donc pas lieu de considérer l'épisode comme répété. La phrase (7) s'analyse comme la phrase (5), sauf que la dernière carte redevient une carte d'extension à cause de la présence du mot *pendant*, si bien que l'on retrouve le phénomène de répétition que l'on avait pour la phrase (5). Le caractère peu acceptable de la phrase (8) entre bien dans le cadre de notre modèle. Comme pour la phrase (2), la durée mentionnée par le syntagme *trois jours* n'a pas d'autre détermination que l'acte de manger, ce qui force une grille d'extension. Le problème est qu'on se retrouve avec deux cartes contradictoires. Toutes deux utilisent une grille d'extension et concernent la version itérée du repas, comme dans le cas de la phrase (5). Or, le repas itéré ne peut pas être à la fois co-extensif avec une année et trois jours. L'acceptabilité de la phrase (9) est due au fait que la première carte d'extension concerne la version itérée du repas, alors que la seconde porte sur un seul exemplaire. Il n'y a plus de contradiction. Cet exemple illustre le fait que la possibilité d'itérer un moment pour en faire une époque, de manière à satisfaire une grille donnée, n'a pas de conséquence sur les autres grilles.

La revue de ces différents exemples avait pour but de montrer que le modèle fournit un cadre adéquat pour la description des phénomènes langagiers liés au temps. L'inventaire linguistique complet des instructions associées aux différents morphèmes à connotation temporelle, exprimées dans les termes de notre modèle, sera un pas utile vers l'élaboration du traitement automatique des aspects temporels de la langue.

Temps et raisonnement

Le modèle que nous venons d'esquisser permet non seulement de mieux comprendre les phénomènes langagiers liés au temps, mais également d'expliquer comment les individus raisonnent par rapport au temps. L'une des fonctions rendues possibles dans le cadre du modèle est la localisation des épisodes évoqués par le locuteur entre eux et par rapport aux souvenirs de l'auditeur. Comme signalé précédemment, on ne peut pas poser de borne *a priori* à la précision de cette localisation. Le positionnement par rapport à des références mémorisées dépend de la précision, souvent grossière, avec laquelle on peut accéder à ces souvenirs. Le positionnement relatif d'épisodes imaginés peut, en revanche, être arbitrairement précis. Ainsi, le locuteur peut nous amener à nous transporter mentalement quinze milliards d'années en arrière et nous faire constater qu'il y a eu un épisode de temps de quelques secondes cruciales pour l'avenir de notre univers. Nous avons la capacité de suivre ce repérage temporel, même si nous n'avons aucune représentation qualitative directe pouvant servir de support. La procédure de localisation temporelle permet ainsi à nos capacités de raisonnement de s'appliquer à des situations qui échappent à notre perception immédiate et mêmes aux limitations de nos souvenirs.

La procédure de localisation temporelle ne fait pas qu'augmenter considérablement le pouvoir de notre capacité à raisonner. Elle en constitue un élément fondamental. Prenons

⁸ Cette grille est facultative, car le syntagme *l'an dernier* peut être analysé par l'auditeur comme une expression figée évoquant une représentation qualitative par simple association.

l'exemple de l'alibi. Le suspect qui parvient à démontrer qu'il avait quitté les lieux avant le moment du crime convainc de son innocence. Les membres du jury doivent, pour cela, réaliser un raisonnement spatial et temporel. Le suspect, pour être coupable, devait se trouver sur les lieux "au moment" du crime. Dans cette version, le moment du crime est inclus dans l'époque de la présence sur les lieux, selon une grille du type --○--. Dans la version où le suspect est innocent, la grille qui s'applique est une grille de séparation ○----○ : le moment de la présence sur les lieux est séparé du moment du crime. Noter que la présence du présumé innocent sur les lieux du crime est considérée de l'extérieur, dans sa globalité, et apparaît cette fois comme un moment sur la carte temporelle. La capacité que nous avons d'exclure la culpabilité du suspect qui produit un tel alibi, est fondée sur le pouvoir des cartes temporelles de représenter les relations topologiques⁹. Les deux cartes étant incompatibles, le jury doit choisir entre elles. Le sort du suspect hérite du caractère binaire de ce choix.

