

CALCULS ET RAISONNEMENTS ASPECTO-TEMPORELS

Jean-Pierre DESCLÉS

Nous souhaitons entreprendre de modéliser des raisonnements inférentiels exprimés en langue naturelle comme:

- (1) *Ce matin, le chasseur a tué le daim donc*
 - 1/ *Le daim a été tué ce matin*
 - 2/ *Maintenant, le daim est mort*
 - 3/ *Maintenant, le daim n'est plus vivant*
 - 4/ *Hier, le daim était encore vivant*

- (2) *Pierre est sorti du garage donc*
 - 1/ *Pierre était dans le garage*
 - 2/ *Pierre n'est plus dans le garage*
 - 3/ *Pierre est passé de l'intérieur du garage à l'extérieur*

- (3) *Pierre est déjà chez lui donc*
 - 1/ *Pierre n'était pas chez lui il y a quelques instants*
 - 2/ *On pouvait s'attendre à ce que Pierre ne soit pas chez lui*

- (4) *Si Pierre avait été là, Marie ne serait pas partie donc*
 - 1/ *Pierre n'était pas là*
 - 2/ *Marie est partie*

- (5) *Un pas de plus et je tire donc*
 - 1/ *Tu as l'intention de faire un pas*
 - 2/ *Je ne tire pas mais j'ai la capacité de tirer*

- (6) *Sans l'intervention du mécanicien, cinq minutes plus tard le train déraillait*
donc Le train n'a pas déraillé
- (7) *Malgré l'intervention du mécanicien, cinq minutes plus tard, le train déraillait...*
donc Le train a déraillé

1. Cadre théorique

Pour résoudre ces problèmes, il faut être capable de construire des *représentations métalinguistiques* associées aux énoncés de façon à pouvoir *effectuer automatiquement* de telles inférences. Les représentations que nous choisissons sont *donc applicatives*, c'est-à-dire qu'elles mettent en oeuvre des opérateurs appliqués à des opérands de différents types (Desclés, 1990a). Ces représentations utilisent le formalisme applicatif du λ -calcul avec types de A. Church et de la logique combinatoire avec types de H.B. Curry (1958) (voir annexe). Comme les raisonnements précédents font appel à des notions temporelles et aspectuelles, nous allons nous servir d'intervalles de validation de relations prédicatives et énonciatives (c'est-à-dire intervalles d'instant où ces relations sont considérées comme réalisées ou vraies). En effet, les analyses des aspects et des temps, que nous avons proposées dans différentes publications font appel à des *intervalles topologiques* (Desclés 1980, 1990b, 1991, 1993; Guentcheva 1990; Maire-Reppert, Oh, Berri 1993; Desclés & Guentcheva 1990, 1995...). Nous adjoignons donc au formalisme applicatif, des opérateurs de nature topologique qui s'interprètent sur des intervalles topologiques.

A un intervalle d'instant I , nous lui associons deux bornes, une borne gauche $\gamma(I)$ et une borne droite $\delta(I)$. La borne d'un intervalle topologique est «ouverte» lorsqu'elle n'appartient pas à l'intervalle; elle est «fermée» (lorsqu'elle appartient à l'intervalle). Un intervalle est *fermé* lorsque les bornes gauche et droite sont fermées; il est ouvert lorsque les bornes gauche et droite

sont ouvertes; il est *semi-ouvert* lorsque la borne gauche est fermée et la borne droite ouverte.

Par ailleurs, la connaissance des significations lexicales (des verbes en particulier) nécessite des formalismes de représentations des connaissances comme ceux des graphes conceptuels de Sowa, des réseaux sémantiques ou des «frames» de Minsky. Nous utiliserons, pour notre part, des représentations sous forme de *schèmes sémantico-cognitifs* que nous avons déjà présentés dans plusieurs publications (Desclés 1990a, 1994a; Abraham 1995), chaque schème représente la signification d'un prédicat sous forme d'une λ -expression typée.

Nous voulons montrer comment les formalismes applicatifs de la logique combinatoire et du λ -calcul sont susceptibles de capturer des raisonnements qui seront exprimés sous forme de calculs formels et de déductions. L'entreprise de formalisation que nous entreprenons enchaîne un certain nombre de phases:

- 1° Observation et analyse des configurations linguistiques (données);
- 2° Conceptualisation par mise en place du réseau de concepts (par exemple pour les aspects: processus, événement, état résultant, accompli, inaccompli...);
- 3° Mise en place de schèmes (par exemple pour la représentation des significations des prédicats par des schèmes sémantico-cognitifs);
- 4° Mathématisation des concepts, des opérations et des schèmes intuitifs, par exemple en ayant recours à la topologie des intervalles et à une théorie algébrique des opérateurs;
- 5° Modélisation et construction de langages formels adéquats susceptibles de prendre en charge les conceptualisations mathématisées;
- 6° Interprétation des langages formels construits dans des modèles (au sens de Tarski).

Plutôt que de partir d'un langage formel *a priori* (comme par exemple la logique du temps de Prior; voir par exemple Gardies (1975)), nous préférons construire un métalangage formel inter-

prété à partir d'un modèle. Cette entreprise suppose donc que l'on ait réussi à construire auparavant un modèle à partir d'une schématisation des concepts intuitifs, ce qui nous impose une conceptualisation des notions intuitives (par exemple: état, événement, processus) que l'on peut chercher ensuite à mathématiser, quand c'est possible. Alors que beaucoup de logiciens (comme R. Montague avec sa Grammaire Universelle) partent de langages formels construits (logique du temps, logique des modalités, logique des indexicaux) pour en rechercher des modèles qui permettraient de donner des approximations plus ou moins bonnes aux analyses sémantiques des langues naturelles, nous préférons inverser la démarche: construire dans un premier temps des modèles, si possible mathématisés (par exemple un modèle quasi-topologique des états, des événements et des processus ou un modèle des opérations énonciatives), qui captent assez bien les analyses sémantiques des langues naturelles; ensuite exprimer les concepts constitutifs du modèle sous forme d'opérateurs de différents types intégrés dans un langage formel (par exemple le langage applicatif typé de la logique combinatoire), ce langage formel jouant le rôle d'un métalangage par rapport aux langues naturelles et trouvant ainsi une interprétation «directe» dans un des modèles dont on est parti.

Le cadre théorique dans lequel nous développons nos analyses linguistiques est celui de la Grammaire Applicative et Cognitive (Desclés 1990a), qui se présente comme une extension du modèle de la Grammaire Applicative Universelle de S.K. Shaumyan (1987), par intégration d'une part, des éléments et des niveaux de représentations cognitifs et d'autre part, des conceptualisations qui relèvent d'une théorie de l'énonciation, inspirée par les travaux de E. Benveniste et de A. Culioli (voir entre autres: Desclés 1980). Dans la Grammaire Applicative et Cognitive, nous avons trois niveaux de représentations articulés entre eux par des processus explicites de changement de représentation:

- (i) les représentations phénotypiques, dont le but est une analyse des configurations morpho-syntaxiques superficielles de la diversité des langues;

- (ii) les représentations du génotype, dont le but est de faire émerger les *invariants nécessaires* et les *schèmes grammaticaux possibles* du langage;
- (iii) les représentations sémantico-cognitives, dont le but est d'une part, analyser et représenter les significations des unités lexicales et d'autre part, montrer explicitement comment le langage, en tant qu'activité cognitive, entre en interaction avec les autres activités cognitives comme la perception et l'action, plus ou moins intentionnelle, sur l'environnement.

Le passage d'un niveau à l'autre s'effectue par un processus qui est assez analogue à un processus (généralisé) de compilation des langages de programmation de haut niveau; ce processus de compilation change les représentations d'un certain niveau par des «réunitarisations» synthétiques d'éléments ou par des «décompositions» d'une unité d'un certain niveau en un agencement analytique d'unités d'un autre niveau. Ce dispositif est guidé par un mécanisme «intelligent», que nous appelons exploration contextuelle (Desclés et al. 1991); il est destiné à lever les indéterminations qui apparaissent au cours du processus d'analyse, en repérant, à différentes étapes du processus, des indices contextuels pertinents qui ainsi orientent vers une décision touchant à l'indétermination sémantique d'une unité analysée. Le but de ce dispositif complexe (compilation guidée par une exploration contextuelle) vise à établir des relations explicites entre des représentations abstraites non directement observables et des configurations linguistiques qui, elles, sont directement observables.

