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 européennes[1]).

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 ordonnés[2]. 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-même[3]. 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'instants, 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 dite 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 énoncés[4]. 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'énoncé[5]. Il sert à établir une relation d'ordonnancement 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'ordonnancement 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 préciserons 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 qu'elle 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	E_S,R	S_E_R
(*past perfect*)	(*present perfect*)	(*future perfect*)
R,E_S	S,R,E	S_R,E
(*past*)	(*present*)	(*future*)

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`
(*past perfect progressive*)	(*present perfect progressive*)	(*future perfect progressive*)
`RR,EE_S`	`S,R∈EE`	`S_RR,EE`
(*past progressive*)	(*present progressive*)	(*future progressive*)

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 shémas temporels

Le modèle présenté dans la section précédente présente la forme verbale comme un moyen de localiser les situations exprimées par les verbes les unes 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'<u>activité</u> et les verbes d'<u>accomplissement</u> (□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 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 $\boldsymbol{M} = (\mathtt{M}, <)$, où $\mathtt{M}$ est l'ensemble des moments du temps, et $<$ est une relation binaire qui représente l'évolution du temps[6]. On définit ensuite une famille de valuations $\nu_{\mathtt{m}}$ qui déterminent la valeur de vérité des propositions à chaque moment $\mathtt{m}$ appartenant à l'ensemble $\mathtt{M}$. La valuation $\nu_{\mathtt{m}}$ associe à toute proposition atomique φ une valeur binaire : dire que $\nu_{\mathtt{m}}(\varphi) = 1$ signifie que la proposition φ est vraie au moment $\mathtt{m}$. 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).

$\nu_m(\neg\varphi) = \textbf{non}\ \nu_m(\varphi)$
$\nu_m(\varphi \wedge \psi) = \nu_m(\varphi)\ \textbf{et}\ \nu_m(\psi)$
$\nu_m(\varphi \vee \psi) = \nu_m(\varphi)\ \textbf{ou}\ \nu_m(\psi)$
$\nu_m(\varphi \supset \psi) = \textbf{si}\ \nu_m(\varphi)\ \textbf{alors}\ \nu_m(\psi)$

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.

$\nu_m(P\varphi) = 1$ si et seulement s'il existe un moment m', tel que $m' < m$ et $\nu_{m'}(\varphi) = 1$
$\nu_m(F\varphi) = 1$ si et seulement s'il existe un moment m', tel que $m < m'$ et $\nu_{m'}(\varphi) = 1$

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.

$\nu_m(H\varphi) = 1$ si et seulement si pour tout moment m', si $m' < m$ alors $\nu_{m'}(\varphi) = 1$
$\nu_m(G\varphi) = 1$ si et seulement si pour tout moment m', si $m < m'$ alors $\nu_{m'}(\varphi) = 1$

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.

$H\varphi \equiv \neg P \neg \varphi$
$G\varphi \equiv \neg F \neg \varphi$

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.

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

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

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

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.

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

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.

$\varphi \supset \mathrm{HF}\varphi$
$\varphi \supset \mathrm{GP}\varphi$
$\mathrm{H}(\varphi \supset \psi) \supset (\mathrm{H}\varphi \supset \mathrm{H}\psi)$
$\mathrm{G}(\varphi \supset \psi) \supset (\mathrm{G}\varphi \supset \mathrm{G}\psi)$

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.

$\varphi \vdash \mathrm{H}\varphi$
$\varphi \vdash \mathrm{G}\varphi$

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.

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

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

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

$\mathrm{P}\varphi \equiv \mathrm{S}\varphi(\varphi \vee \neg\varphi)$
$\mathrm{F}\varphi \equiv \mathrm{U}\varphi(\varphi \vee \neg\varphi)$

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 $\mathtt{PHFGPHF}\varphi$ 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 $\mathtt{FP}\alpha$ ou de $\mathtt{FH}\alpha$ 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 $\mathtt{PF}\varphi$ et $\mathtt{PG}\varphi$ 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 $\mathtt{PP}\varphi$, ou $\mathtt{PH}\varphi$ apportent peu par rapport à celles de $\mathtt{P}\varphi$ et $\mathtt{H}\varphi$ 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 langage[7].

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 PPφ, dans (2) que Pφ, 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 périodes[8].