Nous mettons en œuvre, à maintes reprises quotidiennement, cette capacité de considérer des grilles temporelles exclusives, par exemple pour réaliser que nous allons manquer notre train. Il est essentiel de noter que cette capacité ne peut être expliquée par un système purement associatif. Le caractère binaire du choix entre les deux grilles est dû à une exclusion de principe, non à la présence de deux attracteurs potentiels. Un système connexionniste, par exemple, peut basculer vers l'un ou l'autre de deux attracteurs qui ont été forgés par apprentissage. Avant de converger, il peut être considéré comme hésitant. Si le jury de notre anecdote hésite, ce n'est pas parce qu'il se trouve dans une position intermédiaire, considérant par exemple que le temps de présence du suspect recouvre à 30% le temps du crime. Pour hésiter, le jury "commute", de manière binaire, entre les deux grilles. Dans ce système, contrairement aux systèmes purement associatifs, les positions d'équilibre ne sont pas des attracteurs forgés par apprentissage, et les intermédiaires n'existent pas. L'exclusion propre au raisonnement logique est une exclusion de principe. Notre modèle suggère, au moins dans le cas du temps, que cette exclusion repose sur un mécanisme de nature topologique.

La procédure de localisation temporelle, avec ses grilles temporelles, intervient dans d'autres aspects du raisonnement. Elle intervient notamment dans les inférences liées à notre intuition de la causalité. Une même grille de séparation peut s'instancier dans deux cartes différentes, dans lesquelles deux situations E_1 et E_2 sont séparés dans des ordres inverses. Ainsi les deux moments, celui de gauche et celui de droite, d'une grille ○----○ peuvent tour à tour s'appliquer, respectivement, à E_1 et E_2 ou à E_2 et E_1 . Si c'est la deuxième carte qui est prise en compte, alors l'épisode E_1 ne peut être considéré comme la cause de l'épisode E_2 . Si nous savons que le malade a contracté la maladie après avoir été transfusé, nous sommes tentés d'établir un lien causal. Si nous apprenons qu'il a été déclaré malade avant la transfusion, celle-ci ne peut être la cause de la maladie. Là encore, le caractère incompatible des deux cartes est fondamental, et là encore un système purement associatif serait incapable de conclure à la stricte impossibilité du lien causal.

Considérons un autre exemple du rôle que joue la procédure de localisation temporelle dans le raisonnement, en comparant les deux phrases suivantes.

- (1) Quand elle était malade, il est venu la voir.
- (2) Quand elle était malade, il venait la voir.

Un francophone donnera différentes significations à ces deux phrases, notamment celles qui peuvent être caractérisées par les paraphrases suivantes.

⁹ Pour être complet, le raisonnement doit également être spatial, ce qui suppose là aussi un système d'exclusion topologique. Le lecteur aura compris que le modèle que nous développons pour le temps s'applique, sous une forme analogue, à l'espace, comme cela sera proposé dans la suite de notre travail.

- (a) un seul épisode de maladie, une visite unique.
- (b) un seul épisode de maladie, quelques visites.
- (c) un seul épisode de maladie, des visites régulières.
- (d) plusieurs épisodes de maladie, une visite à chaque occurrence.

La phrase (1) s'interprète préférentiellement comme (a) ou (b), bien que (d) soit possible. La phrase (2) s'interprète exclusivement selon (c) ou (d). La compréhension du mécanisme engendrant cette différence est essentielle si l'on veut prédire les différentes inférences que l'auditeur peut tirer à partir de ces phrases. Le traitement de la phrase (1) se termine par une carte d'inclusion --○-- : la maladie, représentée par une époque du fait de l'emploi de l'imparfait, inclut la visite qui apparaît comme un moment du fait du passé composé. Cette représentation ne permet pas de choisir entre (a) et (b). L'incertitude est prédite par la pauvreté de l'inventaire des grilles temporelles. Du point de vue du raisonnement, l'incertitude est sans importance s'il s'agit de réfuter la version négative de notre exemple, c'est-à-dire la phrase il n'est pas venu la voir quand elle était malade.