2. Conceptualisations de l'aspect et du temps

Rappelons quelques éléments théoriques du modèle aspecto-temporel que nous avons déjà présenté dans plusieurs publications. Une *relation prédicative* Λ ou «contenu propositionnel» (c'est-à-dire une «lexis» au sens de A. Culioli) est construite par des opérations prédicatives s'expriment très bien dans le forma-

lisme applicatif (Shaumyan 1987; Desclés 1990a), d'où la représentation sous forme d'une expression applicative (avec la préfixation de l'opérateur prédicatif), par exemple:

(*) voir daim chasseur

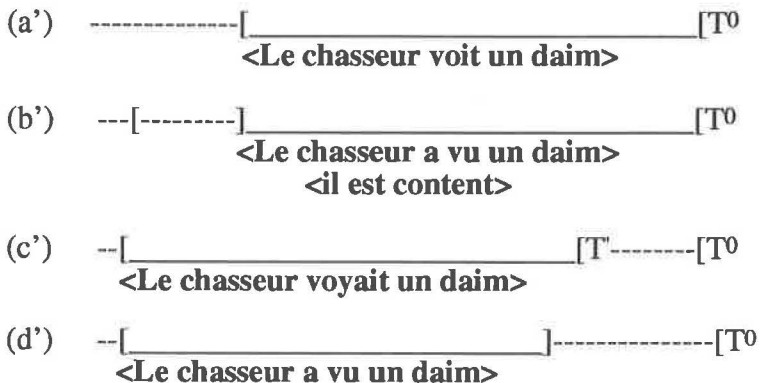
Une telle relation prédicative est «en soi» atemporelle. Avant de l'insérer dans son référentiel, l'énonciateur l'appréhende de différente façon, selon qu'il la représente comme un *processus en cours*, comme un *événement global* ou comme un *état résultant*. Il constitue ainsi une *relation prédicative aspectualisée* (Desclés 1991) qui est réalisée sur un *intervalle topologique d'instant*s où elle est considérée comme vraie. L'énonciateur construit une «relation prédicative aspectualisée» qui se réalise sur un intervalle I; on désigne cette dernière par ASP_I (voir daim chasseur). Selon que l'aspect est un état, un événement ou un processus, l'intervalle I sera ouvert, fermé ou semi-ouvert; par abus de langage, nous dirons que l'état, l'événement ou le processus sont vrais (ou réalisés) sur cet intervalle I topologique. Après avoir aspectualisé la relation prédicative, l'énonciateur doit insérer cette dernière dans son propre référentiel temporel, distinct du référentiel externe (le temps des horloges, le temps cosmique, le temps du calendrier...); il la considère comme concomitante ou non avec son propre *processus d'énonciation* (qui n'est pas réductible à un instant ponctuel puisque chaque processus énonciatif consomme du temps pour se déployer). Dans ce référentiel linguistique, le symbole T^0 désigne une borne qui est «le premier instant du non réalisé», c'est-à-dire la borne droite du processus énonciatif, qui est toujours, par nature, non accompli.

Nous avons donc plusieurs énonciations du même contenu propositionnel (*), par exemple:

- (a) *Le chasseur voit en ce moment un daim*
Processus inaccompli concomitant à l'acte d'énonciation

- (b) *Enfin, le chasseur a vu, un daim: il est content*
État résultant d'un processus accompli antérieur
- (c) *Pendant que le chasseur voyait un daim...*
Processus inaccompli non concomitant à l'acte d'énonciation
- (d) *Le chasseur a vu (vit) un daim puis, ensuite, il...*
Événement inséré dans une séquence d'événements

Donnons les représentations topologiques (c'est-à-dire les diagrammes de validation de la relation prédicative (*) selon les différentes visées aspectuelles et temporelles). Nous avons respectivement:



D'une façon générale, une relation prédicative aspectualisée $ASP_I(\Lambda)$ sera réalisée sur l'intervalle I. Si elle est aspectualisée comme un *état*, respectivement comme un *événement*, comme un *processus inaccompli*, elle est vraie sur un intervalle ouvert O, sur un intervalle fermé F, sur un intervalle semi-ouvert J (fermé à gauche et ouvert à droite) (Desclés 1990b). Nous avons ainsi les trois représentations des états, des événements et des processus inaccomplis par des diagrammes temporels:



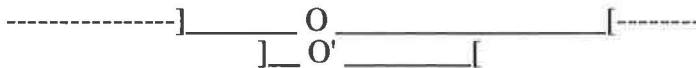
Remarque: La trichotomie état / événement / processus nous paraît essentielle pour l'analyse des aspects dans les langues (voir aussi: J. Lyons 1977, B. Comrie 1979 ou A. Mourelatos 1981). Cette trichotomie est différente de la classification de Z. Vendler. Certains auteurs (entre autres, C. Smith 1991, V. Koceska-Toscewa et A. Mazurkiewicz 1994) considèrent que la dichotomie état / événement (ponctuel) est suffisante. Plusieurs arguments peuvent cependant être objectés contre cette position théorique (voir Desclés et Guentcheva 1995).

Les états, événements et processus sont caractérisés par un certain nombre de propriétés sous forme de règles.

1/ Règle sur les ETATS:

SI un état $ETAT_O(\Lambda)$ relatif à une relation prédicative Λ est vrai sur un intervalle ouvert O , ALORS pour tout sous-intervalle O' de O , l'état relatif à la même relation prédicative Λ reste vraie sur O' :

$$ETAT_O(\Lambda) \ \& \ [O \supset O'] \Rightarrow ETAT_{O'}(\Lambda)$$



Remarque: On trouve l'expression d'une telle règle dans Dowty (1979).

2/ Règle sur les ÉVÉNEMENTS:

SI un événement $EVEN_F(\Lambda)$ relatif à une relation prédicative Λ est vrai, ALORS la relation prédicative Λ est vraie à la borne droite $\delta(F)$:

$$EVEN_F(\Lambda) \Rightarrow (\Lambda)_{\delta(F)}.$$

En général, l'événement est réalisé seulement à la borne droite $\delta(F)$, borne terminale de l'événement qui se réalise sur un intervalle fermé F . Le même événement relatif à la même relation prédicative Λ n'est pas réalisé à la borne de droite de tout sous-intervalle fermé F' de F , mais seulement à $\delta(F)$:



En général, un événement n'est vrai que lorsque le terme final $\delta(F)$ a été atteint. Par exemple, l'énoncé *Jean a écrit une lettre en une heure* exprime une relation prédicative *télique* qui est vraie seulement à la borne droite (borne de fin) d'un intervalle fermé F ; la même relation prédicative n'est pas vraie à la borne droite d'un sous-intervalle fermé F' de F . Cependant, dans certains cas, une relation prédicative Λ aspectualisée comme un événement *atélique* peut être vraie sur un intervalle fermé F et rester vraie sur tout sous-intervalle F' de F ; prenons pour exemple: *Jean a couru dans le parc hier après-midi*.

3/ Règle sur les PROCESSUS:

SI un processus inaccompli $PROC-INAC_J(\Lambda)$ relatif à une relation prédicative Λ est vrai sur un intervalle semi-ouvert J , ALORS pour tout intervalle semi-ouvert J' , de même début que J , le processus prédictif $PROC-INAC_{J'}(\Lambda)$ relatif à la même relation prédicative Λ reste vrai sur J' :

$$PROC-INAC_J(\Lambda) \ \& \ [J \supset J'] \Rightarrow PROC-INAC_{J'}(\Lambda)$$



Remarque: Sur la justification de cette règle, voir Desclés et Guentcheva (1994).

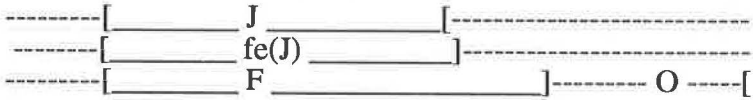
4/ Règle sur les PROCESSUS ACCOMPLIS:

SI un processus inaccompli $PROC-INAC_J(\Lambda)$ relatif à une relation prédicative Λ est vrai sur un intervalle J , ALORS, lorsque ce processus est accompli, il engendre:

(i) un événement $EVEN_F(\Lambda)$ (relatif à la même relation prédicative) qui est vrai sur un fermé F qui contient le plus petit fermé $fe(J)$ contenant J ;

(ii) un état résultant $ETAT-RESUL_O(\Lambda)$ (relatif à la même relation prédicative) qui est vrai sur un ouvert O contigu et postérieur à F .

$$PROC-INAC_J(\Lambda) \Rightarrow EVEN_F(\Lambda) \ \& \ ETAT-RESUL_O(\Lambda) \\ \& \ [F \supset fe(J)] \ \& \ [O \text{ contigu et postérieur à } F]$$



Remarque: Cette règle est destinée à capter la valeur sémantique du “parfait” (voir Desclés, 1980), du moins telle qu’elle a été analysée par E. Benveniste et d’autres linguistes.

3. Analyse aspecto-temporelle

Prenons par exemple, l’énoncé suivant:

(1) *Le chasseur voit (en ce moment) le daim.*

La forme logique sous-jacente de l’énoncé est analysée comme suit:

1°) construction d’une relation prédicative sous-jacente, c’est-à-dire en notation applicative: «voir daim chasseur»;

- 2°) aspectualisation de cette relation prédicative sous forme d'un processus inaccompli *PROC-INAC* saisi dans son déroulement;
- 3°) emboîtement du processus inaccompli relatif à la relation prédicative, appelé *processus prédictif*, dans le *processus d'énonciation*;
- 4°) établissement d'une concomitance entre le processus (inaccompli) d'énonciation et le processus prédictif.

D'une façon générale, une relation prédicative Λ aspectualisée comme un processus inaccompli est vraie sur un intervalle J^1 d'instant, d'où l'opérateur aspectuel *PROC-INAC* $_{J^1}$ et le processus prédictif *PROC-INAC* $_{J^1}(\Lambda)$. Ce processus prédictif est argument du prédicat métalinguistique binaire d'énonciation DIT. Quant au processus énonciatif, il est vrai sur un intervalle J^0 d'instant, d'où l'opérateur *PROC-INAC* $_{J^0}$.

