GRAMMAIRE ET THEORIE DE LA PREUVE
UNE INTRODUCTION

A. Lecomte*

Résumé - Abstract

Cet article est une introduction à l'étude de différents systèmes logiques utilisables pour l'analyse linguistique (principalement syntaxique). Il s'inscrit donc dans une perspective d' approche déductive de l'analyse syntaxique, approche qui est aujourd'hui abondamment utilisée en particulier dans le domaine de l'implémentation de théories modulaires. Les systèmes logiques auxquels on fait référence sont dits "sensibles aux ressources", il s'agit du calcul de Lambek et de ses variantes (L, NL, LP, DNL), de calculs multi-modaux et de systèmes de déduction étiquetée. Ces systèmes sont subsumés par la logique linéaire, une approche générale sur le contrôle des ressources qui permet d'exprimer la logique classique et la logique intuitionniste. Des applications linguistiques sont présentées de la logique linéaire et de la technique des réseaux de preuves.

This paper is an introduction to the study of several logical systems which are used for linguistic purpose. It takes place inside the perspective of *parsing as deduction*, an approach which is becoming very widespread in the field of the implementation of modular theories. The logical systems we refer to are said to be "resource sensitive", they are the Lambek calculus and its variants (L, NL, LP, DNL), multimodal calculus and labelled deductive systems. They are subsumed under linear logic, a very general approach on resource management which embeds classical logic and intuitionnistic logic. Linguistic applications of linear logic and of the proof-net techniques are showed.

Mots clés - Key words :

approche déductive en analyse syntaxique, isomorphisme de Curry-Howard, logiques sous-structurelles, calcul de Lambek, modalités, déduction étiquetée, logique linéaire, réseaux de preuves

parsing as deduction, Curry-Howard isomorphism, substructural logics, Lambek calculus, modalities, labelled systems, linear logic, proof-nets

* GRIL-Clermont-Ferrand & INRIA-Lorraine, 615 rue du Jardin Botanique, 54 Villers les Nancy et Université Pierre Mendes-France, 1251 Avenue Centrale, BP 47 - 38040 Grenoble-cedex, email : lecomte@shm.grenet.fr

1. PRESENTATION

1.1. Une conception radicale de l'approche déductive de l'analyse syntaxique

Ce numéro de TAL reprend quelques unes des communications faites à la journée ATALA du 3 décembre 1994, sur "grammaire et théorie de la preuve". Le contenu de cette journée était, de fait, plutôt orienté vers un thème plus spécifique. En effet, la notion de "théorie de la preuve" était entendue au sens propre, c'est-à-dire en tant qu'étude et exploration de systèmes logiques applicables à l'analyse linguistique. Le sujet était donc plus restreint que ce que d'habitude on entend par une analyse syntaxique considérée comme une déduction logique. Il est naturel, dans une telle introduction, que nous commencions par rappeler les avantages d'une approche déductive de l'analyse linguistique, puis que nous nous orientions vers ce qu'apporte de particulier cette notion de "théorie de la preuve" au sens où nous l'entendons. Evidemment, le germe de cette dernière se trouve entièrement contenu dans la **grammaire catégorielle** : c'est la raison pour laquelle ce genre de grammaire occupait une place privilégiée dans cette journée. Mais le "plongement" des systèmes catégoriels dans des systèmes logiques plus généraux appelés souvent logiques **sous-structurelles**, ou bien dans des systèmes "souples" permettant un contrôle sur l'usage des ressources disponibles (**logique linéaire**) a apporté ces dernières années un nouvel éclairage et permis d'entrevoir de nouveaux systèmes pour l'analyse linguistique (Moortgat, M. 1996). D'autres systèmes de contrôle des ressources que la logique linéaire se sont aussi développés et ont une place dans ce numéro. Ainsi y parlera-t-on de systèmes modaux, nous référant ainsi au cadre général des **logiques modales**, ou bien de **systèmes de déduction étiquetés**. Notons que cette utilisation de logiques diverses en linguistique n'est pas nouvelle : elle intervient abondamment dans les travaux de sémantique formelle. Ce qui est nouveau c'est leur utilisation dans la formalisation de problèmes de **syntaxe**. Ainsi, trouvera-t-on dans ce numéro une reformulation en termes de théorie déductive de problèmes comme les liens anaphoriques croisés ("crossover") (Ruth Kempson) ou bien les constituants discontinus (Glyn Morrill).

1.2. L'approche logique : intérêt méthodologique

Le principal avantage de l'approche dite *parsing as deduction* réside en ce qu'elle permet d'opérer une séparation radicale entre la connaissance de la langue utilisée par l'analyseur (réalisée comme un ensemble d'axiomes et de règles) et la manière dont cette connaissance est utilisée dans l'analyse (la stratégie de contrôle des inférences faites à partir des axiomes et des règles). Autrement dit, elle permet au linguiste de se concentrer uniquement sur la connaissance nécessaire en l'exprimant d'une manière purement déclarative (Shieber, S. Schabes, Y. & Pereira, F. 1995). Cette formulation dans un langage déclaratif (usuellement en logique des prédicats du premier ordre), en ce qu'elle induit une explicitation de la connaissance, se prête particulièrement à une approche **modulaire** dans laquelle des principes ou des modules sont formulés précisément. Ce n'est donc pas un hasard si l'approche déductive a été beaucoup appliquée ces dernières années dans les théories dites "de gouvernement et liage" ou "principes et paramètres"

(Johnson, J. 1991), (Stabler, E. 1992). Enfin, le recours à une méthode déductive facilite considérablement l'évaluation de la correction d'un programme d'analyse : il suffit simplement de vérifier que chaque pas de la déduction correspond bien à l'application d'une règle.
Cette approche a été jusqu'à présent rendue opérationnelle par l'utilisation du langage PROLOG: on peut renvoyer à ce propos aux nombreux travaux sur les grammaires dites "logiques" qui remontent déjà aux années soixante-dix (grammaires de clauses définies, grammaires d'extraposition, grammaires "à trous" etc.)(cf Abramson, H. & Dahl, V. 1989). Toutefois, PROLOG offre une vue très réduite de l'utilisation possible des méthodes de déduction logique. De fait, il n'utilise qu'une seule règle de déduction, la règle dite "de résolution", qui s'avère être celle que Gentzen avait déjà découverte dans les années trente sous le nom de "règle de coupure" (à ne surtout pas confondre avec le fameux "cut" de PROLOG!)(voir notre encadré n°2). Mais les grammaires "logiques" n'utilisent aucune règle permettant de "faire des hypothèses", c'est-à-dire de déduire une "règle"[1] $A \Rightarrow B$ du fait que B se déduise sous l'hypothèse A. Or, un tel mécanisme d'inférence apparaît par exemple chaque fois que l'on analyse une phrase avec constituant manquant. Dans ces cas, l'analyse revient à faire le raisonnement suivant: localement, *faisons l'hypothèse* de la présence d'un syntagme nominal, on en déduit une structure "en attente" du syntagme manquant, l'attente étant résolue lors de la rencontre du syntagme déplacé. Cette analyse correspond à la description précise des mécanismes de trait SLASH dans les grammaires GPSG et HPSG (cf. Ades, A. & Steedman, M. 1982, Pollard, C. 1988).
Si de telles règles logiques (en général formulés dans les traités de logique (Tennant, N. W. 1978, Prawitz, D. 1965) comme règles "de déduction naturelle") sont absentes de ces formalismes, c'est parce que les signes utilisés n'ont comme structure que celle de **terme**. Ce ne sont pas des "formules" à proprement parler, c'est-à-dire des expressions construites à partir de connecteurs. Manquant des connecteurs fondamentaux, on ne peut alors utiliser les ressources permises par le raisonnement déductif, or l'approche de l'analyse comme déduction logique vise justement à exploiter de telles ressources au maximum[2].

1.3. L'approche logique : intérêt linguistique

Les applications les plus directes de l'approche déductive à des problèmes de syntaxe concernent, comme nous l'avons déjà mentionné, l'exemple des constructions avec **dépendances non bornées**. Les analyses habituelles de ces phénomènes font appel soit à une distinction de niveaux de structure (D-structure et S-structure) qui permet de décrire ces dépendances comme un effet de déplacement de syntagme interrogatif (*Wh-movement*), soit à un dispositif de traits incluant des traits catégoriels (SLASH). L'approche catégorielle déductive (voir aussi Steedman, M. 1996) permet de les traiter avec un seul niveau de structure et sans référence à des traits, puisque le mécanisme de traits SLASH et SUBCAT est directement implémenté dans le formalisme logique.

---

[1] Au sens utilisé en PROLOG, c'est-à-dire de clause avec partie droite non vide.

[2] Cette utilisation plus grande des ressources déductives est parfois appelée Programmation Logique d'Ordre Supérieur, cf Morrill, G. 1994.

On peut aussi considérer les phénomènes de **coordination**. Dans les grammaires catégorielles (cf. (Moortgat, M. 1988), (Dowty, D. 1988), (Miller, P. & Torris, T. 1990), (Morrill, G. 1994)), les conditions sur la coordination peuvent s'exprimer d'une manière plus générale que dans les grammaires syntagmatiques usuelles et ainsi permettre de définir une coordination entre des constituants incomplets, ce qui procure un moyen commode pour l'analyse des structures syntaxiques dites "à montée du noeud droit", comme dans :

(1) *Pierre a beaucoup aimé mais Marie a détesté le film de Godard*

Là encore, le mode d'analyse adopté permet d'éviter à la fois la pluralité de niveaux de structure et l'usage de catégories vides (trace, pro).
D'une façon générale, l'obtention d'une Forme Logique ne relève pas non plus d'un niveau supplémentaire : elle résulte directement de l'analyse syntaxique, au moyen de la correspondance de Curry-Howard (cf §2.7).
Un autre domaine d'application est fourni par les constructions à vides parasites (*parasitic gaps*), bien connues depuis (Chomsky, N. 1982) et qui s'observent dans des syntagmes nominaux comme *the book I file without reading*. Dans de tels cas, nous sommes confrontés à un problème particulier, qui dépasse le domaine des grammaires catégorielles classiques (calculs d'Ajduckiewicz, de Lambek), mais qui s'inscrit toutefois dans le champ des logiques sous-structurelles (cf §2.3).
Le dernier exemple que nous donnerons dans cette présentation est relié à la forme logique et concerne les problèmes de champ des quantificateurs. Il est bien connu, depuis (Montague, M. 1974) que l'interprétation de phrases comme :

(2) *every guest brought a dish*

ou (3) *tout le monde aime quelqu'un*

nécessite un traitement particulier des expressions quantifiées. Par exemple, *every* prend, sémantiquement parlant, deux arguments: l'un, nominal (ici: *guest*) qui spécifie le domaine des valeurs de la variable liée qu'il introduit, l'autre prédicatif (ici: *brought a dish*) qui exprime sa portée (ou son champ, en anglais *scope*). On dit alors que l'autre expression nominale quantifiée de la phrase (*a dish*) tombe dans la portée de la première expression quantifiée, ou que sa portée est *plus étroite* que celle de cette dernière. Evidemment les deux phrases mentionnées sont ambiguës: elles admettent toutes deux une deuxième lecture, celle pour laquelle c'est le quantificateur existentiel (figurant dans *a dish* ou dans *quelqu'un*) qui a la plus grande portée[3]. Des mécanismes ont été introduits dans le passé pour rendre compte de ces effets de portée, dont le *Cooper's storage* (Cooper, R. 1983). Ils ont l'inconvénient de rester très procéduraux et donc plus ou moins *ad hoc*. L'approche déductive permet de traiter ces cas grâce à la pluralité des analyses possibles, dépendant des déductions choisies (voir plus loin §2.8). L'ambiguïté est alors synonyme d'une pluralité de preuves[4].