Dans le cas d'une occurrence unique de la maladie, la phrase (2) s'interprète selon (c). La raison en est que l'imparfait du verbe venir contraint à une grille d'extension =====. Comme la durée typique de l'acte de venir rendre visite est inférieure à celle d'une maladie, l'exigence de co-extension entraîne la répétition de l'épisode de visite, d'où l'interprétation (c). L'interprétation (d) est également provoquée par une question de durée relative. Si le contexte permet de penser que la durée prise en compte est plus grande que celle d'un épisode de maladie, il faut répéter cet épisode. Il en résulte un intéressant phénomène de synchronisation entre les deux séries. La synchronisation de chaque occurrence de la maladie avec une occurrence au moins de la visite est due à la présence du mot quand, alors que la co-extension des deux séries est due à l'emploi des deux imparfaits. Tout se passe comme si (d) était une version itérée de (a) ou de (b). Cette synchronisation des séries est importante du point de vue du raisonnement. L'auditeur peut, par exemple, en inférer la grande fidélité du personnage. Dans un exemple analogue comme la phrase quand les oiseaux passaient, l'alarme se déclenchait, la synchronisation apparaît comme une corrélation systématique entre deux événements *a priori* indépendants. Une telle corrélation, qui ne peut être due au hasard, amène l'auditeur à inférer un lien causal.

Le système des cartes temporelles permet également de réaliser des inférences concernant les durées des épisodes considérés. Selon que l'on prononce la phrase elle a vendu sa maison avant son voyage pour la Chine ou la phrase elle a vendu son livre avant sa visite au médecin, la durée de temps typique entre la vente et le déplacement n'est pas le même dans les deux cas. La raison de cette inférence est qu'au sein d'une carte de séparation ○----○, les ordres de grandeurs des durées, au niveau qualitatif, ne peuvent pas être trop disparates. Rappelons que les moments sont associés, au niveau qualitatif, à des épisodes considérés dans leur globalité. Si l'échelle qui permet d'embrasser les deux moments permet de les séparer, c'est que la durée qui les sépare est perceptible à cette échelle. De ce point de vue, compte tenu des durées typiques, la phrase elle a vendu son livre trois minutes après son voyage en Chine apparaîtra comme sémantiquement mal formée.

Dans certains cas, l'échelle est imposée par le contexte et contraint l'interprétation de la phrase ainsi que les inférences auxquelles elle donne lieu. C'est notamment le cas des énoncés exprimés au présent. L'interprétation de la phrase c'est Pierre qui prépare le repas peut, selon le contexte, peut avoir les formes suivantes.

- (e) Pierre est en train de préparer le repas.
- (f) Pierre va préparer le prochain repas.
- (g) Pierre prépare habituellement les repas.

La marque du présent portée par le verbe est donc 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 (e), (f) et (g), cette fois-ci de manière non ambiguë. Ce phénomène s'explique, dans notre modèle, par un mécanisme en deux temps, qui implique successivement deux cartes temporelles. L'emploi du présent, en français, oblige à considérer une grille d'inclusion --o-- contenant un moment de référence, en général le moment d'énonciation¹⁰. Appelons *présent* l'époque qui figure dans cette grille. La grille donne lieu à une carte, dont l'échelle détermine si *présent* correspond à une seconde, un jour, un mois ou tout 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, généralement une grille d'extension ===== qui impose l'extension de *présent* à l'époque attachée à la situation décrite par le groupe verbal. Ainsi, l'ambiguïté des phrases au présent est due, dans notre modèle, au choix de l'échelle de la première carte. Si l'échelle est telle que *présent*, par exemple, est en deçà d'une heure, l'interprétation (e) pourra être préférée. En revanche, si l'échelle est d'un mois, ce sera (g) 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 (f). Si *présent* est de l'ordre de la journée, les interprétations (e) et (g) 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 une grille d'extension, mais une grille d'inclusion --o--.