Points

Considérons la structure $\boldsymbol{P}(\mathtt{P},<)$, où $\mathtt{P}$ 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'ordonnancement 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 $\boldsymbol{P}(\mathtt{P},<)$ une structure de points. Pour deux points quelconques p et q appartenant à l'ensemble P, il existe une séquence finie de points $r_1,\ldots,r_k$ 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 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.

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

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.

$$\forall p\ \exists q\ q < p$$
$$\forall p\ \exists q\ p < q$$

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.

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

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 <u>continuité</u>.

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

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 structures[9]. 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 <u>symétrie</u>.

Soit ***P***(P,<) une structure de points. Pour tout point p appartenant à l'ensemble 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'<u>isotropie</u>.

Soit ***P***(P,<) une structure de points. Pour tout point p appartenant à l'ensemble 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'<u>homogénéité</u>.

Soit ***P***(P,<) une structure de points. Pour deux points quelconques p et q appartenant à l'ensemble P, il existe un automorphisme de ***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 <u>réflexion</u>.

[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 $\boldsymbol{P}(\mathrm{P},<)$ une structure de points. Pour deux points quelconques p et q appartenant à l'ensemble P, tels que $p < q$, il existe un isomorphisme entre $\boldsymbol{P}$ 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 $\boldsymbol{P}(\mathrm{P},\subseteq,<)$, où 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.

$$\forall p\ \forall q\ p\ \mathrm{O}\ q \equiv_{def} \exists r\ r \subseteq p \wedge r \subseteq q$$

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.

$$\forall p\ \forall q\ p\ \mathrm{O}\ q \supset \exists r\ r \subseteq p \wedge r \subseteq q \wedge \forall s\ (s \subseteq p \wedge s \subseteq q) \supset s \subseteq r$$

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.

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

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.

$$\forall p\ \forall q\ (\forall r\ r \subseteq p \supset r\ \mathrm{O}\ q) \supset p \subseteq q$$

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.

$$p\ \mathrm{U}\ q \equiv_{def} \exists r\ p \subseteq r \wedge q \subseteq r$$

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.

$$\forall p\ \forall q\ p\ \mathrm{U}\ q \supset \exists r\ p \subseteq r \wedge q \subseteq r \wedge \forall s\ (p \subseteq s \wedge q \subseteq s) \supset r \subseteq s$$

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.

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

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.

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

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.

$$\forall p\ \forall q\ p\ \mathrm{U}\ q$$

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 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.

$\forall p\ \forall q\ p < q \vee q < p \vee p\ \mathrm{O}\ q$

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.

$\forall p\ \forall q\ p < q \supset \neg\ p\ \mathrm{O}\ q$

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 voisinage[10]. 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.

$$\forall p\ \forall q\ p < q \supset \forall r\ r \subseteq p \supset r < q$$
$$\forall p\ \forall q\ p < q \supset \forall r\ r \subseteq q \supset p < r$$

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

Soit $\boldsymbol{P}(P,\subseteq,<)$ une structure de périodes. Pour toute période p appartenant à l'ensemble P, la restriction de P à l'ensemble des sous-périodes de p est isomorphe à 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 $\boldsymbol{P}(P,<)$ est définie par la donnée d'un ensemble non vide P muni d'une relation d'ordre strict partiel <, appelée la relation de précédence.

Une structure de périodes $\boldsymbol{P}(\mathtt{P},\subseteq,<)$ est définie par la donnée d'un ensemble non vide $\mathtt{P}$ 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 $\boldsymbol{P}(\mathtt{P},<)$ une structure de points. Un sous-ensemble $\mathtt{c}$ de l'ensemble $\mathtt{P}$ est convexe, si et seulement si pour deux points quelconques $\mathtt{p}$ et $\mathtt{q}$ appartenant à $\mathtt{c}$, et pour tout point $\mathtt{r}$ appartenant à $\mathtt{P}$, si $\mathtt{p} < \mathtt{r}$ et $\mathtt{r} < \mathtt{q}$, alors $\mathtt{r}$ appartient à $\mathtt{c}$.