---

[3] Il semble toutefois en général que l'une des lectures soit préférée par rapport à l'autre: fait dont l'analyse devrait rendre compte.

[4] On prendra garde ici que nous avons introduit une distinction entre "déduction" et "preuve". Une déduction est un objet syntaxique particulier: la suite des pas effectués. Mais il y a des

Indiquons que cette approche déductive peut conduire à des analyses très fines, non exprimables dans d'autres cadres. Par exemple, Pereira (Pereira, 1990) analyse une contrainte importante dans la construction d'une forme logique, qu'il appelle *contrainte de la variable libre*. Elle rend compte du fait qu'une phrase comme (4) soit agrammaticale.

(4) *Un journaliste qui a rencontré chaque ministre le trouve détestable*[5]

La propriété manifestée par cette phrase et qui la rend ininterprétable consiste en ce que, si on essaie de la traduire en forme logique, on obtient:

(5) $\exists$j. journaliste(j) $\wedge$ ($\forall$m. ministre(m) $\Rightarrow$ a_rencontré(j, m)) $\wedge$ déteste(j, m),

avec m, argument de *déteste* à l'extérieur de la portée de son quantificateur $\forall$m. Pereira décrit cette contrainte de la manière suivante : une phrase n'est interprétable que si *aucune variable n'apparaît en dehors de la portée de son quantificateur*. On pourrait évidemment en rester là et introduire ce principe comme une contrainte à vérifier après coup chaque fois qu'on a obtenu une expression candidate pour une forme logique. Il est cependant plus intéressant de faire d'un tel principe la conséquence d'une propriété générale des dérivations dans certains systèmes. C'est ce que fait Pereira en montrant que la contrainte en question se déduit simplement du fait qu'en déduction naturelle, on ne saurait décharger une hypothèse dépendant d'autres hypothèses *après* que celles-ci aient été elles-mêmes déchargées. Finalement, la contrainte est mieux exprimée en termes de restriction sur les dérivations possibles qu'en termes de restriction sur les représentations. C'est une voie similaire que Ruth Kempson suit dans ce numéro à propos des phénomènes de "crossover" (croisement de références).
Une autre série d'arguments en faveur des approches déductives et particulièrement catégorielles concerne les aspects psycho-linguistiques, c'est-à-dire les théories sur la manière dont les expressions linguistiques sont évaluées par les locuteurs et auditeurs. Pour ce genre de problèmes, les grammaires catégorielles fournissent notamment une réponse originale au *paradoxe du piéton* (Stabler, E. 1991). Il est en général admis (Steedman, M. 1989, Marslen-Wilson, W. 1987, 1989, Marslen-Wilson, W. & Tyler, L.K. 1980 etc.) que la compréhension du langage naturel s'effectue de manière incrémentielle: les mots d'une phrase sont interprétés rapidement au fur et à mesure qu'ils sont lus ou entendus, et dans leur ordre d'arrivée. Pourtant, de nombreuses langues (SVO et SOV) dont l'anglais, le français etc. ont de manière prédominante des structures syntaxiques branchantes à droite. Certains auteurs (Steedman, M. 1989) voient un paradoxe dans la juxtaposition de ces deux principes. Ceci les conduit même parfois à rejeter l'hypothèse des structures branchantes à droite et à proposer une syntaxe

---

variations inessentielles entre les différentes suites possibles (correspondant par exemple à des choix arbitraires dans l'ordre d'application des règles). On peut donc regrouper les déductions en classes d'équivalence, formant chacune une preuve à proprement parler. La "vraie" ambiguïté résulte d'une pluralité de preuves, alors que la pluralité de déductions ne renvoie qu'au problème, connu dans les grammaires catégorielles, des "ambiguïtés superflues" (cf. plus loin §2.7)

[5] L'agrammaticalité de (4) peut être mieux ressentie si on l'exprime comme (4') :
*Un journaliste a rencontré chaque ministre. *Il le trouve détestable.*

entièrement nouvelle pour des langues comme l'anglais, entreprise qui est alors sur d'autres plans, bien problématique. Stabler (Stabler, E. 1991) a bien mis en relief le genre de malentendu sur lequel repose ce prétendu "paradoxe". On y suppose en effet implicitement que l'interprétation d'un constituant ne peut commencer que lorsque son identification est complète. Si, dit Stabler, on conçoit le processus de la compréhension comme impliquant deux pas: l'identification et l'interprétation, on suppose que le deuxième pas, comme dans la marche (!), ne peut commencer qu'après que le premier ait été achevé. D'où la désignation qu'il donne à ce problème. En fait, cet implicite ne se justifie pas: on peut fort bien admettre que l'interprétation commence avant que le constituant ne soit complet. Ceci nécessite que le cadre de travail soit apte à traiter des structures incomplètes. Ici, les grammaires catégorielles sont privilégiées puisque, dans au moins le système de Lambek, il se trouve que toute paire de catégories successives possède un type. Qui plus est, comme nous le verrons au §2.9, si une suite de catégories Γ se réduit à un type T, toute parenthétisation selon un arbre binaire de la suite Γ autorise une déduction possible de T à partir de Γ. C'est dire qu'on peut parfaitement dans ce cadre analyser une phrase quelconque, par exemple (6a), selon l'ordre incrémentiel indiqué dans le parenthésage (6b)

(6) a. *Qui Pierre croit-il que le professeur a privilégié?*
b. *(((((((Qui Pierre) croit-il) que) le) professeur) a) privilégié?)*

alors que la structure syntaxique guide plutôt un découpage selon (7)

(7) *(Qui (Pierre (croit-il (que ((le professeur) (a privilégié?))))))*

On peut commenter (6b) en disant que chaque regroupement parenthétique fait apparaître soit la résolution d'une attente, soit l'apparition d'une nouvelle attente. Chaque mot, lorsqu'il est introduit dans la phrase, à la fois répond à une possibilité laissée ouverte par la structure syntaxique précédemment construite et restreint le spectre des continuations possibles. Par exemple (*Qui Pierre*) est une structure incomplète qui ne peut être complétée que par l'occurrence d'un syntagme verbal dont *Pierre* est sujet, lequel débute par un verbe en position de tête. L'incorporation d'un tel verbe (*croit-il*) remplit une partie de cette attente mais crée maintenant celle d'une complétive. L'intégration de *que*, conforme à cette attente, modifie l'ensemble des continuations possibles en le restreignant à des phrases avec syntagme nominal manquant et ainsi de suite. La stratégie d'analyse d'une phrase peut être ainsi vue comme une suite croissante d'états informationnels convergeant vers une structure complète[6].
Enfin nous verrons qu'une telle stratégie peut être modifiée en tenant compte de la structure de l'intonation: celle-ci fait alors figure de stratégie de calcul.

[6] Cette description du processus de constitution d'une structure complète correspond étonnamment aux attentes des tenants de la sémantique cognitive (cf Fauconnier, 1991, p231).

2. UN PEU D'HISTOIRE : LES GRAMMAIRES CATEGORIELLES

2.1. Introduction

La référence à des théories logiques n'est bien sûr pas nouvelle en linguistique. De nombreux travaux ont déjà cherché à rapprocher les problèmes posés par l'analyse de la langue d'autres qui se trouvaient posés de manière plus générale dans le cadre de la logique. Dès les années soixante-dix, d'ailleurs, les grammaires de Montague allaient dans cette voie, puisqu'elles faisaient fortement usage du λ-calcul typé, c'est-à-dire d'un système logique d'ordre supérieur pour obtenir des représentations sémantiques de phrases de la langue naturelle. Il est vrai cependant que les rares travaux qui tentaient d'appliquer les méthodes logiques non seulement à la sémantique mais aussi à la syntaxe demeuraient peu connus, qu'ils émanent de Curry, de Lambek ou de Shaumyan. Il aura fallu attendre le début des années quatre-vingts et notamment des articles d'Emmon Bach (Bach, E. 1981, 1984) ou de Mark Steedman (Ades, A. & Steedman, M. 1982) pour le monde anglo-saxon, mais aussi de Jean-Pierre Desclés (Desclés, J.P. 1990) en France, pour que ces recherches soient amenées au premier plan, dans la mouvance générale des grammaires catégorielles. Rappelons brièvement qu'étant donné un ensemble **Tp** de types construits récursivement à partir de types primitif, on appelle *grammaire catégorielle* la donnée d'un quadruplet G = <L, A, δ, R> où L est un lexique (ensemble de mots), A une fonction d'assignation de L dans $\wp_{fin}$(**Tp**)[7], δ un type primitif et R un ensemble de règles de réduction. Le langage engendré par G est alors l'ensemble de toutes les suites $x_1 \ldots x_n$ telles qu'il existe des types $a_1, \ldots, a_n$ avec $a_i \in A(x_i)$ pour tout i et que la suite $a_1, \ldots, a_n$ soit réductible à δ par les règles de R. Il apparaît alors par cette définition que le langage engendré est *la fermeture du lexique* sous les opérations induites par R, ce qui est la traduction la plus directe de la notion de *lexicalisme*.