Les explications qui précèdent reposent sur le fait que l'échelle qui permet d'assigner une durée à *présent* est déterminée par le contexte. En d'autres termes, le modèle prédit que le contexte contrôle entièrement le choix entre (e), (f) et (g). 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 inclut, bien entendu, les durées typiques des éléments mentionnés dans la phrase. Ainsi, dans la phrase *c'est Sydney qui organise les Jeux Olympiques*, les interprétations (e), (f) et (g) concerneront des durées différentes de celles de notre exemple du repas¹¹.

Avantages du modèle

Les exemples qui précèdent montrent comment le modèle fonctionne et illustrent son caractère parcimonieux. Le principe de l'enchaînement récursif des cartes temporelles résout des difficultés qui nécessitent des solutions complexes dans d'autres modèles. Par exemple, certains modèles linguistiques repèrent des conflits dans les instructions données par différents éléments d'un énoncé. Ces instructions peuvent ne pas être cohérentes entre elles ou être contradictoires avec les données du contexte ou les connaissances que l'on a par ailleurs (GOSSELIN 1996 [44]). Cette perte de cohérence, source de conflit, peut porter sur le temps, sur l'aspect ou sur l'un et l'autre.

Les énoncés suivants constituent des exemples d'emplois de formes verbales et de compléments circonstanciels qui suscitent des conflits (GOSSELIN 1996 [44]).

¹⁰ Le temps du présent, en français, peut être employé pour le futur proche. Ainsi, on peut dire *jeudi prochain, c'est Pierre qui prépare le repas*. Le présent est également employé lorsque les interlocuteurs se situent mentalement à un moment donné du passé ou du futur, comme cela est courant dans les narrations.

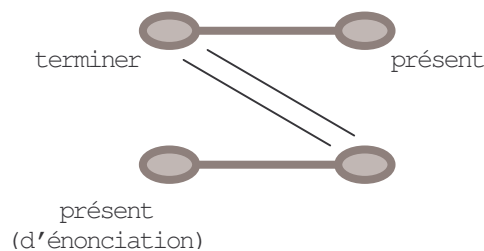
¹¹ Dans ce cas, l'interprétation répétitive risque d'être bloquée pour des raisons pragmatiques, car l'interlocuteur sait que l'organisation des Jeux Olympiques est tournante. Cependant, la phrase depuis vingt ans, *Sydney organise les Jeux Olympiques* sera interprétée avec succès de manière répétitive. C'est parce que cette interprétation réussit au niveau sémantique que l'incohérence peut être décelée au niveau pragmatique.

- (1) J'ai terminé dans une demi-heure.
- (2) Il fit du vélo pendant dix ans.
- (3) Il court le marathon en quatre heures.
- (4) Il découvrit le trésor en trois semaines.
- (5) Il sortit de la pièce où il écoutait de la musique depuis deux heures.

Dans l'énoncé (1), il y a conflit entre la forme du passé composé et le complément circonstanciel qui convoque un futur. En (2), le conflit naît de l'incompatibilité entre une connaissance encyclopédique, la durée typique d'une balade en vélo, et la durée donnée explicitement dans le complément. Dans l'énoncé (3), la morphologie verbale peut suggérer un aspect inaccompli, ce que l'on interprète classiquement par l'inaccessibilité de la borne supérieure de l'intervalle associé au processus, tandis que le complément circonstanciel exige que cette même borne supérieure soit accessible. En (4), l'aspect ponctuel suggéré par la morphologie verbale s'oppose à l'aspect duratif du complément circonstanciel. Dans l'énoncé (5), le sujet désigné par le pronom il semble occuper deux lieux différents à la fois, dans la pièce en train d'écouter et hors de la pièce puisque la sortie porte un aspect accompli.