Le symbole S^0 désignera le sujet-énonciateur «JE» ou «EGO», à partir duquel toutes les personnes peuvent être calculées explicitement («JE» est l'origine du système des personnes TU et IL). Nous en déduisons le schème énonciatif (voir Desclés 1980):

$$PROC-INAC_{J^0}(DIT (...)S^0)$$

Exprimons explicitement la forme logique sous-jacente de l'énoncé précédent. Pour simplifier les écritures, introduisons le symbole de prédicat binaire P_2 associé au verbe «voir» et les deux termes T^1 et T^2 aux deux syntagmes nominaux respectifs «le-chasseur» et «le-daim». La formule (2) ci-dessous, sous-jacente à l'énoncé (1), exprime le résultat de l'analyse aspecto-temporelle de (1):

$$(2) \quad \&(PROC-INAC_{J^0}(DIT(PROC-INAC_{J^1}(P_2T^2T^1))S^0) ([\delta(J^1) = \delta(J^0)])$$

Cette formule exprime, dans une notation applicative préfixée, une conjonction, au moyen de l'opérateur '&', de deux expressions constituantes (2a) et (2b):

(2a) $PROC-INAC_{J^0}(DIT(PROC-INAC_{J^1}(P_2T^2T^1)) S^0)$

(2b) $[\delta(J^1) = \delta(J^0)]$

La formule (2a) représente l'emboîtement du processus prédicatif $PROC-INAC_{J^1}(P_2T^2T^1)$ dans le processus énonciatif $PROC-INAC_{J^0}(DIT (...) S^0)$. Le processus prédicatif $PROC-INAC_{J^1}(P_2T^2T^1)$ est ainsi considéré comme réalisé, c'est-à-dire vrai, sur un intervalle J^1 . La formule (2b) exprime une condition temporelle sur les intervalles de validation des deux processus: les bornes droites $\delta(J^1)$ de J^1 et $\delta(J^0)$ de J^0 coïncident. Les deux intervalles J^1 et J^0 , qui sont les zones temporelles de validation des deux processus, sont ainsi reliés entre eux. La glose de la formule (2) peut s'énoncer comme suit:

Le processus d'énonciation « S^0 DIT ...», qui est vrai sur un intervalle J^0 , a pour argument un processus prédicatif « $P_2T^2T^1$ » qui est vrai sur un intervalle J^1 , avec la contrainte temporelle que les deux bornes des deux intervalles J^0 et J^1 coïncident »;

ou encore:

la relation prédicative « $P_2T^2T^1$ » (c'est-à-dire «le chasseur voir un daim») est vue du point de vue aspectuel comme un processus inaccompli qui est argument du processus énonciatif inaccompli « S^0 DIT que ...» et les deux intervalles de validation des deux processus ont même section finissante.

Nous allons maintenant faire apparaître un *opérateur aspectuel* en intégrant entre eux des opérateurs plus élémentaires $PROC_{J^0}$ et $PROC_{J^1}$; cet opérateur aura pour argument la relation prédicative $P_2T^2T^1$. Pour effectuer cette intégration, nous utilisons les combinateurs **B**, **B²** et **C** de la logique combinatoire (voir annexe). Nous présentons le processus opératoire d'intégration comme une «déduction naturelle» à la manière de Gentzen avec l'introduction de définitions par «réunitarisation» (par exemple au pas 9).

Déduction:

- | | | |
|-----|---|-------------------|
| 1. | $PRO-INAC_J^0$ (DIT ($PROC-INAC_J^1$ ($P_2T^2T^1$)) S^0) | hyp. |
| 2. | B^2 $PRO-INAC_J$ DIT ($PROC-INAC_J^1$ ($P_2T^2T^1$)) S^0 | int. B^2 |
| 3. | $C(B^2$ $PRO-INAC_J$ DIT) S^0 ($PROC-INAC_J^1$ ($P_2T^2T^1$)) | int. C |
| 4. | $C(CB^2$ DIT $PRO-INAC_J^0$) S^0 ($PROC-INAC_J^1$ ($P_2T^2T^1$)) | int. C |
| 5. | $BC(CB^2$ DIT) $PRO-INAC_J^0$ S^0 ($PROC-INAC_J^1$ ($P_2T^2T^1$)) | int. B |
| 6. | $B(BC)(CB^2)$ DIT $PRO-INAC_J^0$ S^0 ($PROC-INAC_J^1$ ($P_2T^2T^1$)) | int. B |
| 7. | $C(B(BC)(CB^2)$ DIT) S^0 $PRO-INAC_J^0$ ($PROC-INAC_J^1$ ($P_2T^2T^1$)) | int. C |
| 8. | $B(C(B(BC)(CB^2)))$ DIT S^0 $PRO-INAC_J^0$ ($PROC-INAC_J^1$ ($P_2T^2T^1$)) | int. B |
| 9. | [enonc = _{def} $B(C(B(BC)(CB^2))$ DIT S^0] | def. enonc |
| 10. | enonc $PRO-INAC_J^0$ ($PROC-INAC_J^1$ ($P_2T^2T^1$)) | rem., 8, 9 |
| 11. | B (enonc $PRO-INAC_J^0$) $PROC-INAC_J^1$ ($P_2T^2T^1$) | int. B |
| 12. | (enonc \circ $PRO-INAC_J^0$ \circ $PROC-INAC_J^1$) ($P_2T^2T^1$) | def. \circ , 11 |

Commentaires: Au pas 1, l'expression exprime que le processus prédicatif est emboîté dans le processus énonciatif; le premier est vrai sur un intervalle, le second sur un autre intervalle. Les pas 2 à 8 introduisent des combinateurs qui permettent de regrouper les opérateurs d'énonciation, d'où la définition posée au pas 9 de l'opérateur «enonc» (pour énonciation), et l'expression du pas 10. Dans cette expression, l'opérateur d'énonciation «enonc.» agit sur l'opérateur aspectuel de processus $PRO-INAC_J^0$. En composant entre eux les opérateurs «enonc», $PRO-INAC_J^0$ et $PROC-INAC_J^1$, nous obtenons un opérateur complexe (au pas 11) qui a pour opérande la relation prédictive $P_2T^2T^1$. Le pas 11 exprime que la relation prédictive est argument de cet opérateur aspectuel complexe obtenu en composant les processus énonciatif et prédicatif avec l'opérateur d'énonciation. En utilisant le symbole de composition associé au combinateur B (voir annexe), nous obtenons le pas 12. L'expression du pas 12 est considérée comme une expansion du pas 1. Les expressions du pas 1 et du pas 12 sont considérées comme équivalentes du point de vue aspectuel.

L'expression obtenue représente le résultat de l'action applicative d'un *opérateur aspectuel complexe* sur une relation prédicative, c'est-à-dire

$$(3) (\text{enonc.} \circ \text{PRO-INAC}_J^0 \circ \text{PROC-INAC}_J^1)(P_2 T^2 T^1).$$

Reprenons maintenant l'expression (1). Nous substituons dans (2) l'expression (3) à (2a), puisque les deux expressions sont équivalentes, d'où l'expression (4):

$$(4) \&((\text{enonc} \circ \text{PRO-INAC}_J^0 \circ \text{PROC-INAC}_J^1)(P_2 T^2 T^1)) ((\delta_{J^1} = \delta_{J^0}))$$

Déduction:

1. $\&((\text{enonc} \circ \text{PRO-INAC}_J^0 \circ \text{PROC-INAC}_J^1)(P_2 T^2 T^1)) ((\delta_{J^1} = \delta_{J^0}))$
2. $C\&((\delta_{J^1} = \delta_{J^0})) ((\text{enonc} \circ \text{PRO-INAC}_J^0 \circ \text{PROC-INAC}_J^1)(P_2 T^2 T^1))$
3. $B(C\&((\delta_{J^1} = \delta_{J^0}))) (\text{enonc} \circ \text{PRO-INAC}_J^0 \circ \text{PROC-INAC}_J^1)(P_2 T^2 T^1)$
4. $(C\&((\delta_{J^1} = \delta_{J^0}))) \circ (\text{enonc} \circ \text{PRO-INAC}_J^0 \circ \text{PROC-INAC}_J^1)(P_2 T^2 T^1)$
5. $[PRST-INAC =_{\text{def}} (C\&((\delta_{J^1} = \delta_{J^0}))) \circ (\text{enonc} \circ \text{PROC-INAC}_J^0 \circ \text{PROC-INAC}_J^1)]$
6. $PRST-INAC (P_2 T^2 T^1)$
7. $B^2 PRST-INAC_J^0 P_2 T^2 T^1$
8. $[prest =_{\text{def}} B^2 PRST-INAC]$
9. $(prest P_2) T^2 T^1$

Commentaires: Le pas 1 a exactement la même signification que l'expression (2). Les contraintes temporelles ont été ajoutées aux conditions proprement aspectuelles. Nous regroupons les opérateurs entre eux de façon à dégager la relation prédicative (pas 2 à 4). Au pas 4 les deux opérateurs sont composés entre eux. Nous posons alors la définition *l'opérateur aspecto-temporel grammaticalisé* «Présent-inaccompli», désigné par *PRST-INAC* au pas 5. Cet opérateur a pour argument la relation prédicative. Au pas 6, nous dégageons les deux arguments de la relation prédicative de façon à construire un opérateur qui agisse uniquement sur le prédicat, d'où la définition de *l'opérateur morphologique prest* au pas 8 et l'expression finale au pas 9. L'opérateur *prest* est la trace morphologique de l'opérateur grammatical *PRST-INAC* qui lui-même encode et exprime à la fois les conditions temporelles (les deux intervalles de validation ont la borne droite commune) et la composition des deux opérateurs pro-

cessuels (associés aux processus prédicatif et énonciatif) avec le prédicat d'énonciation. Cet opérateur morphologique *prest* a pour opérande le prédicat lexical P_2 d'où le prédicat aspectualisé et temporalisé *prest* P_2 .