2.2. Les Grammaires Catégorielles Généralisées des années 80

Dans les années quatre-vingt, ces travaux donneront lieu à plusieurs voies d'exploration. Par exemple, des auteurs comme J.P. Desclés, A. Szabolczsi ou M. Steedman utiliseront les systèmes catégoriels sous un angle essentiellement combinatorique (Desclés, J.P. 1990, Desclés, J.P. & Segond, F. 1992, Szabolczi, A. 1987, Steedman, M. 1988, Steedman, M. 1996). Dans leur approche, des combinateurs *guident* les assemblages de signes et permettent de rendre compte de phénomènes de référentialité ou d'action à distance. Ces combinateurs sont associés à l'utilisation des règles des grammaires catégorielles (par exemple le compositeur **B** pour la règle de composition fonctionnelle). Cette approche est défendue dans ce numéro par l'article de J.P. Desclés et I. Biskri. Dans d'autres cas, des règles (et même des métarègles) seront ajoutées aux systèmes classiques de manière à mieux décrire certains aspects des langues naturelles mais parfois sans précaution pour la cohérence de l'ensemble. Ainsi la notion de *règle de composition mixte* (cf Morrill, G. 1989, Moortgat, M. 1988) est-elle surgénératrice (Légeret, M.A. 1992). Il apparaîtra alors le besoin de contrôler

---

[7] Ensemble des parties finies de Tp

les généralisations apportées aux premières grammaires catégorielles et de hiérarchiser les systèmes obtenus (cf encadré n°1 et Moortgat, M. 1988). Dans cette optique, le calcul de Lambek, **L**, (Lambek, J. 1958) apparaîtra comme une sorte d'étalon. Il est d'abord doté , comme nous le verrons plus loin, de propriétés remarquables.

encadré n°1

Hiérarchie des systèmes catégoriels selon Moortgat 1988

1-Règles de réduction (ou schémas d'axiomes)

(a) Application:	$X/Y\ Y \Rightarrow X$ (avant)	$Y\ Y\backslash X \Rightarrow X$ (arrière)
(b) Composition:	$X/Y\ Y/Z \Rightarrow X/Z$ (avant)	$Z\backslash Y\ Y\backslash X \Rightarrow Z\backslash X$ (arrière)
(c) Associativité:	$X\backslash(Y/Z) \Rightarrow (X\backslash Y)/Z$	$(X\backslash Y)/Z \Rightarrow X\backslash(Y/Z)$
(d) Elévation de Type:	$X \Rightarrow Y/(X\backslash Y)$	$X \Rightarrow (Y/X)\backslash Y$
(e) Division 1:	$X/Y \Rightarrow (X/Z)/(Y/Z)$	$Y\backslash X \Rightarrow (Z\backslash Y)\backslash(Z\backslash X)$
(f) Division 2:	$X/Y \Rightarrow (Z/X)\backslash(Z/Y)$	$Y\backslash X \Rightarrow (Y\backslash Z)/(X\backslash Z)$

2-Règle de formation d'axiomes:

de $X \Rightarrow Y$, on peut déduire: $X/Z \Rightarrow Y/Z$, $Z\backslash X \Rightarrow Z\backslash Y$, $Z/Y \Rightarrow Z/X$ et $Y\backslash Z \Rightarrow X\backslash Z$

3-Règle de déduction:

de $X \Rightarrow Y$ et de $Y \Rightarrow Z$, on déduit $X \Rightarrow Z$

AB: le calcul qui ne contient que (a) et (3).
F: le calcul qui contient (a), (b), (c), (d) et (3).
L: le calcul qui contient tout,
LP: **L** + Permutation (en ce cas, / et \ sont indifférenciés)
Remarque: si **F** est finiment axiomatisable, ce n'est pas le cas de **L** (on ne peut pas supprimer la règle de formation d'axiomes).

Il est ensuite le premier (dans l'ordre chronologique) de tous les systèmes englobés sous la dénomination de *logiques sous-structurelles* (Dosen, K. & Schroeder-Heister, P. 1994). Il est sensible non seulement à la quantité des ressources disponibles (ici les mots de la phrase) mais aussi à leur *ordre*. Certaines thèses de ce calcul, comme la règle d'élévation de type ou la règle de division (dite règle de Geach) lui donnent par ailleurs une flexibilité qui n'apparaissait ni dans les premières grammaires catégorielles, ni dans les systèmes de Montague. Les conceptions de Montague sur la quantification par exemple (cf Montague, M. 1974) obligent à considérer que tous les SN (y compris les noms propres) ont un "type monté" (en d'autres termes: les SN sont perçus comme des foncteurs ayant pour argument le SV qui les accompagne, ceci pour rendre compte du fait qu'un SN quantifié opère sur son champ). L'utilisation du calcul de Lambek permet d'assigner aux unités lexicales des types *flexibles*: telle unité qui possède primitivement un type n peut être aussi considérée comme étant de type s/(n\s) ou de type (s/n)\s grâce à la règle générale:

$$\text{(montée de type)} \quad \forall x \quad a \to x/(a\backslash x) \quad \text{et} \quad a \to (x/a)\backslash x$$

ceci donnant lieu aux Grammaires de Montague Flexibles de H. Hendriks (Hendriks, H. 1990). Par ajout de certaines règles, par exemple la règle de permutation, on obtient le calcul **LP**, dit de Lambek-van Benthem (van Benthem, J. 1986), qui perd la sensibilité à l'ordre. Par suppression d'autres règles, on obtient des systèmes plus faibles (**AB**, **F**, ...) (cf Moortgat, M. 1988). La meilleure manière d'étudier comparativement ces systèmes, en mettant par exemple en évidence les thèses admises par les uns ou par les autres, est de leur trouver une formalisation logique sous forme d'axiomes et de règles d'inférence. Deux types d'axiomatisation existent pour ce genre de systèmes: l'une selon le style *de Hilbert* et l'autre selon celui *de Gentzen*. Le premier a pour objets des formules et consiste à utiliser comme règle d'inférence le *modus ponens* (ou une règle semblable, par exemple ici la règle de transitivité: de X |– Y et de Y |– Z, déduire X |– Z) et à donner le reste du système sous la forme d'un ensemble fini ou récursif d'axiomes (cf encadré n°1) alors que le second a pour objets des relations de déduction entre formules (dites aussi *séquents*) et consiste à donner, outre le simple axiome d'identité, un ensemble fini de règles de passage de séquents à séquent.

encadré n°2

Formulation en séquents du calcul de Lambek L

– un axiome logique d'identité : $A \Rightarrow A$
– un *ensemble de règles logiques*
– la règle de coupure

• <u>Introduction à gauche de de / et de \ </u>:

$$\frac{\Theta \Rightarrow B \quad \Gamma, A, \Delta \Rightarrow C}{\Gamma, (A / B), \Theta, \Delta \Rightarrow C} \qquad\qquad \frac{\Theta \Rightarrow B \quad \Gamma, A, \Delta \Rightarrow C}{\Gamma, \Theta, (B \backslash A), \Delta \Rightarrow C}$$

• <u>Introduction à droite des implications linéaires orientées</u>:

$$\frac{\Gamma, B \Rightarrow A}{\Gamma \Rightarrow A / B} \qquad\qquad \frac{B, \Gamma \Rightarrow A}{\Gamma \Rightarrow B \backslash A}$$

• <u>Produit:</u>

$$\frac{\Gamma, A, B, \Delta \Rightarrow C}{\Gamma, A \bullet B, \Delta \Rightarrow C} \qquad\qquad \frac{\Gamma \Rightarrow A \quad \Delta \Rightarrow B}{\Gamma, \Delta \Rightarrow A \bullet B}$$

• <u>Coupure</u>:

$$\frac{\Theta \Rightarrow A \qquad \Gamma, A, \Gamma' \Rightarrow B}{\Gamma, \Theta, \Gamma' \Rightarrow B}$$

Exemple : *l'oiseau qu'on entend* donne une suite de types:
sn /n n (n \ n) / (s / sn) sn sn \ (s / sn)
dont la correction est établie par la preuve suivante (sans coupure):

$$\dfrac{sn \Rightarrow sn \qquad \dfrac{\dfrac{\dfrac{\dfrac{}{sn \Rightarrow sn}\,ax \quad \dfrac{}{s \Rightarrow s}\,ax}{s / sn \quad sn \Rightarrow s}\,[G /]}{s / sn \Rightarrow s / sn}\,[D /] \qquad \dfrac{\dfrac{}{n \Rightarrow n}\,ax \quad \dfrac{\dfrac{}{n \Rightarrow n}\,ax \quad \dfrac{}{sn \Rightarrow sn}\,ax}{sn / n \quad n \Rightarrow sn}\,[G /]}{sn / n \quad n \quad n \backslash n \Rightarrow sn}\,[G \backslash]}{sn / n \;\; n \;\; (n \backslash n) / (s / sn) \;\; s / sn \Rightarrow sn}\,[G /]}{sn / n \;\; n \;\; (n \backslash n) / (s / sn) \;\; sn \;\; sn \backslash (s / sn) \Rightarrow sn}\,[G \backslash]$$

Théorème d'élimination de la coupure (Hauptsatz) : **L** et **L**— {coupure} admettent le même ensemble de théorèmes.
Intérêt de la formulation séquentielle: décidabilité de la procédure de recherche de preuve (grâce à la *propriété de la sous-formule*: dans le système sans coupure, l'ensemble des sous formules des séquents prémisses est inclus dans l'ensemble des sous-formules du séquent conclusion)

En fait, dès 1958, Lambek donnait une formulation de son calcul en termes de séquents (cf encadré n°2). L'intérêt de la présentation séquentielle du calcul de Lambek est de plusieurs ordres: en premier lieu, il s'agit d'une présentation "finie", alors qu'on a pu montrer (Zielonka, W. 1981) qu'il n'existe pas d'axiomatisation finie du calcul de Lambek au sens hilbertien.
En second lieu, cette présentation met en relief la propriété d'*élimination de la règle de coupure*, sur quoi repose l'aspect dynamique du système, en troisième lieu enfin, cette présentation, à cause de la tripartition qu'elle opère entre les sortes de règles (règles d'identité, règles logiques, règles structurelles), met clairement en avant la spécificité du calcul, qui se trouve non pas dans les règles logiques comme on pourrait le croire (ce qui conduirait à penser que l'on ajoute à notre convenance tel ou tel opérateur), mais dans les règles structurelles. De fait, à la différence d'un calcul classique ou intuitionniste, le calcul de Lambek ne possède *aucune règle structurelle*.