Ces exemples posent de réels problèmes dans un modèle où les relations temporelles de l'énoncé doivent obligatoirement être représentées sur une structure unique, où les situations occupent des intervalles dont les bornes et les tailles relatives sont précisées. Pour résoudre ces conflits, une solution consiste à envisager que certaines zones de la structure de représentation puissent être sujettes à une déformation (GOSSELIN 1996 [44]). Ainsi, certaines zones temporelles sont censées se dupliquer, se contracter, se dilater, ou se déplacer selon les nécessités posées par le conflit. Bien que ces solutions se rapprochent de notre propre analyse, nous pensons que notre modèle est plus parcimonieux sur le plan cognitif, dans la mesure où il ne postule pas de traitement d'exception pour gérer les conflits. L'opération de la duplication introduite dans l'analyse citée ci-dessus est identique à notre mécanisme de répétition d'un moment au sein d'une époque. Les opérations de la contraction, de la dilatation, et du déplacement correspondent à la reprise d'un élément d'une carte dans une nouvelle carte. Selon le cas, une époque est reprise en tant que moment (contraction), un moment est zoomé pour se transformer en époque (dilatation), ou un moment est repris en tant que moment (déplacement). Notre modèle s'efforce donc d'expliquer les exemples qui précèdent en n'employant que des outils standard.

Le traitement de l'énoncé (1) se heurte effectivement à deux injonctions contradictoires, le passé du verbe et le futur du complément. L'énoncé est compris comme celui de j'aurai terminé dans une demi-heure, ce qui peut s'interpréter comme une priorité donnée au complément (GOSSELIN 1996 [44]). Nous préférons l'interpréter comme une propriété du moment présent qui, comme dans le cas du futur proche indiqué par le temps présent, n'est pas forcément astreint à inclure le moment d'énonciation. Si tel est le cas, l'énoncé (1) se traite par l'enchaînement de deux grilles d'extension, selon le schéma ci-dessous.



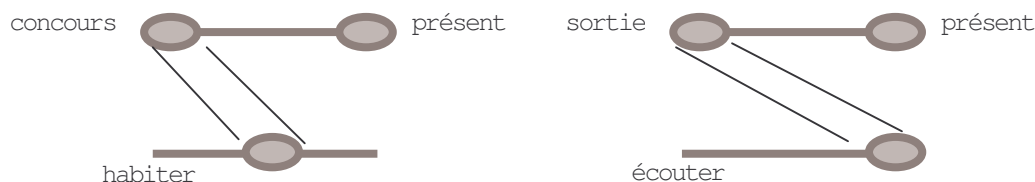
Tout se passe comme si l'époque présent pouvait apparaître de manière décorrélée dans plusieurs cartes. Cette possibilité explique l'emploi du présent narratif (il sort de la maison, il prend sa voiture, il arrive au carrefour, ...).

Pour un énoncé comme (2), nous avons montré comment le conflit entre les durées est résolu par la répétition de l'événement de base. L'événement itéré occupe une époque qui peut entrer dans la grille d'extension avec l'époque convoquée par le mot pendant.

Le traitement de l'énoncé (3), dans notre modèle, implique que l'époque présent soit coextensive avec la situation décrite par le groupe verbal. Par ailleurs, la durée introduite par la préposition en déclenche également une co-extension. Comme l'époque présent est supposée, par défaut, contenir le moment d'énonciation, il peut y avoir incompatibilité entre les deux co-extensions. Dans un contexte où le marathon est en train de se courir, l'incompatibilité peut être évitée (il court le marathon en quatre heures et après il revient pour manger). Si ce n'est pas le cas, l'incompatibilité entre les co-extensions conduit à l'itération de l'événement du marathon, comme pour l'énoncé (2), ce qui offre le degré de liberté manquant.

Dans un énoncé comme (4), notre modèle ne détecte pas de conflit, car les aspects ponctuels ou duratifs ne sont pas attachés à la même carte. Le passé simple convoque une carte de séparation qui distingue un événement, la découverte du trésor, du présent. Le complément circonstanciel introduit par la préposition en convoque une grille d'extension, ce qui nécessite une opération de zoom.