Nous obtenons finalement les expressions (5) et (6) équivalentes à l'expression (2) (au sens d'avoir la même signification):

(5) *PRST-INAC* ($P_2T^2T^1$)

(6) (*prest* P_2) T^2T^1

Remarque: L'*opérateur grammatical PRST-INAC* a pour opérande la relation prédicative entière $P_2T^2T^1$ tandis que l'*opérateur morphologique prest* a pour opérande le seul prédicat lexical P_2 .

Reprenons maintenant l'énoncé (1) *Le chasseur voit un daim (en ce moment)*. Cet énoncé admet une analyse prédicative exprimée par l'expression applicative (1'):

(1') *voit un-daim le-chasseur*

L'opérateur verbal *voit* peut s'analyser à son tour comme le prédicat binaire «voir» sur lequel agit un opérateur morphologique de «présent». Nous avons désigné cet opérateur par *prest*.. Nous avons alors la définition:

[*voit* = *prest* voir]

et nous en déduisons l'expression applicative:

(1'') *prest* voir un-daim le-chasseur
= *voit un-daim le-chasseur*

En «remontant» le calcul effectué par expansion qui a abouti à (5) et à (6), nous obtenons les réductions suivantes:

1. $(prest\ P_2)T^2T^1$
2. $[prest = B^2PRST-INAC]$
3. $[PRST-INAC = (C\&((\delta(J^1) = \delta(J^0)))) \ 0\ (enonc\ 0\ PROC-INAC_J^0\ 0\ PROC-INAC_J^1)]$
4. $\&((enonc\ 0\ PROC-INAC_J^0\ 0\ PROC-INAC_J^1)(P_2T^2T^1))\ ((\delta(J^1) = \delta(J^0)))$
5. $\&(PROC-INAC_J^0(DIT\ (PROC-INAC_J^1\ (P_2T^2T^1))\ S^0)\ ((\delta(J^1) = \delta(J^0))))$

Commentaires: L'expression au pas 5 constitue la *forme normale* de l'expression donnée au pas 1. Les expressions sont obtenues par des réductions successives, c'est-à-dire par des éliminations des combinateurs.

Désignons par '->' la relation de β -réduction entre expressions applicatives; nous obtenons:

$$(prest\ P_2)T^2T^1 \rightarrow \&(PROC-INAC_J^0(DIT(PROC-INAC_J^1(P_2T^2T^1))S^0)((J^1) = \delta(J^0)))$$

c'est-à-dire en instanciant par des lexèmes:

$$(prest\ voir)\ un-daim\ le-chasseur \rightarrow \&(PROC-INAC_J^0(DIT(PROC-INAC_J^1(voir\ un-daim\ le-chasseur))S^0)((\delta(J^1) = \delta(J^0))))$$

4. Calculs formels sur les conditions aspecto-temporelles

Prenons l'énoncé (1):

- (1) *Le chasseur a vu le daim*
(avec la valeur aspectuelle «état résultant» du passé composé)

Nous avons, par une démarche analogue, la réduction suivante:

$$(pass-comp\ résult\ voir)\ un-daim\ le-chasseur \rightarrow \&(PROC-INAC_J^0(DIT(PRST-RESU_O^1(voir\ un-daim\ le-chasseur))S^0)\ ((\delta(O^1) = \delta(J^0))))$$

Dans la forme normale sous-jacente à l'énoncé, la relation prédicative «voir un-daim le-chasseur» (ou en notation infixée: le-chasseur voir un-daim) est appréhendée sous forme d'un état résultant qui est réalisé sur un intervalle O^1 concomitant au processus d'énonciation, d'où la relation: $[\delta(O^1) = \delta(J^0)]$. L'état résultant présent $PRST-RESU_{O^1}$ (voir un-daim le-chasseur) est adjacent à l'événement réalisé et concomitant à l'acte d'énonciation, en d'autres termes: l'événement $EVEN_{F^2}$ (le-chasseur voir un-daim) a eu lieu avant le processus d'énonciation qui se déploie sur l'intervalle J^0 . Pour formaliser la résultativité présente par rapport à l'intervalle J^0 de réalisation du processus énonciatif, il nous faut ajouter des conditions supplémentaires. Soit une relation prédicative Λ arbitraire considérée comme vraie en tant qu'état résultant présent sur un intervalle O ; la résultativité présente de Λ est alors définie comme suit (voir Desclés 1980):

$PRST-RESUL_O(\Lambda) \Leftrightarrow_{\text{def}}$

il existe $EVEN_{F^2}(\Lambda)$ tel que:

- (i) $\delta(F)$ est une *coupure continue* dans l'union de F avec O
- (ii) $[F < J^0]$
- (iii) $\delta(O) = \delta(J^0)$

La *coupure continue* $\delta(F)$ (au sens de Dedekind) signifie que les deux intervalles F et O sont disjoints; que la borne droite $\delta(F)$ de l'intervalle F coïncide avec la borne gauche $\gamma(O)$ de l'intervalle O et que les intervalles F et O sont des intervalles topologiques tels que F est nécessairement fermé et O est nécessairement ouvert.

Prenons maintenant l'énoncé (2):

- (2) (*Hier*), le chasseur voyait un daim
(avec la valeur «processus inaccompli translaté dans le passé» de l'imparfait)

Par un calcul analogue, nous obtenons la réduction suivante:

(*imput* -proc P₂)T²T¹ ->

&(PROC-INAC_J⁰(DIT(PROC-INAC_J¹(P₂T²T¹))S⁰)([δ(J¹) < δ(J⁰)])

c'est-à-dire en y substituant des lexèmes:

(*imput* -proc voir) un-daim le-chasseur ->

&(PROC-INAC_J⁰(DIT(PROC-INAC_J¹(voir un-daim le-chasseur))S⁰)

([δ(J¹) < δ(J⁰)])

Enfin, prenons l'énoncé (3):

- (3) *Le chasseur a vu (vit) un daim.*
 (avec la valeur «événement» du passé composé ou du passé simple)

Nous avons la réduction suivante:

(*pass-comp* -éven voir) un-daim le-chasseur ->

&(PROC_J⁰(DIT(EVEN_F¹(voir le-daim le-chasseur))S⁰)([δ(F¹) < γ(J⁰)])

En définitive, nous avons les quatre définitions des opérateurs aspectuels grammaticalisés:

- (4) *PRST-INAC* = inaccompli du présent ou présent actuel
PAS-INAC = inaccompli dans le passé
EVEN = événement dans le passé
PRST-RESUL = état résultant du présent d'un événement

c'est-à-dire, avec une notation applicative:

- (5) $[PRST-INAC =_{\text{def}} (C \& ([\delta(J^1) = \delta(J^0)]))] \ 0 \ (\text{enonc } 0 \ PROC_J^0 \ 0 \ PROC_J^1)]$
 $[PAS-INAC =_{\text{def}} (C \& ([\delta(J^1) < \delta(J^0)]))] \ 0 \ (\text{enonc } 0 \ PROC_J^0 \ 0 \ PROC_J^1)]$
 $[EVEN =_{\text{def}} C \& ([\delta(F^1) < \gamma(J^0)])] \ 0 \ (\text{enonc } 0 \ PROC_J^0 \ 0 \ EVEN_F^1)]$
 $[PRST-RESUL =_{\text{def}} (C \& ([\delta(O^1) = \delta(J^0)]))] \ 0 \ (\text{enonc } 0 \ PROC_J^0 \ 0 \ RESUL_O^1)]$

Remarque: Comme nous l'avons déjà dit, la définition la définition de l'opérateur *PRST-RESUL* est plus compliquée lorsqu'on souhaite intégrer toutes les conditions qui entrent dans la définition de *l'état résultant présent*. Dans ce cas, la réduction de la représentation applicative à sa forme normale s'écrit sous la forme:

$$(pass-comp- \text{résult } P_2)T^2T^1 \rightarrow$$

$$\&([\delta(O^1) = \delta(J^0)]) \ S^0 \ (DIT (PRST-RESUL_O^1 (P_2T^2T^1)))$$

$$\&([EVEN_F^2 (P_2T^2T^1)]) \ ([F^2 < J^0]) \ ([\delta(F^2) = \gamma(O^1)]) \ ([\delta(O^1) = \delta(J^0)])$$

5. Exemple de raisonnement inférentiel

Essayons de montrer comment nous pouvons analyser une inférence qui repose d'une part sur une représentation des visées aspectuelles et des conditions aspecto-temporelles, telles que nous les avons analysées et d'autre part sur une représentation de la signification des prédicats lexicaux mis en jeu dans la relation prédicative. Examinons l'inférence suivante, avec, ici, une variation lexicale:

- (1) a. *Ce matin, le chasseur a tué le daim*
 b. **donc** *le daim est mort* (au moment où l'énonciateur parle).