2.3. Sous-structuralité et sensibilité aux ressources

Ainsi **L** et **LP** sont-ils des exemples de *logiques sous-structurelles* (cf K. Dosen & P. Schroeder-Heister, 1994). D'une façon plus générale, l'apport de tels systèmes est capital pour l'histoire de la logique. Avec eux en effet, on sort de la logique "abstraite" qui manipule des entités idéales (propositions) pour entrer dans le cadre de systèmes capables de gérer effectivement des ressources. Un exemple souvent donné par J.Y. Girard (cf en particulier Girard, 1995) concerne la chimie "sommaire". Une règle de réaction telle que :

(8) $2H^2 + O^2 \rightarrow 2H^2O$

peut "naturellement" prêter à une interprétation logique : on souhaite pouvoir traduire la flèche comme une implication et l'opérateur + comme une conjonction. Mais dans le cadre classique, $H^2 + H^2$ s'interprèterait comme un seul H^2 (idempotence du "et") et la flèche serait encore vraie si on ajoutait à l'antécédent une molécule quelconque, ce qui n'est pas le cas. Il est donc nécessaire d'avoir à la fois une implication sensible aux ressources et une conjonction en quelque sorte "cumulative" (c'est-à-dire non idempotente), ce que permettra la logique linéaire. Dans le domaine linguistique, on reconnaît de la même façon l'agrammaticalité de :

(9) **Pierre dévale*

aussi bien que de :

(10) **Qui Marie a-t-elle vu Pierre ?*

(9) viole un principe dit "de complétude" dans les grammaires LFG (Lexical-Functional Grammar) selon lequel la structure fonctionnelle d'une phrase doit contenir toutes les fonctions grammaticales gouvernables que son prédicat gouverne et (10) un principe dit "de cohérence" dans les mêmes grammaires, selon lequel toutes les fonctions grammaticales gouvernables doivent être gouvernées par le prédicat[8]. En l'occurrence, dans (10), si *Qui* occupe la

[8] Ces deux principes se retrouvant dans l'énoncé du θ-critère chomskyen.

position objet gouvernée par le prédicat associé à *vu*, *Pierre* ne peut pas l'occuper, et réciproquement, donc l'une des deux expressions est de trop. Un calcul gérant cette sorte de contrainte devra donc, à l'instar de la chimie "sommaire", tenir compte des ressources disponibles dans la phrase. Ainsi une façon de voir le type d'un verbe sera de le considérer comme une formule implicative :

(11) *dort* : sn $\Rightarrow$ s

(12) *voir* : sn $\Rightarrow$ (sn $\Rightarrow$ s)

Et par exemple :

(13) *Pierre a vu Marie*

est correcte parce que la déduction suivante l'est :

1. *Pierre* : sn	prémisse 1
2. *a vu* : sn $\Rightarrow$ (sn $\Rightarrow$ s)	prémisse 2
3. *Pierre a vu* : sn $\Rightarrow$ s	modus ponens 1, 2
4. *Marie* : sn	prémisse 3
5. *Pierre a vu Marie* : s	modus ponens 3, 4

Ceci est valide à condition que l'implication soit sensible aux ressources, c'est-à-dire, sur cet exemple, que toutes les prémisses soient utilisées, et chacune une et une fois seulement. Cela n'est pas sans rappeler des systèmes de déduction connus depuis les années soixante, comme *la logique pertinente* de Belnap et Anderson (Belnap, N. & Anderson, A. 1975). La logique pertinente avait pour contrainte d'utiliser toutes les prémisses au moins une fois. Autrement dit, seule la règle d'affaiblissement était supprimée. Cela ne permet pas de traduire la notion de complétude-LFG (car le même argument pourrait servir deux fois, comme si, dans **Pierre rase*, Pierre pouvait être implicitement compris à la fois comme sujet et comme objet).

2.4. La complétude du calcul de Lambek

Grâce notamment aux travaux de W. Buszkowski et de W. Zielonka, à Poznan, (Buszkowski, W. 1982, 1985, 1986, 1988, 1993; Zielonka, W. 1978, 1981, 1991, 1992) des résultats théoriques importants ont été démontrés, qui prouvent par exemple que le système de Lambek est complet du point de vue de son interprétation monoïdale (alors que tout sous-système strict est incomplet) (cf encadré n°3).

encadré n°3

L'interprétation monoïdale du calcul de Lambek

Soit W un monoïde et soit v une fonction de valuation, c'est-à-dire une application de **Tp** dans $\wp$(W) telle que:

$v(A/B) = \{x; \forall y, y \in v(B) \Rightarrow xy \in v(A)\}$
$v(B\backslash A) = \{y; \forall x, x \in v(B) \Rightarrow xy \in v(A)\}$
$v(A \bullet B) = \{z; \exists x, \exists y, x \in v(A) \wedge y \in v(B) \wedge z = xy\}$

Théorème de complétude monoïdale: $X \Rightarrow Y$ est un théorème de **L** si et seulement si v(X) est inclus dans v(Y) (en étendant v à des suites de types au moyen du produit: si $\Gamma = t_1, t_2, ..., t_n$, $v(\Gamma) = v(t_1 \bullet t_2 \bullet ... \bullet t_n)$).

De la sorte, en un certain sens, le calcul de Lambek apparait comme *maximal* dans une certaine classe de calculs. Mais il est insuffisant pour décrire les langues naturelles.

2.5. Les limitations des grammaires catégorielles classiques

L'inconvénient majeur des grammaires catégorielles classiques tient à ce qu'elles reposent sur une conception strictement concaténative de l'assemblage des mots d'une phrase. Ceci rend impossible l'expression dans ces formalismes des phénomènes de discontinuité (par exemple la négation *ne ... pas* en français, ou bien les verbes à particule séparable en anglais). On notera toutefois que les grammaires syntagmatiques classiques ne sont pas mieux armées face à ce genre de phénomènes (à moins d'admettre des arbres avec croisement de branches, ce qui n'est jamais très élégant!).
Les seuls constructeurs de types correctement fondés (c'est-à-dire admettant une représentation complète: avec règle d'introduction *et* règle d'élimination) étant le produit * et les deux slashes "/" et "\" avec les règles bien connues (cf. encadré n°1), il s'ensuit que les seules structures incomplètes que l'on peut construire sont celles qui sont en attente d'une catégorie à droite ou d'une catégorie à gauche, mais pas celles qui sont en attente d'une catégorie médiane. Un syntagme comme :

(14) *la demoiselle que j'ai rencontrée sur la plage*

n'est donc pas analysable (sauf à imaginer que l'on construise une entité verbale "rencontrer sur la plage", qui serait peu plausible) parce que la catégorie vide coindéxée à *la demoiselle* apparaît à l'intérieur du syntagme verbal et non à sa périphérie (*rencontrée* [e] *sur la plage* et non *rencontrée sur la plage* [e]). De même un argument ne saurait "enrober" son foncteur, comme cela devrait en principe être le cas pour certaines phrases contenant un quantificateur (cf. *les livres peuvent **tous** être lus*). Il n'est pas possible non plus de rendre compte des dépendances croisées (comme cela apparaît typiquement en néerlandais et dans certains dialectes suisse-allemand), ni des phénomènes d'extraction droite (*un livre est paru sur les grammaires catégorielles*).
Une autre limitation fondamentale concerne **l'ordre des mots**. Si **LP** admet tous les ordres possibles, en revanche **L** traite seulement des structures d'ordre total. Les deux éventualités sont peu réalistes: il existe peu de langues où l'ordre des mots soit complètement libre et peu de langues où il

soit complètement contraint. Il serait donc intéressant d'avoir un calcul traitant les structures d'ordre partiel (Lecomte, A. & Retoré, C. 1995, 1996).

2.6. Grammaires catégorielles multi-modales

Afin de tenter de remédier aux limitations du calcul de Lambek pur, la tradition initiée par van Benthem (van Benthem, J. 1986, 1990) et représentée par M. Hepple, G. Morrill ou M. Moortgat, introduit des modalités structurelles à titre de constructeurs de types supplémentaires (Hepple, M. 1990, Moortgat, M. 1996, Morrill, G. 1994). Ces modalités ont des règles d'introduction à gauche et à droite analogues à celles de la logique modale **S4**. Elles rappellent aussi les exponentielles ("!" et "?") de la logique linéaire (cf plus loin). Si par exemple, nous optons pour une modalité permutationnelle, c'est-à-dire qui confère au type qu'elle affecte la possibilité d'être permuté avec un type adjacent, alors les règles d'introduction seront:

$$\frac{\Gamma, A, \Gamma' \vdash B}{\Gamma, []A, \Gamma' \vdash B}\ []G \qquad\qquad \frac{[]\,\Gamma \vdash A}{[]\,\Gamma \vdash []A}\ []D$$

et les règles structurelles ajoutées seront:

$$\frac{\Gamma, []A, B, \Gamma' \vdash C}{\Gamma, B, []A, \Gamma' \vdash C} \qquad\qquad \frac{\Gamma, B, []A, \Gamma' \vdash C}{\Gamma, []A, B, \Gamma' \vdash C}$$

Une telle modalité permettra l'analyse de phrases avec extraction médiane, chose impossible dans le cadre du calcul de Lambek pur. (cf encadré n°4)[9]
Les systèmes obtenus ont d'autres propriétés de complétude, étudiées dans le cadre de l'approche définie par K. Dosen (Dosen, K. 1990). Il s'agit d'une complétude qu'on peut qualifier de "relationnelle". Le domaine d'interprétation est en effet fourni par un ensemble de mondes possibles W, sur lequel se trouvent définies des relations qui sont ternaires pour modéliser les constructeurs binaires, et qui sont binaires pour modéliser les constructeurs unaires (modalités). Ces relations sont lisibles en termes d'accessibilité à des ressources (cf Moortgat, M. 1994, Moortgat, M. & Kurtonina, N. 1994, Moortgat, M. 1996). Ainsi, si R^3 est une relation ternaire sur W, nous dirons que R^3xyz signifie que la ressource z est rendue accessible par le moyen des ressources x et y dans cet ordre (par exemple, le cas z = xy est un cas particulier de relation ternaire R^3xyz). Si R^2 est une relation binaire sur W, R^2xy se lira: la ressource y est accessible à partir de la ressource x. K. Dosen a montré que **L** était complet relativement à une interprétation relationnelle, c'est-à-dire relativement à un cadre $<W, R^3>$ et à une valuation v telle que:

$$v(A/B) = \{x;\ \forall y, z\ (Rxyz \wedge y \in v(B) \Rightarrow z \in v(A)\}$$

$$v(B\backslash A) = \{y;\ \forall x, z\ (Rxyz \wedge x \in v(B) \Rightarrow z \in v(A)\}$$

---

[9] On retrouve cette "modalité", exprimée comme une "exponentielle", dans la logique linéaire non commutative d'Abrusci (Abrusci, M. 1993, 1995). Elle est appelée "connecteur d'échange".

$$v(A \bullet B) = \{z;\ \exists x, \exists y, Rxyz \wedge x \in v(A) \wedge y \in v(B)\}$$