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

On peut vérifier que $\boldsymbol{CP}$ 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 $<_{\mathtt{c}}$ s'héritent de celles de la relation $<$. La propriété de monotonie découle naturellement du fait que la relation $\subseteq_{\mathtt{c}}$ correspond à l'inclusion ensembliste. De plus, on remarque que $\boldsymbol{CP}$ 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 $\boldsymbol{P}(\mathtt{P},<)$ une structure de points. Une structure d'intervalles de points $\boldsymbol{IP}(\mathtt{I},\subseteq_{\mathtt{i}},<_{\mathtt{i}})$ introduite par $\boldsymbol{P}$ est définie par la donnée de $\mathtt{I}$, un ensemble de sous-ensembles non vides de l'ensemble $\mathtt{P}$, clos par la formation d'intersections ensemblistes non vides, de la relation d'inclusion ensembliste $\subseteq_{\mathtt{i}}$, et d'une relation de précédence $<_{\mathtt{i}}$. Cette relation est telle que $\mathtt{i} <_{\mathtt{i}} \mathtt{j}$ pour deux intervalles quelconques $\mathtt{i}$ et $\mathtt{j}$ appartenant à l'ensemble $\mathtt{I}$, si et seulement si pour deux points quelconques $\mathtt{p}$ et $\mathtt{q}$, appartenant respectivement à $\mathtt{i}$ et à $\mathtt{j}$, $\mathtt{p} < \mathtt{q}$.

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

On vérifie facilement que $\boldsymbol{AP}$ 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 $\boldsymbol{AP}(A,<_a)$ une structure d'atomes de périodes introduite par une structure de périodes $\boldsymbol{P}(P,\subseteq,<)$ dotée des propriétés d'atomicité et de liberté renforcée. La structure d'intervalles d'atomes $\boldsymbol{IAP}(I,\subseteq_i,<_i)$ introduite par $\boldsymbol{AP}$ est définie par la donnée de I, l'ensemble de toutes les projections $i = \mathrm{atomes}(p)$, où $\mathrm{atomes}(p)$ est l'ensemble de tous les atomes inclus dans 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 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 I, ainsi défini, est clos pour la formation d'intersections ensemblistes. Pour deux périodes quelconques p et q appartenant à l'ensemble P, si l'intersection ensembliste des deux intervalles $i = \mathrm{atomes}(p)$ et $j = \mathrm{atomes}(q)$ 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 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 P, les projections $\mathrm{atomes}(p)$ et $\mathrm{atomes}(q)$ soient deux intervalles différents appartenant à l'ensemble 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 $\neg\ \mathrm{atomes}(p) = \mathrm{atomes}(q)$. 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 $\boldsymbol{P}$, ce qui permet de les faire correspondre aux éléments appartenant aux intervalles de $\boldsymbol{IAP}$.

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 $atomes(p) \subseteq_i atomes(q)$. Pour démontrer la clause réciproque, c'est-à-dire, pour deux périodes quelconques p et q, si $atomes(p) \subseteq_i atomes(q)$ 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 $atomes(p) <_i atomes(q)$. La démonstration de la clause réciproque, à savoir, le fait que pour deux périodes quelconques p et q, si $atomes(p) <_i atomes(q)$, 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 $\boldsymbol{P}(P,\subseteq,<)$ une structure de périodes. Un sous-ensemble f de l'ensemble P est un <u>filtre</u>, 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 $\boldsymbol{P}(P,\subseteq,<)$ une structure de périodes. La <u>structure de filtres de périodes</u> $\boldsymbol{FP}(F,<_f)$ introduite par $\boldsymbol{P}$ est définie par la donnée de F, l'ensemble des filtres non vides de l'ensemble P, et d'une relation de précédence $<_f$ telle que $f <_f g$ pour deux filtres quelconques f et g appartenant à 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 $\boldsymbol{FP}$ 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 ***FP***$(F,<_f)$ une structure de filtres de périodes introduite par une structure de périodes ***P***$(P,\subseteq,<)$. La structure d'intervalles de filtres ***IFP***$(I,\subseteq_i,<_i)$ introduite par ***FP*** est définie par la donnée de I, l'ensemble de toutes les projections $i = \mathrm{filtres}(p)$, où $\mathrm{filtres}(p)$ 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 ***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 $i = \mathrm{filtres}(p)$ et $j = \mathrm{filtres}(q)$ 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 $\mathrm{filtres}(p \cap q)$ 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, $i = \mathrm{filtres}(p)$ et $j = \mathrm{filtres}(q)$, 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 $\mathrm{filtres}(p) \subseteq_i \mathrm{filtres}(q)$. L'existence des filtres f_p et f_q suffit pour montrer que, pour deux périodes quelconques p et q, si $\mathrm{filtres}(p) \subseteq_i \mathrm{filtres}(q)$, 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 $<_i$, $\mathrm{filtres}(p) <_i \mathrm{filtres}(q)$. Inversement, pour deux périodes quelconques p et q, si $\mathrm{filtres}(p) <_i \mathrm{filtres}(q)$, 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 ***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 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 $\boldsymbol{P}(P, \subseteq, <)$ une structure de périodes. Un sous-ensemble u de l'ensemble P est un <u>ultrafiltre</u>, 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.$\neg\ p\ O\ q$.