L'adverbial temporel *ce matin* détermine un intervalle ouvert, désigné par O^3 ; cet intervalle est situé avant l'intervalle J^0 de validation du processus énonciatif; il contient l'intervalle F^1 qui

est associé à l'événement. Nous en déduisons les deux contraintes ou coordonnées énonciatives suivantes:

$$\& ([O^3 \supset F^1]) ([O^3 < J^0])$$

Ces contraintes s'ajoutent aux contraintes imposées par les coordonnées énonciatives de l'événement lui-même qui est situé dans la réalité par rapport au processus d'où $[F^1 < J^0]$. Nous en déduisons, d'après ce que nous avons étudié au paragraphe précédent, la représentation applicative de l'énoncé (1a.) et la réduction à sa forme normale:

$$\begin{aligned} & ((\text{ce-matin})(\text{pass-comp} - \text{éven tuer})) \text{ le-daim le-chasseur } \rightarrow \\ & \& (PROC-INAC_{J^0}(DIT(EVEN_{F^1}(\text{tuer le-daim le-chasseur})))S^0) \\ & (\& ([\delta(F^1) < \gamma(J^0)]) ([O^3 \supset F^1]) ([O^3 < J^0])) \end{aligned}$$

Procédons maintenant à une analyse sémantique du prédicat lexical du prédicat «tuer». La signification de «tuer» est représentée par un schème sémantico-cognitif (Desclés 1990a, 1994a) exprimée par la λ -expression suivante:

$$\begin{aligned} \text{tuer} =_{\text{def}} & (\lambda y. (\lambda x. (\text{TRANS-CHANG}_I(\text{SIT}_1[y])(\text{SIT}_2[y]))) x)) \\ \text{avec: } & \text{SIT}_1[y] = \lambda z. (\text{ETAT}_{O^1}(\text{être-en-vie } z))y \\ & \text{SIT}_2[y] = \lambda z. (\text{ETAT}_{O^2}(\text{N(être-en-vie } z)))y \\ & [O^1 < I < O^2] \\ & ([\gamma(I) = \delta(O^1)]) \\ & ([\delta(I) = \gamma(O^2)]) \end{aligned}$$

Commentaires: L'actant x a un rôle grammatical d'agent; étant agent, il «contrôle» et «effectue» le changement (CHANG) qui fait passer de la situation statique SIT_1 à la situation statique SIT_2 . L'opérateur TRANS — pour «transitivité sémantique» — exprime l'intégration des deux opérateurs de «contrôle» (CONTR) et d'«effectuation» (FAIRE) étroitement liés au rôle

agentif (voir Desclés 1990) assumé par un terme dans une relation prédicative. Les deux situations SIT_1 et SIT_2 affectent le même patient y qui subit ainsi le changement. L'intervalle O^1 , où est validée la situation SIT_1 , est antérieur à l'intervalle O^2 , où est validée la situation SIT_2 . Les deux intervalles étant ouverts, ils sont nécessairement séparés par un intervalle (fermé) I avec des frontières communes: la borne gauche $\gamma(I)$ de I coïncide avec la borne droite $\delta(O^1)$ de O^1 , la borne droite $\delta(I)$ de I coïncide avec la borne gauche $\gamma(O^2)$ de O^2 . Le changement qui affecte y est donc réalisé sur l'intervalle I , compris entre l'intervalle O^1 , où la situation statique initiale SIT_1 était réalisée et l'intervalle O^2 , où la situation finale SIT_2 sera réalisée.

Nous pouvons indiquer le diagramme temporel attaché intrinsèquement à la signification de «tuer»:

]----- O^1 -----[<----- I ----->|<----- O^2 ----->[
 <-----être en vie-----><----- $EVEN_I$ (tuer)-----> <-----n'être plus en vie->

De la déclaration:

& ($PROC-INAC_{J^0}$ (DIT ($EVEN_{F^1}$ (tuer le-daim le-chasseur))) S^0)
 (& ([$\delta(F^1) < \gamma(J^0)$]) ([$O^3 \supset F^1$]) ([$O^3 < I^0$]))

on en déduit que l'événement

$EVEN_{F^1}$ (tuer le-daim le-chasseur)

est réalisé à la borne droite $\delta(F^1)$ de l'intervalle F^1 qui est antérieur à l'intervalle J^0 d'énonciation. Nous allons en déduire également que l'état:

$ETAT_{J^0}$ (est-mort le-daim)

est vrai sur l'intervalle J^0 d'énonciation.

Nous représentons les intervalles temporels de la situation sous-jacente à l'énoncé *Ce matin le chasseur a tué le daim* (l'événement est réalisé sur l'intervalle F^1) par des diagrammes synchronisés suivants:

$$] \langle \text{-----} O^1 \text{-----} \rangle [\langle \text{-----} F^1 \text{-----} \rangle [\langle \text{-----} O^2 \text{-----} \rangle [$$

$$] \langle \text{-----} O^3 \text{-----} \rangle [\text{---}] \langle \text{-----} \rangle [T^0$$

$$\langle \text{-----} \text{ce matin} \text{-----} \rangle \quad \langle \text{maintenant} \rangle$$

Nous allons donner une preuve formelle de la déduction précédente (1a) \rightarrow (1b). Pour simplifier les écritures, nous posons: $[T^1 := \text{le-chasseur}]$ et $[T^2 := \text{le-daim}]$. Nous partons de la prémisse avec les contraintes temporelles sur les intervalles :

0. $(PROC-INAC)^0$ (DIT ($EVEN_{F^1}$ ($P_2 T^2 T^1$)) S^0)
 $[\delta(F^1) < \gamma(J^0)]$
 $[O^3 \supset F^1]$
 $[O^3 < I^0]$

Nous avons donc l'événement $EVEN_{F^1}(P_2 T^2 T^1)$ qui est réalisé sur l'intervalle F^1 avant l'énonciation qui se déploie sur l'intervalle J^0 d'où la condition: $[\delta(F^1) < \gamma(J^0)]$.

Pour simplifier les écritures, nous allons faire abstraction des «conditions d'énonciation» en considérant essentiellement la relation prédicative aspectualisée comme un événement — l'événement F^1 —: cette dernière est emboîtée dans le processus énonciatif. Nous omettons donc la composition avec l'opérateur d'énonciation 'enonc', qui a été présenté au paragraphe précédent pour centrer notre attention sur les relations entre la signification du prédicat verbal et la visée aspecto-temporelle d'événement qui porte sur la relation prédicative sous-jacente.

Déduction:

- | | | |
|----|---|------|
| 1. | $EVEN_{F^1}$ (tuer $T^2 T^1$) | hyp. |
| 2. | $[tuer =_{\text{def}} \lambda y. (\lambda x. (\text{TRANS-CHANG}_1 (\text{SIT}_1 [y])(\text{SIT}_2 [y])) x)]$ | def |

3. $EVEN_{F^1}(\lambda y.(\lambda x.(TRANS-CHANG_I(SIT_1[y])(SIT_2[y]))x))T^2T^1$ rem. 1, 2
4. $EVEN_{F^1}(\lambda x.(TRANS-CHANG_I(SIT_1[T^2])(SIT_2[T^2]))x)T^1$ réduction, 3
5. $EVEN_{F^1}(TRANS-CHANG_I(SIT_1[T^2])(SIT_2[T^2]))T^1$ réduction, 4
6. 1. $SIT_1[T^2] = \lambda z.(ETAT_{O^1}(\text{\textcircled{e}tre-en-vie } z))T^2$ def SIT_1
 2. $SIT_1[T^2] = ETAT_{O^1}(\text{\textcircled{e}tre-en-vie } T^2)$ réduction,6.1
 3. $SIT_2[T^2] = \lambda z.(ETAT_{O^2}(N(\text{\textcircled{e}tre-en-vie } z)))T^2$ def SIT_2
 4. $SIT_2[T^2] = ETAT_{O^2}(N(\text{\textcircled{e}tre-en-vie } T^2))$ réduction,6.3
7. $EVEN_{F^1}(TRANS-CHANG_I(ETAT_{O^1}(\text{\textcircled{e}tre-en-vie } T^2))(ETAT_{O^2}(N(\text{\textcircled{e}tre-en-vie } T^2))))T^1$ rem. 5, 6.2., 6.4.
8. $[O^1 < F^1 < O^2]$ unification
 $[\delta(O^1) = \gamma(F^1)]$ avec $[I = F^1]$
 $[\gamma(O^2) = \delta(F^1)]$
9. $ETAT_{O^2}(N(\text{\textcircled{e}tre-en-vie } T^2))$ cons. 7
10. 1. $[O^1 < F^1 < O^2]$ rép. 8
 2. $[O^3 \supset F^1]$ hyp. initiale
 3. $[O^3 < J^0]$ hyp. initiale
 4. $[O^3 \cap O^2 \neq \emptyset]$ cons. 1, 2
 5. $[O^2 \supset J^0]$ cons. 1, 2, 3, 4
 6. $[\delta(O^2) = \delta(J^0)]$ cons. 5
11. $ETAT_{J^0}(N(\text{\textcircled{e}tre-en-vie } T^2))$ cons. 9, 10.5
12. $[\text{\textcircled{e}tre-mort} =_{\text{def}} BN(\text{\textcircled{e}tre-en-vie})]$ def
13. $ETAT_{J^0}(\text{\textcircled{e}tre-mort } T^2)$ rempl. 12,11
14. $BETAT_{J^0}(\text{\textcircled{e}tre-mort})T^2$ int. B, 13
15. $[ETAT-PRST =_{\text{def}} BETAT_{J^0}]$ def.
16. $[prest =_{\text{def}} ETAT-PRST]$ def de *prest*

- | | | |
|-----|---|------------------|
| 17. | $prest$ (être-mort) T^2 | rem., 14, 15, 16 |
| 18. | $[est\ mort =_{def} prest$ (être-mort)] | def |
| 19. | $[T^2 :=$ le daim] | valeur de T^2 |
| 20. | $est\ mort$ le daim | rem. 17, 18, 19 |