Les travaux de Moortgat, Moortgat & Kurtonina, Morrill etc. consistent à utiliser des modalités qui ont une interprétation sémantique dans un cadre $<W, R^3, R^2>$. Ces modalités permettent d'exprimer la notion de *ressource structurelle*, plus générale que la notion de ressource utilisée jusqu'à présent (cf §2.9. ci-dessous).

encadré n°4

Analyse d'une phrase avec extraction médiane

<u>Remarque</u>: nous donnons ici, par souci de meilleure lisibilité, la version "déduction naturelle" de la déduction. On sait en effet que le calcul des séquents intuitionniste (dont le calcul de Lambek est une variété) conduit à une notion de preuve unifiant les déductions possibles par le biais de la théorie de la déduction naturelle. Dans celle-ci, toute règle d'introduction à gauche d'un connecteur se transforme en une règle d'introduction et toute règle d'introduction à droite en une règle d'élimination. L'axiome et la règle de coupure disparaissent car ils sont implicites dans la manière même de présenter la preuve. Le style "déduction naturelle" peut donner lieu lui-même à deux formes de présentation: à la Prawitz ou à la Fitch (cf Morrill, 1994). Dans la première, la preuve est représentée comme un arbre, dans la seconde comme une suite verticale de formules (voir aussi Grize, 1973). Nous utilisons ci-dessous la première de ces représentations.

```
que                    Jean                 identifie            rapidement
                                                          (n\s)\(n\s)     [[p]n]^i
                                                          ----------------------[p]
                                                          [p]n    (n\s)\(n\s)
                                                          -----[p]e
                                         (n\s)/n          n
                                         ----------------------------/e
                                                n\s
                                                ---------------------------------------\e
                  n                                       n\s
                  ---------------------------------------------------------\e
                                         s
                                       --------/i^i
(n\n)/(s/[p]n)                                s/[p]n
---------------------------------------------------------/e
          n\n
```

Commentaire: les hypothèses sont marquées entre crochets et repérées par un indice. Lorsque la règle d'introduction correspondante est appliquée, on dit que l'hypothèse correspondante est *déchargée*. Ceci est indiqué par le même indice que celui qui affecte l'hypothèse déchargée.
La modalité permutationnelle a ici permis de déplacer l'hypothèse depuis la place postérieure à l'adverbe (position périphérique requise dans le cadre du calcul **L**) jusqu'à la place immédiatement après le verbe (position requise pour que le verbe consomme son complément), mais en retour le syntagme *Jean identifie rapidement* est non pas de type s/n, mais de type s/[p]n, ce qui exige du complémenteur *que* qu'il ait ce type en position d'argument.

2.7. Le problème des fausses ambiguites et la distinction entre *preuve* et *déduction*

L'un des problèmes majeurs auxquels se sont confrontés les utilisateurs des grammaires catégorielles est celui dit "des fausses ambigüités" (*spurious ambiguities*). Une phrase non ambiguë peut avoir plusieurs analyses. Ces analyses correspondent en fait à des déductions différentes dans le système catégoriel employé, mais qui correspondent pourtant à la même "preuve" car elles ne diffèrent entre elles que par des traits inessentiels, comme l'ordre d'application des règles. Ce problème n'est pas propre à la linguistique, on le retrouve aussi en logique. C'est justement un cas où des problèmes linguistiques peuvent être traités en référence à des problèmes logico-mathématiques plus généraux. Evidemment, pour juger de l'équivalence de plusieurs déductions, il faut une *sémantique des preuves*.

encadré n°5

Le problème des fausses ambiguités dans les systèmes catégoriels, et la correspondance de Curry-Howard

La correspondance de Curry-Howard établit un isomorphisme entre la déduction naturelle intuitionniste et le λ-calcul typé, elle existe entre les formules et les types, les déductions et les λ-termes. Une hypothèse active dans une déduction correspond à la notion de variable libre, une hypothèse déchargée à une variable liée, la règle d'introduction de l'implication correspond à l'*abstraction* et la règle d'élimination à l'*application*. Buszkowski et van Benthem (1986) ont étendu cet isomorphisme au calcul de Lambek en ajoutant au λ-calcul des opérateurs λ directionnels.
L'utilisation de la correspondance de Curry-Howard en linguistique est un moyen puissant pour construire des représentations sémantiques *à la Montague* sans spécification *ad hoc* de règles sémantiques associées à des règles syntaxiques (comme c'est le cas dans les grammaires de Montague ou bien dans le modèle des grammaires syntagmatiques généralisées de Gazdar et al. (Gazdar et al. 1985). Les représentations sémantiques peuvent en effet être obtenues au moyen des décorations suivantes:

axiome: $x: A \Rightarrow x: A$

(G /): $\dfrac{\Theta \Rightarrow x: B \qquad \Gamma, ux: A, \Lambda \Rightarrow C}{\Gamma, u: A/B, \Theta, \Lambda \Rightarrow C}$ (D /): $\dfrac{\Theta, x: B \Rightarrow u: A}{\Theta \Rightarrow \lambda x.\, u: A/B}$

(G \): $\dfrac{\Theta \Rightarrow x: B \qquad \Gamma, ux: A, \Lambda \Rightarrow C}{\Gamma, \Theta, u: B\backslash A, \Lambda \Rightarrow C}$ (D \): $\dfrac{x: B, \Theta \Rightarrow u: A}{\Theta \Rightarrow \lambda x.\, u: B\backslash A}$

(G •): $\dfrac{\Gamma, \pi_0(u): A, \pi_1(u): B, \Lambda \Rightarrow C}{\Gamma, u: A \bullet B, \Lambda \Rightarrow C}$ (D •): $\dfrac{\Delta \Rightarrow u: A \qquad \Theta \Rightarrow v: B}{\Delta, \Theta \Rightarrow (u, v): A \bullet B}$

[coupure]: $\dfrac{\Theta \Rightarrow u : A \qquad \Delta, u : A, \Gamma \Rightarrow C}{\Delta, \Theta, \Gamma \Rightarrow C}$

Exemple de construction d'une représentation sémantique:

Pierre lit:

$$\dfrac{\text{Pierre}_{sn} \Rightarrow \text{Pierre}_{sn} \qquad \dfrac{\dfrac{x_{sn} \Rightarrow x_{sn} \qquad \text{lit(Pierre)(x)}_s \Rightarrow \text{lit(Pierre)(x)}_s}{\text{lit(Pierre)}_{s/sn}\ x_{sn} \Rightarrow \text{lit(Pierre)(x)}_s}[G/]}{\text{lit(Pierre)}_{s/sn} \Rightarrow \lambda x.(\text{lit(Pierre)})(x)_{s/sn}}[D/]}{\text{Pierre}_{sn}\ \text{lit}_{sn\backslash s/sn} \Rightarrow \lambda x.(\text{lit(Pierre)})(x)_{s/sn}}[G\backslash]$$

Le problème des fausses ambiguïtés apparaît chaque fois qu'il y a indétermination sur la règle à choisir en premier au cours d'une déduction conduite à partir du bas (c'est-à-dire guidée par la conclusion) et que plusieurs déductions conduisant au même λ-terme sont effectivement possibles selon qu'on choisit d'appliquer l'une ou l'autre en premier.

C'est en cela que la logique intuitionniste manifeste sa supériorité sur la logique classique, à cause de la fameuse correspondance de Curry-Howard (cf encadré n°5). C'est aussi cette question, résumable en la différence existant entre la notion de *déduction* et celle de *preuve*, qui conduit à la démarche "déduction naturelle" (cf encadré n°4). Toutefois, cette démarche (comme d'ailleurs la sémantique induite par Curry-Howard) est valide principalement dans le cadre intuitionniste (caractérisé par le caractère unique de la conclusion, par opposition aux séquents classiques qui admettent en partie droite plusieurs formules, implicitement connectées par *ou*). La nécessité d'un concept généralisant la notion de preuve en déduction naturelle a conduit Girard (Girard, J.Y.1987) à inventer la notion de *réseau de preuves* pour la logique linéaire. Dans le calcul de Lambek, deux voies essentielles ont été explorées pour résoudre le problème des fausses ambiguïtés: celle de la recherche de "formes normales de preuves" (Hendriks, H. 1993) qui sont obtenues en choisissant des ordres canoniques d'application des règles, et celle des réseaux de preuves (Roorda, D. 1992, Lecomte, A. 1992, 1993) (voir §4.3 ci-dessous).

2.8. La capacité générative des grammaires catégorielles

Un problème demeurait pendant depuis le début des années soixante: celui de la comparaison des grammaires catégorielles et des grammaires hors-contexte du point de vue de leur capacité générative. Longtemps après que, vers la même époque, Gaifman et Shamir aient prouvé l'équivalence dans le cas des grammaires catégorielles les plus simples (dites d'Ajduckiewicz-Bar-Hillel) (Bar-Hillel, Y. Gaifman, C. & Shamir, E. 1960), M. Pentus devait la démontrer pour les grammaires de Lambek (Pentus, M. 1993). Ce résultat fondamental repose sur un *théorème d'interpolation* démontré dans la thèse de D. Roorda (Roorda, D. 1991). Le fait que les grammaires catégorielles soient équivalentes à des grammaires hors-contexte a été avancé comme raison d'un certain désintérêt pour elles. C'est oublier que la notion d'équivalence faible des grammaires (le fait qu'elles engendrent le même langage) est de peu d'usage en linguistique[10].