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 $\neg\ s\ O\ q$ et $\neg\ t\ O\ r$. 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 $\boldsymbol{P}(P, \subseteq, <)$ une structure de périodes. La <u>structure d'ultrafiltres de périodes</u> $\boldsymbol{UP}(U, <_u)$ introduite par $\boldsymbol{P}$ est définie par la donnée de U, l'ensemble des ultrafiltres de l'ensemble P, et d'une relation de précédence $<_u$ telle que $u <_u v$ pour deux ultrafiltres quelconques u et v, si et seulement s'il existe deux périodes p et q appartenant respectivement à u et à v, telles que $p < q$.

Avant de vérifier que $\boldsymbol{UP}$ 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 $\boldsymbol{UP}$ 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 ***UP***(U,$<_u$) une structure d'ultrafiltres de périodes introduite par une structure de périodes ***P***(P,$\subseteq$,<) dotée de la propriété de liberté renforcée. La <u>structure d'intervalles d'ultrafiltres</u> ***IUP***(I,$\subseteq_i$,$<_i$) introduite par ***UP*** est définie par la donnée de I, l'ensemble de toutes les projections i = ultrafiltres(p), où 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 ***IUP*** est une structure d'intervalles de points isomorphe à la structure de périodes initiale, s'effectue par les même 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 ultrafiltres(p) $\subseteq_i$ 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 ultrafiltres(p) $\subseteq_i$ 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 O 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 ultrafiltres(p), et qui n'appartient pas à l'intervalle 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 ultrafiltres(p) $<_i$ ultrafiltres(q), alors p < q.

Pour ce faire, supposons qu'il existe deux périodes p et q, telles que $\neg$ p < q et ultrafiltres(p) $<_i$ 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 ultrafiltres(p) et 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'instants 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'université[11]. 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 correspond 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'instants et d'un instant isolé. Si l'on renonce à ce choix, il faut supposer l'existence de deux instants 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 instants 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'instants.

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 (DA□IDSON 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 déduit[12].

(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′) $\exists x\ \exists y$ bordeaux(x) $\wedge$ apprécier(Jean-Louis,x)
$\wedge$ appelation_exacte(y,x) $\wedge$ oublier(Laleh,y)
(2′) $\exists x\ \exists y$ bordeaux(x) $\wedge$ boire(Jean-Louis,x)
$\wedge$ appelation_exacte(y,x) $\wedge$ oublier(Laleh,y)
(3′) apprécier(Jean-Louis)
(4′) boire(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 (DA□IDSON 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′) $\exists e\ \exists x\ \exists u\ \mathtt{boire(Jean\text{-}Louis,x,e)} \land \mathtt{bordeaux(x)}$
$\land\ \mathtt{terrasse\_du\_cafe(u)} \land \mathtt{endroit(e,u)}$

(6′) $\exists e\ \exists x\ \exists v\ \mathtt{boire(Jean\text{-}Louis,x,e)} \land \mathtt{bordeaux(x)}$
$\land\ \mathtt{coupe(v)} \land \mathtt{moyen(e,v)}$

(7′) $\exists e\ \exists x\ \exists w\ \mathtt{boire(Jean\text{-}Louis,x,e)} \land \mathtt{bordeaux(x)}$
$\land\ \mathtt{tranquille(w)} \land \mathtt{manière(e,w)}$

(8′) $\exists e\ \exists x\ \mathtt{boire(Jean\text{-}Louis,x,e)}$

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″) $\exists e\ \exists x\ \exists y\ \mathtt{bordeaux(x)} \land \mathtt{boire(Jean\text{-}Louis,e)} \land \mathtt{objet(e,x)}$
$\land\ \mathtt{appelation\_exacte(y,x)} \land \mathtt{oublier\ (Laleh,y)}$

(4″) $\exists e\ \mathtt{boire(Jean\text{-}Louis,e)}$

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 `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 `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 `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. (DA□IDSON 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 (DA□IDSON 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 irréelle.