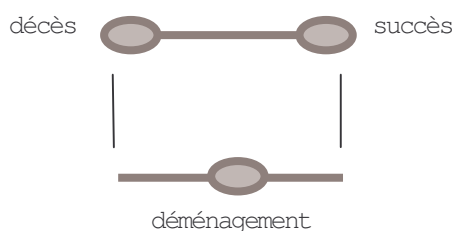
Le mécanisme de changement de carte permet encore à notre modèle d'éviter tout problème en ce qui concerne l'énoncé (5). Comme dans le cas des énoncés (2) et (4), l'emploi du passé simple déclenche une première carte séparant le présent du moment de la sortie. L'imparfait du verbe écoutait impose la convocation, dans une deuxième carte, d'une époque. La spécificité de l'énoncé (5) réside dans la manière dont ces deux cartes sont liées entre elles. Dans un énoncé comme elle passa le concours dans la ville où elle habitait, la deuxième carte comporte une grille d'inclusion, dans laquelle le moment reprend l'événement localisé par la première carte. Le schéma ci-dessous, à gauche, représente le résultat de cette procédure.



Dans l'énoncé (5), cette reprise par défaut est bloquée par la présence du mot depuis qui force une grille de fin, comme indiqué dans le schéma ci-dessus, à droite. En l'absence du complément introduit par le mot depuis, la représentation qualitative des éléments de l'énoncé, *id est* la simulation mentale de la situation, auraient pu également imposer le schéma de droite, seulement dans le cas où la sortie de la pièce signifie l'arrêt de l'écoute. Le conflit suggéré initialement n'existe que si l'on suppose, à tort, que l'imparfait convoque obligatoirement une grille d'inclusion. Or, ce n'est pas le cas. L'imparfait convoque simplement une époque. La carte qui en résulte dépend d'autres facteurs, comme le montre cet exemple.

Mentionnons un dernier exemple, qui semble de prime abord constituer une difficulté pour notre modèle, et qui, *a posteriori*, le conforte. Il s'agit de la préposition entre. Dans une phrase comme elle a déménagé entre le décès de son grand-père et sa réussite au concours, il semble qu'il y ait un double repérage, ce qui nécessiterait une grille temporelle à trois moments. Or, ajouter des grilles de plus en plus complexes risque de saper le modèle, dont la force repose précisément sur un inventaire limité et contraignant de grilles possibles. En réalité, l'idée d'une grille à trois moments provient d'une compréhension erronée du traitement de la préposition entre. L'usage de cette préposition, dans un schéma comme entre

A et B , convoque une grille de séparation $\circ\text{----}\circ$. L'époque de cette grille est ensuite réutilisée dans une grille d'inclusion, selon le schéma suivant.



Cette description présente l'avantage d'être compatible avec d'autres emplois de la préposition *entre*. Dans la phrase elle a trouvé le temps de la recevoir entre tous ses rendez-vous, la collection des rendez-vous est supposée délimiter une époque qui sert de base à la grille d'inclusion finale¹².

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini un modèle permettant d'expliquer la localisation temporelle des situations en évitant de tomber dans le dilemme de la granularité. Nous avons donné, par des exemples, un échantillon des phénomènes langagiers liés au temps que notre modèle est en mesure d'expliquer. Nous avons ensuite essayé de montrer comment notre modèle permet d'expliquer, de manière simple, un certain nombre d'inférences concernant le temps qu'il est possible de faire à partir des énoncés du langage. Nous avons mentionné la localisation relative des épisodes évoqués ou imaginés, les déductions logiques liées à l'inclusion ou l'exclusion temporelle des situations, la causalité, la corrélation des séries répétées et l'estimation des durées. Cette richesse des effets langagiers et inférentiels prévus par le modèle est due au fait que le système des cartes temporelles et la procédure récursive qui le met en œuvre se situent à l'interface entre trois domaines cognitifs : le système du temps qualitatif, le système langagier et le système de raisonnement. Grâce aux cartes temporelles, nous pouvons associer de manière fiable un aspect qualitatif aux éléments d'un énoncé langagier, en tenant compte des indications portées par certains mots et marqueurs spécialisés de la langue et en produisant un certain nombre d'inférences. Ces capacités, dans la plupart des cas, ne peuvent pas être assurées par le seul jeu des associations qui peuvent exister entre ces différentes représentations cognitives. Notre modèle, avec son système d'établissement de cartes temporelles éphémères, est un moyen parcimonieux de rendre compte de ces capacités.