2.9. Le problème des constituants, la prosodie et le calcul non associatif

Une autre question, qui est d'ailleurs corrélée avec celle des fausses ambiguités, concerne *l'indétermination de la notion de constituant* dans les grammaires catégorielles. Buszkowski (Buszkowski, W. 1988), a démontré la "complétude structurelle" du calcul de Lambek, autrement dit le fait que si une réduction d'une suite de types à un type primitif est possible selon un certain regroupement parenthétique deux à deux des sous-suites de types, alors **tout** regroupement parenthétique de ce genre conduit encore à une réduction. Si pour une phrase donnée, chaque étape de réduction consistant en l'application d'une règle de réduction : A B $\rightarrow$ C, où A, B et C sont des types, est interprétée comme l'application d'une règle syntagmatique C $\rightarrow$ A B, on voit alors qu'on obtient autant d'arbres syntaxiques qu'il y a de

---

10 Même si elle a son importance d'un point de vue informatique. Ainsi, pour une grammaire de Lambek donnée, est-on assuré de pouvoir trouver un algorithme polynômial permettant de l'appliquer, après sa transformation en grammaire hors-contexte. Toutefois, cette possibilité – conséquence triviale du théorème de Pentus – est de peu d'intérêt pratique (on n'a encore jamais construit d'analyseur catégoriel sur ce principe) et ne doit en aucun cas être confondue avec la question de la polynômialité du calcul de Lambek, qui demeure ouverte.

regroupements deux à deux des sous-expressions de cette phrase. Autrement dit, **toutes les décompositions en constituants sont admissibles** ! Ce résultat peut paraître fâcheux à certains égards puisqu'il détruit totalement la notion de constituant syntaxique. Il possède pourtant quelques avantages, notamment, comme déjà signalé au §1.3, celui de permettre l'analyse de structures coordonnées particulières, présentant un phénomène d'ellipse, comme:

(15) *Pierre aime et Marie déteste le théatre*

où se trouvent coordonnées deux sous-expressions qui, dans une grammaire syntagmatique usuelle, ne sont pas des constituants : *Pierre aime* et *Marie déteste*. Cette souplesse de regroupement peut aussi être utilisée (Moortgat, M. & Morrill, G. 1991, Oehrle, D. 1991) pour rendre compte de phénomènes prosodiques. On sait en effet (Ladd, R. 1992) que les notions de constituant prosodique et de constituant syntaxique ne coïncident pas. Alors que la décomposition syntaxique d'une phrase comme:

(16) *Pierre regarde les navires*

est:

(16a) (*Pierre* (*regarde* (*les navires*))),

sa décomposition prosodique peut être distincte et se conformer plutôt à :

(16b) (*Pierre regarde*) (*les navires*)

Un modèle de description linguistique *intégrant la dimension de la parole* devrait donc expliquer comment une suite telle que (16b) peut être reconnue et donner lieu ensuite à une *réanalyse* conforme à (16a). Le calcul de Lambek se prête évidemment à cette entreprise puisqu'il admet toutes les parenthétisations. Cette insensibilité à la notion de constituant vient de ce qu'il est associatif, mais il est possible de construire un système qui ne l'est pas, que nous appellerons **NL** (calcul de Lambek non associatif). La possibilité néanmoins de décrire des structures prosodiques qui s'éloignent des structures syntaxiques, dans l'esprit de l'exemple (16) ci-dessus, proviendra de l'utilisation d'une modalité structurelle d'associativité autorisant une transgression locale de la restriction structurelle (Moortgat & Morrill, 1991). Cette gestion de ressource structurelle (la notion de constituant) est un exemple d'introduction de modalité au sens du §2.6.

2.10. Systèmes hybrides

Un nouveau raffinement conduit à distinguer, à partir de **NL**, *plusieurs* opérations de combinaison d'informations dans une structure, par exemple $+_D$ et $+_G$, indiquant que dans chaque construction d'arbre binaire, l'une des deux branches (resp. la droite ou la gauche) est marquée comme *tête*. D'un point de vue linguistique, ces éléments d'information sont capitaux. Si on se réfère par exemple à l'état récent de la théorie chomskyenne (Chomsky, N. 1996), on trouve ici le moyen de représenter l'opération de fusion (*Merge*) de deux objets syntaxiques en marquant celui des deux qui, étant la tête, se projette au niveau supérieur. Du point de vue du calcul logique, cela revient à introduire deux produits (Oehrle, D. & Zhang, S. 1989, Moortgat, M. & Oehrle, D. 1994). Soit A et B deux types qui se suivent, on peut avoir:

(17) A * B avec A: tête et B: non-tête

ou bien on peut avoir:

(18) A * B avec A: non-tête et B: tête

Autrement dit, on peut faire éclater le produit "*" en deux instances: l'une, que nous noterons o qui met la tête à gauche et l'autre que nous noterons • qui met la tête à droite. Par exemple, si n est une tête de sn, et si det = sn/n est le type du déterminant, nous aurons pour un sn comme *un ballet* : sn/n • n, et pour *ont créé un nouveau ballet* :

(19) (sn\s)/sn o (sn/n • (n/n • n))

Bien sûr, ces modalités de produits doivent être déduites des signes eux-mêmes afin de rester dans le cadre lexicaliste. Pour cela, on observe que, par construction d'adjoint, on a deux couples (/, \):

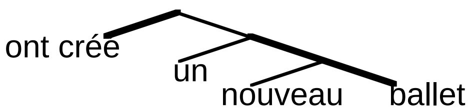
– l'un résulte de o, et nous le noterons : ($/_g$, $\backslash_g$),
– l'autre résulte de • et nous le noterons : ($/_d$, $\backslash_d$)

de sorte que le verbe (ici : *ont créé*) reçoive le type: $(sn\backslash_d s)/_g sn$, le déterminant: $sn/_d n$, et le modifieur gauche: $n/_d n$. On obtient une analyse qui, comme précédemment, "se projette" sur le syntagme analysé sous la forme d'une parenthétisation. Mais cette fois, les paires de parenthèses sont typées, les unes correspondent au produit o et les autres au produit •. On obtient:

(20) (*ont créé* (*un* (*nouveau ballet* $)^d)^d)^g$

c'est-à-dire une représentation qui indique, outre la constituance, l'emplacement de la tête dans chaque syntagme. On peut représenter cette structure par un arbre (cf fig. (21)), où l'indication g ou d se traduit par un trait plus appuyé à gauche ou à droite et indique la direction en chaque noeud où il faut aller chercher la tête.

(21)



Un tel système, noté **DNL**, est utilisé par H. Hendriks pour inclure les phénomènes d'énonciation dans les grammaires catégorielles (Hendriks, H. 1994).

2.11. Les problèmes de la discontinuité ou comment on en vient à des logiques incomplètes

Le calcul de Lambek pur est incapable de rendre compte de phénomènes de discontinuité (cf ci-dessous, §4.1.) De nombreux travaux ont donc tenté d'enrichir ce calcul au moyen d'opérateurs de discontinuité, autorisant l'infixation ou le *head wrapping*. (cf Moortgat, M. 1991, Versmissen, 1991, Morrill, 1992, Solias, 1992, Morrill & Solias, 1993). Un exemple de problème où surgit cette question est fourni par l'interprétation de syntagmes nominaux quantifiés, en position infixe mais qui ont néanmoins pour champ l'intégralité de la phrase comme dans :

(22) *une page de chaque livre est tamponnée*,

à traduire sous la forme logique:

(23) $\forall x$ (livre(x) $\Rightarrow \exists y$ page(y, x) $\wedge$ tamponnée(y))

Moortgat, 1988 introduit un "lieur" $\Uparrow$ auquel est associée la règle suivante d'introduction à gauche:

$$\frac{\Delta_1, x : A, \Delta_2 \rightarrow \beta : B \qquad\qquad \Gamma_1, y : B, \Gamma_2 \rightarrow \delta : D}{\Gamma_1, \Delta_1, z : A \Uparrow B\ , \Delta_2, \Gamma_2 \rightarrow \delta[y \text{ <-- } (z(\lambda x.\beta))] : D}\ [\Uparrow G]$$

Si on essaie d'interpréter cette règle, on voit que l'argument B au lieu d'être périphérique (comme les règles similaires concernant / et \) est considéré comme "entourant" la chaîne de type A $\Uparrow$ B. Ainsi le syntagme quantifié peut-il bien être vu comme un foncteur qui s'applique, non à un argument situé à gauche ou à droite mais autour de lui. Sémantiquement, z s'applique à l'abstraction de x sur la fonction β. Ce lieur généralise les types montés: on peut vérifier en effet que B/(A\B) ou (B/A)\B sont des cas particuliers de A $\Uparrow$ B.
Malheureusement, ce connecteur n'admet pas de règle d'introduction à droite: cela signifie qu'on sait *utiliser* un signe de type A$\Uparrow$B, mais qu'on ne sait pas le *produire*. Dans un même ordre d'idée, Moortgat, 1988 introduit un *extracteur*, noté $\uparrow$, qui, lui, possède bien une règle d'introduction à droite mais pas de règle d'introduction à gauche, ainsi qu'un *infixeur*, noté $\downarrow$ qui ne possède qu'une règle d'introduction à gauche.
L'ajout de tels opérateurs conduit donc à des logiques incomplètes. Les raisons de cette incomplétude sont les suivantes: l'antécédent d'un séquent est une suite ordonnée, donc juxtaposée de formules, or on ne peut pas exprimer en termes de juxtaposition ce qui relève de l'imbrication ou de l'extraction. Ainsi, peut-on bien donner une règle d'introduction à droite de $\uparrow$: on sait qu'on a extrait une partie interne du signe, mais le formalisme ne permet pas de garder la mémoire de son ancienne localisation, d'où l'impossibilité de formuler une règle d'utilisation. Inversement, on sait très bien *utiliser* un signe A$\downarrow$B: il suffit de l'entourer des deux composantes d'un signe donnant un B. En revanche, il n'est pas possible d'exprimer en termes de juxtaposition dans l'antécédent le fait qu'un argument de type B "entoure" le type fonctoriel A$\downarrow$B. Morrill, 1992b complexifie encore ces notions afin de rendre compte notamment des phénomènes de *pied-piping*. Tous les connecteurs que nous définirons désormais, sortant du cadre des implications orientées, souffriront d'une absence de règle d'introduction soit à droite soit à gauche. A moins de faire référence explicitement à leur définition en termes de sémantique monoïdale, ce qui suppose que celle-ci soit expressément

mentionnée dans les types, ce qui conduit aux Systèmes Etiquetés de D. Gabbay.

2.12. Systèmes étiquetés : la sémantique dans la syntaxe

Une manière de traiter des logiques sous-structurelles revient à utiliser les interprétations sémantiques mentionnées ci-dessus et à faire intervenir directement à l'intérieur des types les objets des structures algébriques qui les interprètent. On dit en ce cas que les éléments de la structure algébriques sont des *étiquettes* pour les types qu'ils accompagnent et les systèmes obtenus sont appelés Systèmes de Déduction Etiquetés (*Labelled Deductive Systems*) (Gabbay, D. 1991, 1993). Chaque objet se présente donc dans cette optique comme un couple $x : X$, où X est un type et x une étiquette. La façon de gérer les formules X dépend alors de la structure d'où proviennent les x. La dimension "type" donne le contenu "logique", la dimension "étiquette" donne le contenu "structurel". Cette approche est utilisée dans ce numéro par R. Kempson pour la description des phénomènes de *crossover*.
Elle est également à la base, comme suggéré au § précédent, de nombreux travaux sur la discontinuité (en particulier Morrill, G. & Solias, T. 1993, Solias, T. 1993) dont on trouvera un exemple dans l'article de Glyn Morrill de ce numéro. L'astuce consiste désormais à étiqueter les types par les objets appropriés. Il est clair que si nous continuons d'étiqueter les types par des chaînes, nous resterons limités au même cadre concaténatif qui est à l'origine de l'incomplétude de la logique des constructeurs de types discontinus de Moortgat. C'est pourquoi Solias (Solias, T. 1992, Solias, T. 1993, Morrill, G. et Solias, T. 1993) propose de mélanger des *chaînes* et des *couples*. Les couples sont, à la différence des chaînes, soumis à une opération binaire non associative:

$$\langle\langle a, b\rangle , c\rangle \neq \langle a, \langle b, c\rangle\rangle$$

La notion de couple permet de marquer un point d'insertion. Par exemple, un verbe anglais à particule séparable tel que *ring up* pourra se représenter par le couple: <*ring*, *up*> ou bien la négation courante en français pourra se représenter par: <*ne*, *pas*>. Si nous avons alors un type étiqueté:

$$\langle \textit{ring}, \textit{up}\rangle : \mathrm{np}\backslash(\mathrm{s}\uparrow\mathrm{np})$$

nous saurons l'utiliser car l'étiquette enregistre de manière précise l'endroit où doit s'infixer le np objet.