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'instants. 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'instants, 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'instants contigus (DESCLÈS 1989 [27]).

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

Un sous-ensemble `I` de `T` est convexe, si et seulement si pour deux instants 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 <u>minorant</u> de `I` (respectivement un <u>majorant</u> 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 <u>borne inférieure</u> de `I` (respectivement une <u>borne supérieure</u> 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 <u>intervalle ouvert</u>, 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 <u>intervalle fermé à gauche</u> (respectivement <u>intervalle fermé à droite</u>), 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 <u>intervalle fermé</u>, 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]).

```
————————————————————————[—————————————————————[——————————————————————————————
                         — — — — I0 — — — — — t0
```

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]).

```
———————————————————————————————————————————————[——————————————————————————————
— — — — — — — — — — I1 — — — — — — — — — — —   t0

———————————————]———————————————————————————————[——————————————————————————————
                — — — — — — — I2 — — — — — — —  t0
```

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.

```
—————————[——————————]—————————]———————————————[——————————————————————————————
                               — — — I3 — — —t0

—————————[——————————]—————————————————————————[——————————————————————————————
                     — — — — — I4 — — — — —   t0
```

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).

```
———————————————————————————————[——————————[——————————————————————————
                                — — I5 —  t0

—————————————[———————————[—————]——————————[——————————————————————————
              — — I6 — — —                 t0

—————————————[————————————————]———————————[——————————————————————————
              — — I7 — — — —               t0
```

Le choix de ce système de représentation repose sur le fait que les intervalles ouverts peuvent donner lieu à la définition d'un espace topologique[14]. 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 topologie[15]. 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 <u>espace topologique</u> (T,O), tel que tout ouvert de la topologie 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,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'<u>intérieur</u> I° de I est un intervalle ouvert que I inclut, et qui inclut tout autre intervalle ouvert que I inclut.
> La <u>fermeture</u> $\overline{I}$ 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,O) est un espace topologique si O est un sous-ensemble de l'ensemble *P*(T), des parties de T, possédant les propriétés suivantes : les ensembles T et ∅ appartiennent à O ; toute intersection finie d'éléments de O appartient à O ; toute union d'éléments de O appartient à O. L'ensemble O est appelé une topologie de l'ensemble sous-jacent T. Les éléments de O sont appelés les ouverts de cette topologie.

[15] Soit (T,O) un espace topologique. Un sous-ensemble B de l'ensemble *P*(T), des parties de T est une base pour la topologie O, si et seulement si tout ouvert non vide appartenant à 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 o appartenant à O tel que t appartient à o, et que o 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 $\overline{I}$ 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'instants. 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 λ`(t)` l'ensemble de tous les éléments `x` appartenant à `T` tels que `t`λ`x`. La relation λ est, par définition, une <u>locologie</u> 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 λ`(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'instants. Soit `I` un sous-ensemble de `T`.
> Pour tout instant `t` appartenant à `T`, `t` appartient à l'ensemble `h(I)`, le <u>cœur</u> de `I`, si et seulement si λ`(t)` est inclus dans `I`.
> Pour tout instant `t` appartenant à `T`, `t` appartient à l'ensemble `s(I)`, l'<u>ombre</u> de `I`, si et seulement si l'intersection de λ`(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.

————————————————]————————————[————————————————————

b – – – – – – – – – b'

————————————————[–]————————————[–]————————————————

b_1 b_2 – – – – – – b_1' b_2'

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.

————————————————[————————————]————————————————————

b – – – – – – – – – b'

————————————————[–]————————————[–]————————————————

b_1 b_2 – – – – – – b_1' b_2'

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 $[b2,b1']$ 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'instants. 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 ou 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.