Commentaires: Le pas 0 annonce une hypothèse déclarative. Cette déclaration permet de valider certaines relations prédicatives sur des intervalles. La relation prédicative est vraie sur un intervalle fermé F^1 antérieur à l'intervalle d'énonciation J^0 . De cette hypothèse, nous pouvons en extraire une assertion (pas 1): l'événement s'est réalisé sur un intervalle F^1 . Le pas 2 exprime la signification du prédicat «tuer» sous forme d'une λ -expression. On substitue cette signification dans l'expression de l'événement. On procède ensuite aux substitutions des arguments aux places liées par l'opérateur d'abstraction λ , d'où le pas 6. Le résultat entraîne une unification des intervalles: l'intervalle F^1 devient l'intervalle de validation de l'événement «tuer», d'où $[I = F^1]$ (pas 8). L'événement étant complètement validé sur l'intervalle F^1 , on en déduit que la situation finale SIT_2 de l'événement est atteinte, cette situation est un ingrédient de la signification du prédicat «tuer», elle est donc réalisée sur l'intervalle ouvert O^2 , contigu à F^1 (pas 9). Des considérations sur la sémantique des intervalles (voir le diagramme temporel précédent) amènent au raisonnement suivant (pas 10): puisque F^1 est borné par les deux états O^1 et O^2 , que O^3 contient F^1 (hypothèse initiale), O^3 est antérieur à J^0 , on en déduit que O^3 a une intersection non vide avec O^2 ; O^2 contient J^0 ; les deux bornes droites de O^2 et de J^0 sont réalisées en même temps, d'où la coïncidence des deux bornes droites. Puisque l'état est vrai sur l'intervalle O^2 et que l'intervalle O^2 contient l'intervalle J^0 , il s'en déduit (propriété des états) que le même état doit être vrai sur l'intervalle J^0 (pas 11). Le pas 12 établit une équivalence lexicale entre le prédicat unaire «être-mort» et la composition (par le combinateur \mathbf{B}) de la négation propositionnelle, notée N , avec le prédicat «être-en-vie». Après substitution, nous obtenons le pas 13. Le pas 14 est le résultat de la composition de l'opérateur aspectuel avec le prédicat lexical «être-mort». Le pas 15 définit l'opérateur grammatical d'état-présent ETAT-PRST; le pas 16 définit le prédicat morphologique *prest* («présent statif») comme la trace morphologique (en français) de l'opérateur grammatical ETAT-PRST. Le pas 17 est le résultat du remplacement. Le pas 18 exprime

la définition d'un nouveau prédicat complexe, en fait le prédicat temporalisé et aspectualisé. Le pas 19 traduit la valeur de la variable T^2 , d'où il résulte finalement le pas 20.

Remarque: Nous avons donné deux définitions de l'opérateur morphologique *prest*, l'une au paragraphe 3 et l'autre dans la déduction précédente. Rappelons ces deux définitions:

$[prest =_{\text{def}} \mathbf{B2PRST-INAC}]$

$[prest =_{\text{def}} \mathbf{BETAT}_J^0].$

Elles correspondent à deux valeurs sémantiques du «présent» morphologique en français, une valeur de *processus inaccompli* ou *présent processuel actuel* (comme dans: *le daim court (est en train de courir) dans la forêt*) et une valeur d'*état présent actuel* (comme dans: *le daim est mort, le daim est vivant*). La stratégie par «exploration contextuelle», qui guide le changement de représentation, permet de lever les indéterminations d'un opérateur morphologique comme le présent, l'imparfait, le passé composé en français (voir sur ce point, par exemple: Desclés et alii 1991).

Nous avons finalement, en tenant compte de l'énonciation, la relation d'inférence:

$(PROC-INAC)_J^0$ (DIT ($EVEN_F^1$ (P_2 le-daim le-chasseur))) S^0)

-> $EVEN_F^1$ (tuer le-daim le-chasseur)

-> $ETAT_J^0$ (N(est-en-vie) le-daim)

-> $ETAT_J^0$ (est-mort le-daim).

c'est-à-dire dans la langue du phénotype:

(Je dis que) *le chasseur a tué le daim*

-> *Le chasseur a tué le daim*

-> *Le daim n'est pas en vie*

-> *Le daim est mort.*

6. Autres exemples d'inférences

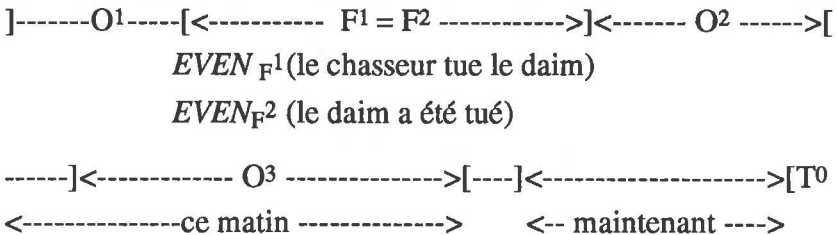
Prenons un raisonnement légèrement plus complexe:

- (1) a. *Ce matin, le chasseur a tué le daim*
 b. *donc le daim a été tué (ce matin)*
 c. *donc le daim n'est (actuellement) plus en vie*
 d. *donc avant ce matin, le daim était en vie.*

Nous voulons représenter ces inférences en langue naturelle sous forme de déductions formalisées. Comme dans le paragraphe précédent, nous allons faire abstraction des conditions d'énonciation (c'est-à-dire de l'opérateur enonc) pour centrer notre attention sur les visées aspectuelles et temporelles. Prenons la première inférence (2) entre (1a) et (1b).

(2) *Ce matin, le chasseur a tué le daim -> Le daim a été tué.*

Nous avons le diagramme temporel:



Nous avons l'expression suivante avec les conditions temporelles, l'intervalle O^3 étant associé directement à la locution ad-

verbale *ce matin* qui sert à localiser dans le temps l'événement passé F^1 , donc antérieur au processus d'énonciation qui se déploie sur J^0 .

$PROC-INAC_{J^0}$ (DIT ($EVEN_{F^1}$ (tuer $T^2 T^1$)) S)

$[O^3 \supset F^1]$

$[F^1 < J^0]$

$[O^3 < J^0]$

Nous entreprenons maintenant la déduction associée à l'événement F^1 .

Déduction:

1. $EVEN_{F^1}$ (tuer $T^2 T^1$) hypothèse
 $[O^3 \supset F^1]$
 $[F^1 < J^0]$
 $[O^3 < J^0]$
2. $EVEN_{F^2}$ (PASS(tuer)) T^2 prédicat passif, 1
 $[F^2 < J^0]$ unification $[F^2 = F^1]$
3. $BEVEN_{F^2}$ PASS(tuer) T^2 int. **B**, 2

Commentaires: Les prémisses sont données au pas 0: l'intervalle O^3 associé à *ce matin* contient l'événement F^1 antérieur à J^0 . Cet événement F^1 engendre un «événement passif» F^2 concomitant et canoniquement associé à F^1 . Le «prédicat passif» (voir remarque suivante) est dérivé du prédicat actif, d'où, pour le prédicat actif «tuer», le prédicat passif: PASS(tuer). Cependant, alors que dans la construction active, l'agent T^1 est explicite, dans la construction passive courte, l'agent reste implicite et non spécifié. Le pas 3 introduit le combinateur **B** qui permet de composer l'opérateur aspectuel avec l'opérateur de passivation PASS, que nous avons analysé par ailleurs dans un autre article.

Remarques:

(1°) Nous avons déjà eu l'occasion de donner une analyse du passif dans le cadre théorique de la Grammaire Applicative (voir: Desclés, Guentcheva, Shaumyan 1985 et Desclés, Guentcheva 1993). La structure de base du passif est une construction «courte» c'est-à-dire «sans agent» avec un «prédicat passif» intransitif. Le prédicat passif est construit à partir du prédicat actif. Son analyse s'effectue à l'aide du combineur C de conversion et d'une quantification existentielle (à l'aide de l'opérateur de quantification \exists): $[P_{\text{pass}} =_{\text{def}} \exists(\text{CP}_{\text{actif}})]$. De la construction passive «courte»: $P_{\text{pass}} T = (\exists(\text{CP}_{\text{actif}}))T$, on en déduit (par instanciation par un terme désignant un agent non spécifié Φ^1 , selon une règle classique d'élimination du quantificateur \exists): $(\text{CP}_{\text{actif}})\Phi^1 T$. Nous avons alors la réduction de la construction passive (par exemple: *le daim a été tué*) à sa contre-partie active (par exemple: *on a tué le daim*):

1. $P_{\text{pass}} T$
2. $(\exists(\text{CP}_{\text{actif}})) T$
3. $(\text{CP}_{\text{actif}}) \Phi^1 T$
4. $P_{\text{actif}} T \Phi^1$

La définition explicite de l'opérateur grammatical PASS s'en déduit immédiatement., à savoir $\text{PASS} = \text{B}\exists\text{C}$ et la β -réduction $\text{PASS} (\text{Pact}) T \rightarrow \text{Pact} T$.