3. LA LOGIQUE LINEAIRE

3.1. La logique linéaire comme logique constructive

Les tentatives précédentes d'enrichissement des systèmes catégoriels se résument en :
(1) l'introduction de nouveaux constructeurs tels que extracteur ou infixeur,
(2) l'introduction de modalités, comme la modalité permutationnelle ou la modalité associative,
(3) l'introduction de nouvelles variétés de calcul par suppression de telle ou telle règle structurelle ou par hybridation de plusieurs systèmes,
(4) l'insertion d'une composante de "sémantique algébrique" dans les types logiques eux-mêmes.
Elles sont souvent critiquables d'un point de vue théorique. On a vu ainsi que (1) encourait le risque d'une incomplétude du système de règles, (3) présente l'inconvénient de créer des systèmes *ad hoc* qui, de ce fait, n'auraient de

logiques que le nom, (4) marque un aveu d'impuissance : l'obligation d'intégrer une partie de sémantique algébrique dans le système de types montre que ce dernier ne se suffit pas à lui-même. (2) marque l'intérêt de dépasser un cadre *sous*-structurel, donc pauvre sur le plan de l'expression, vers un cadre au contraire plus riche en ce qu'il permettrait un contrôle souple des ressources. Une telle perspective sera validée si elle se fonde sur une sémantique ayant un niveau de généralité plus élevé que le seul type de problème auquel on veut l'appliquer. C'est sur ce point précis que la *logique linéaire,* issue de travaux sur la sémantique dénotationnelle des programmes, peut apporter des réponses appropriées.

En sémantique des preuves (Heyting, A. 1956) une preuve de B à partir de A_1, A_2, .., A_n est interprétée comme une fonction de $A_1 \times A_2 \times ... \times A_n$ vers B. Si l'on veut que le maximum de ces fonctions soient, en retour, associées à des preuves, il faut restreindre les ensembles A_1, ..., A_n, B à des espaces particuliers et les fonctions à des morphismes particuliers. Ainsi sont apparus les *espaces de cohérence*. Tous les connecteurs de la logique linéaire ont une interprétation au moyen de ces espaces. Dans un premier temps (voir pour plus de détails C. Retoré dans ce numéro), on obtient un système dont les connecteurs sont : --o (**implication linéaire**), $\otimes$ (**conjonction multiplicative**), & (**conjonction additive**) et $\oplus$ (**disjonction additive**). Il correspond à la logique linéaire intuitionniste où tous les séquents ont effectivement la forme de fonctions (A_1, A_2, ..., A_n |-- B, c'est-à-dire avec une seule formule en partie droite). Mais il y a la possibilité d'un connecteur supplémentaire, pour la **disjonction multiplicative**, noté $\wp$. Ce connecteur a le même usage que le $\vee$ de la logique classique dans la présentation séquentielle de celle-ci : si, en effet, un séquent classique A_1, A_2, ..., A_n |-- B_1, B_2, ..., B_p s'interprète comme une tautologie $(A_1 \wedge A_2 ... \wedge A_n) \Rightarrow (B_1 \vee B_2 \vee ... \vee B_p)$, autrement dit si la virgule en partie droite s'interprète comme un "$\vee$", un séquent linéaire du même genre s'interprètera, quant à lui, comme une implication linéaire $(A_1 \otimes A_2 ... \otimes A_n)$ --o $(B_1 \wp B_2 \wp ... \wp B_p)$. On obtient donc l'analogue de la logique classique (du point de vue de la symétrie des séquents), tout en gardant la propriété fondamentale de constructivité de la logique intuitionniste. L'analogie avec la logique classique est notable également dans l'involutivité de la négation, dite **négation linéaire** (notée: $( )^{\perp}$), qu'on peut définir par des règles (cf Retoré dans ce numéro) telles que, changeant de côté dans un séquent bilatéral, une formule se transforme en sa négation.

3.2. Les exponentielles

Dans la sémantique des espaces de cohérence, l'implication classique $\Rightarrow$ et l'implication linéaire ---o s'interprètent comme des genres particuliers de fonctions (la première dite *stable* et la seconde dite *linéaire*) entre espaces de cohérence. Il est également possible de construire, à partir d'un espace de cohérence A, un nouvel espace !A, de telle sorte que l'ensemble des fonctions stables de A dans B soit identique à l'ensemble des fonctions linéaires de !A dans B. Autrement dit, l'opérateur unaire ! fonctionne comme une sorte de *linéarisation* de l'espace. Traduit en termes logiques, ceci donne:

$$(24) \quad A \Rightarrow B \qquad \equiv \qquad !A \text{ ---o } B$$

Autrement dit, la logique linéaire permet de décomposer l'implication classique en deux connecteurs plus primitifs: ! et ---o. Le connecteur unaire ! est désigné comme une exponentielle. Il s'avère alors qu'une formule !A se comporte exactement comme une formule classique, autrement dit, elle peut, à la différence des autres, être affaiblie et contractée.
Ajoutons d'autre part que la logique linéaire classique oeuvrant avec des séquents symétriques, on observe un phénomène général de dualité via l'opérateur de négation. ! (appelé aussi: **bien sûr**) permet donc d'introduire son dual: ? (appelé aussi: **pourquoi pas?**). On a:

$$(25) \quad (!A)^{\perp} \equiv\ ?(A^{\perp}) \quad \text{et} \quad (?A)^{\perp} \equiv\ !(A^{\perp})$$

L'intérêt majeur des exponentielles est de permettre l'expression des logiques classique et intuitionniste à l'intérieur même de la logique linéaire. Autrement dit, loin de fournir un système plus pauvre que les logiques classique et intuitionniste, ce que le qualificatif de "sous-structurel" permet de croire, la logique linéaire fournit en fait un système plus riche parce que permettant le contrôle de l'usage des ressources via les exponentielles.

3.3. Interprétation computationnelle

Asperti (Asperti, A. 1991) a montré que les connecteurs de la logique linéaire avaient une interprétation informatique en termes de séquentialisation et de parallélisation de processus. $A \otimes B$ représente alors le fait d'accomplir deux processus A et B à la suite l'un de l'autre mais dans un ordre indéterminé, A&B est associé au non-déterminisme interne : il est possible de choisir entre effectuer A ou effectuer B, $A \oplus B$ au non-déterminisme externe : le choix entre A et B a été fait hors de l'observateur, celui-ci sait que c'est A ou B mais ne sait pas lequel (voir applications linguistiques de ces connecteurs au §4.2 ci-dessous). $A \wp B$ enfin représente la parallélisation des deux processus A et B. Quant à la négation, elle exprime la synchronisation : un processus A, pour s'accomplir, doit se synchroniser avec son dual $A^{\perp}$.

3.4. Réseaux de preuves

Un autre apport fondamental de la logique linéaire à la théorie de la démonstration est le concept de réseau de preuves, que nous avons déjà mentionné au §2.8 ci-dessus. C. Retoré, dans ce numéro, revient abondamment sur ce concept. Disons ici seulement que par rapport aux multiples déductions possibles d'un même théorème, le réseau représente l'*essence* de la preuve. Considérons par exemple le séquent unilatéral suivant, valide pour la logique linéaire multiplicative :

$$(26) \quad \vdash A^{\perp} \wp B^{\perp}, (A \otimes B) \otimes C, C^{\perp}$$

Ce séquent possède (au moins) deux déductions différentes, reproduites ci-après.

$\vdash A, A^{\perp} \qquad \vdash B, B^{\perp}$

$\vdash A\otimes B, A^{\perp}, B^{\perp} \qquad \vdash C, C^{\perp}$

$\vdash (A\otimes B)\otimes C, A^{\perp}, B^{\perp}, C^{\perp}$

$\vdash A^{\perp}, B^{\perp}, (A\otimes B)\otimes C, C^{\perp}$

$\vdash A^{\perp}\wp B^{\perp}, (A\otimes B)\otimes C, C^{\perp}$

$\vdash A, A^{\perp} \qquad \vdash B, B^{\perp}$

$\vdash A\otimes B, A^{\perp}, B^{\perp}$

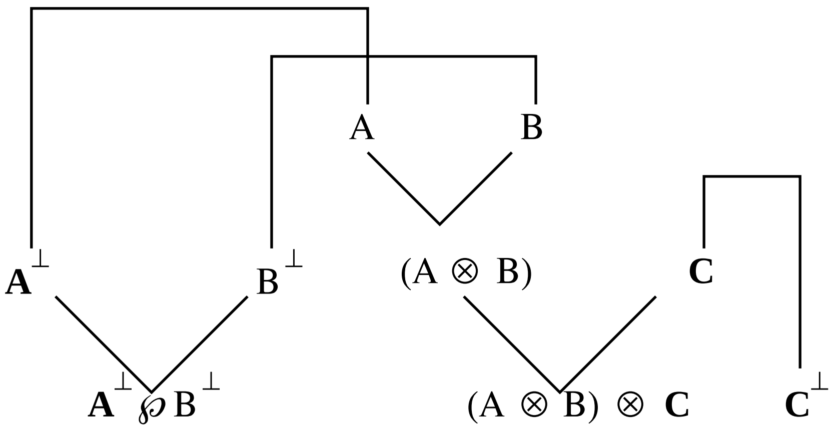
$\vdash A^{\perp}, B^{\perp}, A\otimes B$