Une caractéristique essentielle de notre modèle est qu'il permet de prédire, comme nous l'avons vu, certains phénomènes systématiques de la temporalité, et ceci sans jamais assigner de manière rigide des durées ou des caractéristiques aspectuelles aux mots du langage. Les liens qui unissent les mots aux durées ne sont que des liens associatifs, présentant des propriétés de typicité. Ainsi, un film de cinéma dure typiquement 90 minutes, mais nous n'avons aucun problème pour comprendre un énoncé du genre le film a duré deux mille cinq cents heures. Si la durée typique d'un film était codée "en dur" dans la signification du mot film, l'énoncé ne pourrait tout simplement pas être compris. De même, comme nous l'avons signalé plus haut, des jugements aspectuels, comme la classification des verbes par leur

¹² Le fait que la préposition *entre* ait pour fonction de construire une interpolation s'observe de manière flagrante dans ses emplois non temporels, comme celui dans la phrase c'est un déjeuner entre amis. Nous reviendrons longuement sur la ressemblance entre les opérations temporelles et les opérations sémantiques en général (CF. CHAPITRE 9).

structure temporelle, ne peuvent être que des jugements de typicité, liées aux échelles de temps typiques qui accompagnent généralement les situations perçues dans le discours quotidien. Le verbe atteindre est souvent catégorisé comme un verbe d'achèvement. Pourtant, l'imparfait, dans l'énoncé alors qu'il atteignait le sommet, une avalanche se produisit, conduit à adopter un point de vue intérieur, si bien que le verbe atteindre se trouve être associé à une époque, perdant ainsi son "trait" d'achèvement.

Une autre caractéristique remarquable du modèle est la pauvreté des cartes temporelles qu'il postule. L'inventaire que nous proposons se limite à six grilles. Il n'existe rien qui ressemble à des grilles comme $\circ==\circ--\circ$ ou $--8--\circ--$. Ces relations plus élaborées sont produites, dans notre modèle, par la procédure récursive de localisation temporelle, qui utilise pour cela plusieurs cartes successives. Cette parcimonie n'est pas habituelle. La plupart des modèles sont contraints de s'arrêter à des schémas plus complexes lorsque, pour prédire les aspects systématiques de la temporalité, ils tentent de réduire la complexité des scènes évoquées par le langage. Par exemple, une distinction de principe entre état et processus semble permettre de distinguer les états stables et les états changeants, susceptibles de conduire à un événement servant d'aboutissement. Ainsi, les trois énoncés *il est assis*, *il court* et *il court à la banque* peuvent apparaître comme décrivant, les uns un état, les autres un processus. Le caractère indécis de l'énoncé *il court* doit nous alerter sur le fait que cette distinction entre état et processus dépend du point de vue adopté. La notion de processus suppose généralement un aspect cinématique, par opposition à la notion d'état qui est considérée comme possédant un caractère statique. Notre modèle n'utilise pas cette distinction statique/cinématique, qui n'est présente qu'au niveau des capacités perceptives. Elle n'entre pas dans les explications que nous donnons des phénomènes systématiques liés à l'expression langagière de la temporalité. En d'autres termes, nous considérons que les processus ne sont que des états. Dans les deux cas, le locuteur s'intéresse à une stabilité de certains paramètres de la situation décrite. Le fait que cette stabilité concerne une position ou une vitesse ne change pas l'analyse que nous faisons de la description langagière des situations concernées. Rappelons, de plus, que l'expression d'un état est due à l'adoption d'un point de vue intérieur. Dans l'énoncé *il a couru à la banque*, le point de vue global sur la situation la fait apparaître comme un événement. Il n'est plus question de suggérer que certains paramètres de la situation sont stables.