(2°) Pour avoir une analyse complète, il faudrait resituer «l'événement passif» F^2 dans les conditions initiales d'énonciation, c'est-à-dire l'insérer dans son contexte énonciatif, d'où:

$$\text{PROC-INAC}_{J_0}(\text{DIT}(\text{BEVEN}_{F^2}\text{PASS}(\text{tuer})T^2)S^0)$$

avec les conditions temporelles: $[O^3 F^2]$; $[F^2 < J^0]$; $[O^3 < J^0]$. En tenant compte de cette insertion, nous pouvons en déduire, en faisant abstraction, pour simplifier les écritures, des compositions avec l'opérateur enonc avec l'opérateur PROC-INAC_{J_0} et avec les coordonnées énonciatives — un calcul plus complet se-

Déduction:

1. $EVEN_{F^2}$ (PASS («tuer»)) T^2 «événement» passif
 $[F^2 < I^0]$
 $[O^3 \supset F^2]$
 $[O^3 < I^0]$
2. [«tuer» =_{def} $(\lambda y. (\lambda x. (TRANS-CHANG_I (SIT_1[y])(SIT_2[y]))x))$] déf.
3. $EVEN_{F^2}$ $(\lambda y. (\lambda x. (TRANS-CHANG_I (SIT_1[y])(SIT_2[y]))x)) T^2$ loi du passif
4. $EVEN_{F^2}$ (PASS $(\lambda y. (\lambda x. (TRANS-CHANG_I (SIT_1[y])(SIT_2[y]))x)) T^2 \Phi^1$) rem., 1, 2,
 $[\Phi^1 = \text{agent non spécifié}]$
5. $EVEN_{F^2}$ (TRANS-CHANG_{F2} unification $[I = F^2]$
 $(ETAT_{O^1}$ («est-en-vie» T^2)) ($ETAT_{O^2}$ (N(«est-en-vie» T^2)) Φ^1)) réductions, 4
 $[O^1 < F^2 < O^2]$
6. $ETAT_{O^2}$ (N(être-en-vie T^2)) conséqu. de 5
 $[O^2 \supset J^0]$
 $[\delta(O^2) = \delta(J^0)]$
7. $ETAT_{J^0}$ (N(être-en-vie T^2)) conséqu. de 6
8. $BETAT_{J^0}$ N(être-en-vie T^2) int. **B**
9. [ne-pas-être-en-vie =_{def} **B**($BETAT_{J^0}$ N(être-en-vie))] déf.
10. $[T^2 = \text{le daim}]$ valeur de T^2
11. ne-pas-être-en-vie le daim rem. 8, 9, 10

Commentaires: Nous partons de l'«événement passif» localisé dans un espace temporel («ce matin»); *le daim a été tué, ce matin*; il en résulte les conditions sur les intervalles: l'événement passif F^2 est inséré à l'intérieur de l'intervalle ouvert O^3 déterminé par «ce matin». Cet intervalle ouvert est antérieur à l'intervalle d'énonciation J^0 . Nous introduisons la définition du prédicat lexical «tuer» au pas 2. Après les réductions et unification $I = F^2$, il en résulte que l'événement a été réalisé sur l'intervalle fermé F^2 compris

entre les deux intervalles ouverts O^1 et O^2 (pas 5). Il est résulte que l'état final de l'événement représenté est réalisé sur l'intervalle O^2 : la négation de « T^2 est en vie» est donc vraie sur O^2 . Un raisonnement sur les intervalles montre que les intervalles O^2 et J^0 ont même borne droite dans le référentiel modal du réalisé. D'après la propriété des états, puisque l'état est réalisé en O^2 et que O^2 contient J^0 , l'état «négation de T^2 être en vie» est réalisé sur J^0 (pas 7). L'introduction du combinateur **B** (au pas 8) permet de définir au pas suivant (pas 9) le prédicat complexe statif «ne-pas-être-en-vie» qui est dérivé du prédicat «être-en-vie». Après remplacement, nous obtenons le pas 11.

Prenons maintenant l'inférence (4) entre (1a) et (1d):

(4) *Le daim a été tué ce matin -> Le daim était vivant avant ce matin*

Le diagramme temporel montre que l'état «le daim est en vie», impliqué par la signification intrinsèque du prédicat «tuer», est réalisé sur l'intervalle ouvert O^2 , antérieur à l'événement et donc au processus d'énonciation et inséré dans le zone temporelle O^3 («ce matin») associée à la localisation temporelle. L'imparfait français encode cette valeur aspecto-temporelle.

Déduction:

1. $EVEN_{F^2}(\text{PASS}(\langle\text{tuer}\rangle T^2))$ événement passif
 $[F^2 < J^0]$
 $[O^3 \supset F^2]$
 $[O^3 < J^0]$
2. $EVEN_{F^2}(\text{TRANS-CHANG}_{F^2}$ unification [$I = F^2$]
 $(ETAT_{O^1}(\langle\text{est-en-vie}\rangle T^2))(ETAT_{O^2}(N(\langle\text{est-en-vie}\rangle T^2)))\Phi^1))$ réductions, 1
 $[\Phi^1 = \text{agent non spécifié}]$
 $[O^1 < F^2 < O^2]$ conséq. unification
 $[O^3 \cap O^1 \neq \emptyset]$

- | | |
|---|--------------------|
| $[O^3 \cap O^2 \neq \emptyset]$ | conséq. 1, 2 |
| $[O^2 \supset J^0]$ | |
| $[\delta(O^2) = \delta(J^0)]$ | |
| $[F^2 < J^0]$ | |
| 3. $ETAT_{O^1}$ (être-en-vie T^2) | conséq. 2 |
| 4. $[\Gamma =_{\text{def}} O^1 - O^3]$ | def. de Γ |
| $[\Gamma \supset O'']$ | |
| $[O'' < O^3]$ | |
| $[O'' < J^0]$ | |
| $[O^1 \supset O'']$ | |
| 5. $ETAT_{O''}$ (être-en-vie T^2) | conséq., 3, 4 |
| $[O'' < J^0]$ | |
| 6. $BETAT_{O''}$ (être-en-vie T^2) | int. B, 5 |
| 7. $[\text{état-impf} =_{\text{def}} \&(BETAT_{O''}) (O'' < J^0)]$ | def de état-impf |
| 8. $[\text{était-en-vie} =_{\text{def}} \text{état-impf} (\text{être-en-vie})]$ | def. |
| 9. $[T^2 := \text{le-daim}]$ | valeur de T^2 |
| 10. $\text{était-en-vie le-daim}$ | rempl.. 5, 7, 8, 9 |

Commentaires: Nous partons de l'événement passif qui est réalisé sur l'intervalle F^2 contenu dans l'intervalle O^3 de réalisation associé à *ce matin*. Comme dans la déduction précédente la signification du prédicat lexical «tuer», nous permet d'en déduire le pas 2, Φ^1 désignant un agent non spécifié. Puisque l'événement est réalisé sur F^2 , il en résulte que l'état initial a été réalisé sur l'intervalle O^1 qui précède et qui est contigu à l'intervalle F^2 (pas 3). Nous définissons ensuite (pas 4) l'intervalle Γ comme étant le complémentaire de O^3 par rapport à O^1 ; il est antérieur à O^3 et il est contenu, d'après sa définition dans O^1 . Comme l'état «être en vie» est réalisé sur l'intervalle O^1 , il est réalisé d'après la propriété des états, sur tout intervalle ouvert O'' , contenu dans l'intervalle Γ , contenu dans O^1 ; un tel intervalle ouvert O'' est nécessairement antérieur à l'intervalle O'' (pas 5) qui correspond

à la zone temporelle déterminée par l'expression adverbiale «avant ce matin». L'introduction du combinateur **B** au pas 6 permet de composer l'opérateur aspectuel avec le prédicat statif «être-en-vie», d'où la définition de l'opérateur morphologique *état-impf* au pas 7 et du prédicat complexe «était-en-vie» au pas 8. Après remplacement, nous obtenons finalement l'expression applicative du pas 10.

7. Remarques finales

Les raisonnements précédents montrent comment on peut relier des énoncés par des relations d'inférences orientées. Nous avons traité formellement quelques inférences. Cependant, les autres énoncés qui ont été présentés dans l'introduction seraient analysables par la même méthode mais il faudrait alors introduire d'autres notions, en particulier la notion de registre ou de référentiel — registres énonciatif, narratif, des possibles, ... (Desclés 1994b).

Plusieurs remarques s'imposent:

1°) Nous avons montré comment on pouvait envisager de formaliser des raisonnements inférentiels sur des énoncés en tenant compte d'une part, des *conditions aspecto-temporelles* et d'autre part, des *représentations des significations verbales*.

2°) Le présent article souhaitait indiquer comment certaines inférences aspecto-temporelles pouvaient être traitées par des calculs et par des raisonnements (sur la sémantique des intervalles topologiques). Les calculs sont exprimés dans un langage applicatif où les combinateurs de la logique combinatoire de Curry permettent de composer des opérateurs. Les conceptualisations topologiques et énonciatives, issues d'une *théorisation intuitive*, sont formulées sous forme d'opérateurs — topologiques et énonciatifs — qui sont ensuite intégrés au formalisme applicatif prenant en charge les opérations spécifiquement prédicatives de façon à contribuer à la constitution d'une *théorie formalisée*.

3°) Les calculs précédents ne sont pas encore entièrement formalisés et complètement automatisables. Pour atteindre cet

objectif, il serait nécessaire de mieux spécifier la sémantique des intervalles topologiques, les règles sur les relations entre intervalles temporels (le calcul des intervalles proposé par Allen étant nettement insuffisant) et les relations entre états, événements et processus. Nous avons précisé, au paragraphe 2, des règles sur les états, événements et processus mais des règles supplémentaires devraient être ajoutées au système pour le rendre pleinement opératoire — voir par exemple Desclés et Guentcheva (1995) pour une analyse formelle de la notion de «progressivité». De plus, la présentation par «déduction naturelle à la Gentzen» ayant été, dans cet article, légèrement étendue, il faudrait donc préciser les conditions formelles de cette extension. Enfin, nous avons dû procéder à certaines simplifications (par exemple en omettant dans certains calculs de traiter explicitement les compositions avec l'opérateur d'énonciation «enonc» introduit au troisième paragraphe) afin de ne pas trop compliquer les écritures formelles.

4^o) Nous ne pensons pas et nous ne disons pas que *l'agent cognitif* qui produit des énoncés doit faire appel aux processus opératoires de traitement des informations aspecto-temporelles que nous avons exhibés mais la nature des problèmes rencontrés a fait apparaître une réelle *complexité des représentations et des traitements des informations*. L'énonciateur concret doit donc résoudre et dominer, peut-être par une toute autre stratégie de calcul, cette complexité des traitements pour lesquels nous avons simplement esquissé une solution opératoire.

Institut des Sciences Humaines Appliquées
Université de Paris-Sorbonne
96, blvd Raspail, F-75006 Paris

Annexe: Logique combinatoire

La logique combinatoire (Curry 1958; Desclés 1990a) a pour objet l'étude des *processus opératoires* exprimés par des opérateurs — élémentaires ou complexes — qui s'appliquent à des opérands. En général, les opérateurs et les opérands sont de différents types. Nous n'utilisons pas ici la notion de type. L'opération de base constitutive des expressions est l'*application*. Une expression qui est construite par l'application est appelée *expression applicative*. Un opérateur X qui s'applique à un opérande Y construit un résultat Z . Nous notons le résultat de l'application de X à Y par une simple juxtaposition (non associative) qui préfixe l'opérateur à son opérande, d'où l'écriture: $Z = XY$. Pour simplifier les écritures en évitant des parenthèses superflues, nous posons: $XYZ =_{\text{def}} (XY)Z$; il est alors clair que $XYZ \neq X(YZ)$.

Certains opérateurs abstraits, appelés *combineurs*, sont utilisés pour composer et construire explicitement des opérateurs complexes à partir d'opérateurs plus élémentaires; l'action opératoire d'un combineur est donnée par une règle d'*introduction* et une règle d'*élimination*, comme dans les systèmes de «déduction naturelle» de Gentzen. Un combineur représente un *programme applicatif de construction* d'un opérateur complexe à partir d'opérateurs plus élémentaires. Donnons deux exemples de combineur. Le premier combineur **B** représente la «composition fonctionnelle» d'opérateurs qui seraient les expressions de fonctions ensemblistes. Son action opératoire est définie par les deux règles:

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. $X(YZ)$ 2. $BXYZ$ int. B | <ol style="list-style-type: none"> 1. $BXYZ$ 2. $X(YZ)$ élim. B |
|--|---|

L'action opératoire du combineur **C** de «conversion» est définie par les deux règles:

- | | | |
|---------|--------|---------|
| 1. XZY | | 1. CXYZ |
| 2. CXYZ | int. C | 2. XZY |
| | | élim. C |

A partir de combinateurs de base (en très petit nombre), on engendre, par l'opération d'application, une infinité de combinateurs dérivés. Par exemple, le combinateur B^2 est dérivé du combinateur B . Nous posons la définition: nous avons la relation définitoire: $[B^2 =_{\text{def}} BBB]$. L'action opératoire de B^2 s'en déduit par des introductions ou par des éliminations successives de B :

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. $X(YZ_1Z_2)$ | 1. $B^2XYZ_1Z_2$ |
| 2. $BX(YZ_1)Z_2$ | 2. $[B^2 =_{\text{def}} BBB]$ |
| 3. $B(BX)YZ_1Z_2$ | 3. $BBBXYZ_1Z_2$ |
| 4. $BBB YZ_1Z_2$ | 4. $B(BX)YZ_1Z_2$ |
| 5. $[B^2 =_{\text{def}} BBB]$ | 5. $BX(YZ_1)Z_2$ |
| 6. $B^2XYZ_1Z_2$ | 6. $X(YZ_1Z_2)$ |

Nous en déduisons les deux relations de β -expansion et de β -réduction:

$$X(YZ_1Z_2) <- \beta- B^2XYZ_1Z_2$$

$$B^2XYZ_1Z_2 -\beta-> X(YZ_1Z_2)$$

Ainsi, le combinateur B^2 compose entre eux les opérateurs X et Y de façon à appliquer l'opérateur complexe (B^2XY) à la succession des opérands Z_1 et Z_2 .en donnant pour résultat: $X(YZ_1Z_2)$.

Une expression applicative qui ne peut plus être réduite est appelée une *forme normale*; par exemple, $X(YZ_1Z_2)$ est une forme normale associée à l'expression applicative $B^2XYZ_1Z_2$.

Soient X et Y deux expressions applicatives quelconques. On pose: $X \circ Y =_{\text{def}} \mathbf{BXY}$; cette opération est associative. Nous avons par exemple: $\mathbf{B}^2 = \mathbf{B} \circ \mathbf{B} = \mathbf{BBB}$.

Références bibliographiques

- ABRAHAM M. (1995). *Représentation sémantique des verbes (verbes de mouvement) en vue d'un traitement informatique*. Thèse de doctorat, Université de Paris-Sorbonne, mars 1995.
- BERTINETTO P.M., BIANCHI V., HIGGINBOTHAM J., SQUARTINI M. (1995). *Temporal Reference Aspect and Actionality*. Vol.1: *Semantic and Syntactic Perspectives*. Torino: Rosenberg & Sellier.
- COMRIE B. (1976). *Aspect, an Introduction to the Study of Verbal Aspect and Related Problems*. London: Cambridge University Press.
- CURRY H. (1958). *Combinatory Logic*. Amsterdam: North-Holland.
- DAVID J. & MARTIN R. (1980). *Notion d'aspect*. Paris: Klincksieck.
- DESCLÉS J.-P. (1980). Construction formelle de la catégorie de l'aspect (essai). In: David et Martin 1980, 198-237.
- DESCLÉS J.-P. (1990a). *Langages applicatifs, langues naturelles et cognition*. Paris: Hermès.
- DESCLÉS J.-P. (1990b). State, event, process, and topology. *General Linguistics*, 29/3, 159-200.
- DESCLÉS J.-P. (1991). Archétypes cognitifs et types de procès. *Travaux de Linguistique et de Philologie XXIX*, 171-195.
- DESCLÉS J.-P. (1993). Remarques sur la notion de processus inaccompli. *Sémiotique*, 5, 31-55.
- DESCLÉS J.-P. (1994a). Relations casuelles et schèmes sémantico-cognitifs. *Langages*, 113, 113-125.
- DESCLÉS J.-P., GUENTCHEVA Z. & SHAUMYAN S.K. (1985). *Passivization in Applicative Grammar*. Pragmatics & Beyond VI:1. Amsterdam: J. Benjamins.
- DESCLÉS J.-P. (1994b). Quelques concepts relatifs au temps et à l'aspect pour l'analyse des textes. In: *Etudes cognitives 1. Sémantique des catégories de l'aspect et du temps*. Warszawa: Académie des Sciences de Pologne.

- DESCLÉS J.-P. & GUENTCHEVA Z. (1990). Discourse analysis of aoriste and imperfect in Bulgarian and French. In: Thelin 1990.
- DESCLÉS J.-P. & GUENTCHEVA Z. (1993). Le passif dans le système des voix du français. *Langages*, 109, 73-102.
- DESCLÉS J.-P. & GUENTCHEVA Z. (1994). Is notion of process necessary? In: M.P. Bertinetto et al. 1995: 55-70.
- DESCLÉS J.-P., JOUIS C., OH H.-G., REPERT D. (1991). Exploration contextuelle et sémantique: Un système expert qui trouve les valeurs sémantiques des temps de l'indicatif dans un texte. In: D. Herin-Aïme, R. Dieng, J.P. Regourd, J.P. Angoujard (eds) 1991: 71-400.
- DOWTY D. (1979). *Word Meaning and Montague Grammar*. Dordrecht: Reidel.
- GARDIES J.-L. (1975). *La logique du temps*. Paris: P.U.F.
- GUENTCHEVA Z. (1990). *Temps et aspect: l'exemple du bulgare contemporain*. Paris: Editions du CNRS.
- HERIN-AÏME D., DIENG R., REGOURD J.P., ANGOUJARD J.P. (eds) (1991). *Knowledge Modeling and Expertise Transfer*. Amsterdam, Washington DC, Tokyo: IOS Press..
- KOCESKA-TOSCEWA V. & MAZURKIEWICZ A. (1995). Description de la temporalité et de la modalité au moyen de réseaux. In: *Etudes cognitives 1. Sémantique des catégories de l'aspect et du temps*. Warszawa: Académie des Sciences de Pologne.
- LYONS J. (1977). *Semantics*. London: Cambridge University Press, Vol. 2.
- MAIRE-REPERT D. (1990). *Représentation des valeurs sémantiques de l'imparfait français en vue d'un traitement informatique*. Thèse de doctorat, Université de Paris-Sorbonne.
- MAIRE-REPERT D., OH H.G. & BERRI J. (1991). Traitement informatique de la catégorie aspecto-temporelle. *T.A. Informations*, 32/1, 77-90.
- MOURELATOS A. (1981). Events, processes and states. In P. Tedesch & A. Zaenen (eds) 1981: 192-212.
- OH-JEONG H.-G. (1991). *Représentation des valeurs sémantiques du passé composé français en vue d'un traitement informatique*. Thèse de doctorat, Université de Paris-Sorbonne.

- SHAUMYAN S. K. (1987). *A Semiotic Theory of Language*.
Bloomington: Indiana University Press
- SMITH C.S. (1991). *The Parameter of Aspect*. Dordrecht:
Kluwer Academic Pub.
- TEDESCHI P., ZAENEN A.(eds) (1981). *Tense and Aspect*. New
York: Academic Press.
- THELIN N.R. (1990). *Verbal Aspect*. Amsterdam: J. Benjamins.
- VENDLER Z. (1967). *Linguistics and Philosophy*. Ithaca: Cornell
University Press.
-