L'aspect le plus parcimonieux de notre modèle concerne le renoncement à toute structure temporelle globale, dense et totalement ordonnée. Grâce à la séparation entre grilles temporelles et temps qualitatif, nous pouvons renoncer à la densité et à la linéarité en tant que propriétés globales de la structure temporelle. La densité et la linéarité deviennent des propriétés "procédurales". Elles ne supposent donc pas l'existence d'une infinité d'éléments de mémoire physique, défaut qui disqualifie, d'un point de vue cognitif, la plupart des modèles mathématiques de la temporalité. Ainsi, les structures qui hébergent les bribes de notre mémoire épisodique et les registres qui nous permettent de raisonner sur le temps peuvent présenter une granularité même grossière sans que cela limite nos capacités à imaginer des durées toujours plus petites. C'est ainsi que notre modèle échappe au dilemme de la granularité.

Conclusion

La modélisation que nous venons de proposer demande à être complétée sur le plan linguistique. Il s'agit notamment de réaliser l'inventaire des morphèmes de la langue qui convoquent des instructions pour la mise en place des grilles temporelles. Il s'agit également de vérifier qu'un système à six grilles suffit à reproduire la totalité des effets temporels que nous pouvons exprimer par le langage. Il s'agit enfin de vérifier que l'ensemble des phénomènes liés à l'aspect et à la répétition sont correctement prédits par le modèle. Notre travail est donc susceptible de susciter des recherches en linguistique visant à caractériser de manière parcimonieuse la temporalité telle qu'elle est exprimée par les différentes langues.

Notre projet s'inscrivant dans le cadre de la modélisation cognitive, nous nous sommes efforcée d'étendre notre modèle en essayant d'évaluer de quelle manière notre description de la temporalité pouvait être extrapolée à d'autres aspects de la sémantique. D'emblée, nous avons été frappée, comme d'autres, par l'analogie entre le temps et l'espace. Ainsi, la procédure récursive de localisation s'applique, quasiment sans changement, au repérage spatial. On retrouve les phénomènes de carte, de grain, de récursivité. On retrouve les phénomènes de répétition, provoqués par la co-extension forcée de deux entités de taille différente, comme dans la phrase *la table est couverte de mouches*. Comme dans le cas du temps, certains mots comme *derrière* ou *à droite* de convoquent une grille spatiale.

Confortée par l'extension évidente de notre modèle au domaine spatial, nous nous sommes demandé si le système des cartes et de la procédure de repérage pouvait s'appliquer à l'ensemble des dimensions sémantiques. Or, nous nous sommes heurtée à la richesse des significations associées aux mots de la langue. Un verbe comme *manger*, lorsqu'on le réduit à la dimension temporelle, peut être ramené à un acte qui occupe une certaine durée dans le temps qualitatif. Sur quelles autres dimensions l'acte de prise d'alimentation doit-il être projeté pour que l'on puisse appliquer le système des grilles ? L'acte se décline sur un axe de plaisir/déplaisir, sur un axe d'appétit/rassasiement, sur un axe carnivore/végétarien, sur un axe cannibale/interdit, sur un axe sucré/salé, sur un axe cuisine-au-beurre/cuisine-à-l'huile, sur un axe peu/beaucoup, sur un axe partie/tout, et ainsi de suite à l'infini. Notre modèle de la temporalité, qui repose entre autres sur la possibilité d'imposer une relation d'ordre entre deux situations quelconques, semble incapable de faire face à cette profusion de dimensions.

Pourtant, nous restons convaincue que quelque chose, dans notre système de grilles, avait une portée générale. L'une des raisons de cette confiance est la systématisme de l'opération de négation. Sur la dimension temporelle, la négation est obtenue par une exclusion de nature topologique. Le sentiment qu'il en est de même quel que soit le domaine sémantique concerné nous pousse à mieux comprendre en quoi consistent ces dimensions sémantiques sur lesquelles les concepts exprimés par la langue trouvent toutes leurs nuances. Dans la partie suivante de ce texte, nous allons donc nous intéresser à une analyse critique des travaux visant à caractériser les concepts.