$\vdash A^{\perp}\wp B^{\perp}, A\otimes B$

$\vdash A\otimes B, A^{\perp}\wp B^{\perp} \qquad \vdash C, C^{\perp}$

$\vdash A^{\perp}\wp B^{\perp}, (A\otimes B)\otimes C, C^{\perp}$

Ces deux déductions diffèrent par l'ordre d'application des règles. Par exemple, dans la première, la règle P de permutation est appliquée avant la règle du tenseur (en partant du bas, c'est-à-dire de la conclusion, et en remontant vers les axiomes), alors que dans la deuxième, la règle du tenseur, qui permet d'isoler l'axiome $\vdash C, C^{\perp}$ est appliquée avant la règle de permutation. Une telle présentation de la déduction contient beaucoup de redondance. En particulier, les contextes (c'est-à-dire les formules non sélectionnées par l'application d'une règle) sont recopiés à chaque pas. L'information vraiment pertinente est celle qui apparaît lorsqu'une formule est décomposée. Or, si nous gommons les instances de formules répétées inutilement et si nous traçons des liens entre une formule et ses sous-formules au moment où une règle s'applique, nous obtenons pour les deux déductions ci-dessus un même "réseau", à savoir:



C'est ce réseau qui constitue l'*essence de la preuve* contenue dans les deux déductions.
Ici, nous déduisons un réseau d'une déduction. Il peut être aussi intéressant de construire directement un tel réseau, *sans passer par une déduction*. On écrit alors mécaniquement pour chaque formule son arbre de décomposition en sous-formules, puis, une fois atteint le niveau des atomes, on relie les instances positive et négative d'un même atome par un lien dit "lien axiome". On obtient alors une "structure de preuve". Néanmoins toute structure de preuve n'est pas *un réseau de preuves*. Par exemple, on peut obtenir une structure de preuve à partir du séquent: $\vdash A^{\perp}\otimes B^{\perp}, A\otimes B$, qui n'est pourtant pas démontrable. Il est alors nécessaire d'introduire certains critères. Les premiers critères parus (Girard, J.Y. 1987) s'exprimaient en termes de "voyages". Un voyage dans un réseau consiste dans le déplacement imaginaire d'un jeton conformément à des instructions précises associées à

chaque type de lien (on appelle lien l'ensemble de deux arêtes résultant de la décomposition d'une formule à un pas de la déduction). La *condition du long voyage* exprimait que le jeton devait obligatoirement passer par tous les noeuds du réseau (dans les deux sens, une fois en montant, une fois en descendant). D'autres critères, plus géométriques, ont été introduits par la suite.

4. LOGIQUE LINEAIRE ET LINGUISTIQUE

4.1. Involutivité de la négation et constituants manquants

L'involutivité de la négation permet de représenter simplement le fait que la demande d'un constituant dans une phrase puisse être satisfaite, en l'absence de ce constituant, par un autre constituant, qui contient, lui, la demande d'une telle demande. Si en effet $A^{\perp}$ représente la demande de A, alors on a $\vdash A, A^{\perp}$ mais aussi $\vdash A^{\perp\perp}, A^{\perp}$. Par exemple un syntagme comme :

(27) *dont je connais le titre*

est bien formé parce que le relatif *dont* contient la demande de la demande d'un modifieur nominal droit, alors que la phrase *je connais le titre* contient une telle demande d'un modifieur droit.

4.2. Les additifs et les problèmes de sur-spécification

Comme le montrent Johnson et Bayer (Johnson, M. & Bayer, S. 1995), les grammaires catégorielles permettent de formuler une théorie de l'accord faisant des prédictions qui ne sont pas toujours faites par les grammaires basées sur l'unification. Ils reprennent pour celà des exemples de l'allemand cités par Pullum et Zwicky (1986) et Ingria (1990), qui montrent que la conjonction *findet und hilft* ne peut prendre ni un complément purement accusatif ni un complément purement datif, mais accepte un complément comme le SN *Frauen*, qui peut apparaître dans les deux contextes : accusatif et datif.

(28) a. **Er findet und hilft Männer*
b. **Er findet und hilft Kindern*
c. *Er findet und hilft Frauen*

La stratégie qu'autorisent ici les grammaires catégorielles enrichies au moyen de connecteurs pour la disjonction et la conjonction est de donner à *Frauen* une catégorie "sur-spécifiée" : $\mathtt{sn}\wedge\mathtt{acc}\wedge\mathtt{dat}$. On montre alors par une déduction que la coordination *findet und hilft* reçoit la catégorie $\mathtt{sv}/\mathtt{sn}\wedge\mathtt{acc}\wedge\mathtt{dat}$, ce qui permet de vérifier la correction de (32c). Le problème qui apparaît ici est que, comme le signalent les auteurs eux-mêmes, une catégorie "sur-spécifiée" est... une catégorie incohérente, puisque les atomes $\mathtt{acc}$ et $\mathtt{dat}$ s'excluant l'un l'autre, on ne saurait jamais rendre vraie la conjonction $\mathtt{dat}\wedge\mathtt{acc}$. La solution de cette incohérence apparente réside dans le fait qu'on ne peut lire une telle conjonction dans le cadre de la logique classique : "$\wedge$" n'est pas ici la conjonction ordinaire, mais l'opérateur de choix interne "&", et une expression comme acc&dat assignée à *Frauen* dénote le fait que *Frauen* nous donne le choix entre les deux cas. Quant à l'expression $\mathtt{sn}\wedge\mathtt{acc}\wedge\mathtt{dat}$, il faut y voir deux instances distinctes de la conjonction. Si la seconde est additive, la première est multiplicative, puisqu'un syntagme nominal lexicalement plein nous fournit à la fois sa catégorie ($\mathtt{sn}$) et son cas ($\mathtt{acc\&dat}$), d'où une réécriture de l'expression sous la forme : $\mathtt{sn}\otimes(\mathtt{acc\&dat})$. Cette analyse permet d'expliquer à son tour l'incorrection de :

(29) **Er findet und hilft Männer und Kindern* (*)

à la différence des théories basées sur l'unification qui, si elles réussissent à expliquer *, échouent à expliquer *. En effet, ici, la coordination *Männer und Kindern* reçoit la catégorie "faible" $\mathtt{sn}\otimes(\mathtt{acc}\oplus\mathtt{dat})$ et on ne peut pas déduire $\mathtt{acc\&dat}$ de $\mathtt{acc}\oplus\mathtt{dat}$.

4.3. Représentations en sémantique lexicale

L'utilisation des additifs est également féconde dans d'autres contextes, relatifs à la sémantique lexicale. Prenons l'exemple très simple d'un prédicat au départ agentif mais dont l'agent peut être effacé comme *cuire*.

(30) a. *Pierre cuit le gâteau*
b. *Le gâteau cuit*

On peut représenter son entrée par une formule telle que :

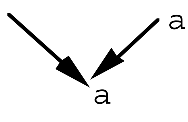
(31)

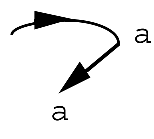
$$^{(1)}\ (((\mathrm{subj} \to X) \otimes (\mathrm{anim\acute{e}}(X)) \multimap {}^{(5)}(\forall v\ \mathrm{THEME}(v) \multimap \mathit{cuit(ag(X), th(v))})) \,\&\, \mathbf{1})$$
$$\otimes\ ^{(2)}\ (((\mathrm{subj} \to Y) \oplus (\mathrm{obj} \to Y)) \multimap ((\mathrm{physique}(Y) \multimap \mathrm{THEME}(Y))$$
$$\otimes\ (^{(3)}\mathbf{1} \,\&\, {}^{(4)}(\forall v\ \mathrm{THEME}(v) \multimap \mathit{cuit(th(v))}))))$$

Cette formule contient les deux informations suivantes, de manière cumulative:
- s'il y a un sujet animé, alors dès qu'un thème est instancié, toutes ces données sont consommées pour produire la formule *cuit(ag(X), th(v))*,
- le thème peut provenir soit de la position sujet (auquel cas la clause précédente ne s'appliquera pas) soit de la position objet; dans les deux cas, un thème est instancié à condition que ce soit un objet physique et on a alors le choix entre ne rien produire, laissant à la première partie de la formule le soin de consommer ce thème, ou produire une formule qui, par consommation du thème, donnera la représentation *cuit(th(v))*.
Comme une phrase n'a qu'une ressource sujet et qu'une ressource objet, la ressource sujet peut être utilisée soit par (1), soit par (2) (mais pas les deux). Si elle est utilisée par (1), (1) sera consommé dans la déduction et il restera à consommer (2). (2) ne pourra plus l'être par la ressource sujet, déjà utilisée, elle ne pourra donc l'être que par la ressource objet, qui fournira le thème. Il faudra alors choisir entre (3) et (4). Si (4) est pris, la consommation de (5) sera bloquée, on prendra donc (3), et (5) pourra être consommé en produisant la formule sémantique avec agent. Si la ressource sujet ne peut être utilisée par (1), alors (1) pourra être écarté (noter le choix (&) entre (1) et l'élément neutre **1** de $\otimes$, qui ici a la signification d'une ressource toujours présente et consommable à loisir) et la ressource sujet sera utilisée par (2), ce qui aura

pour conséquence qu'il n'y a pas d'objet et que nécessairement de (3) et (4), c'est (4) qui devra ête choisi pour faire en sorte que toutes les composantes de la formule soient consommées sauf ce qui reste : une forme sémantique.
Ainsi les seules représentations sémantiques correctes sont celles qui sont obtenues à la fois à partir de la phrase et de l'entrée lexicale du verbe, par les seules dérivations correctes de la logique linéaire : celles qui consomment toutes les ressources et seulement les ressources disponibles. (NB : les ressources sémantiques comme animé(X) ou physique(Y) sont supposées être consommées au moyen de traits fournis par le lexique sous la forme de formules indéfiniment utilisables, c'est-à-dire marquées d'une exponentielle, comme `!animé(Pierre)` ou `!physique(gâteau))`.
L'approche obtenue concernant le lexique rejoint celle de Pustejovsky (Pustejovsky, J. 1991) dans la mesure où, au lieu de postuler plusieurs "sens" séparés pour un verbe comme "cuire", on utilise une seule formule qui génére, d'après le contexte (autant syntaxique que sémantique) les différentes significations qu'il est possible d'obtenir. La différence réside en ce que l'approche "lexique génératif" de Pustejovsky (de même que Bès, G. & Lecomte, A. (1995) qui ont une approche semblable) utilise un formalisme, le λ-calcul, qui est beaucoup plus contraint (notamment par des problèmes d'ordre dans l'application des termes) que ne l'est la logique linéaire et qui, ne possèdant pas les additifs, ne permet pas de concentrer en une seule formule les sens associés aux différentes constructions syntaxiques.

4.4 Réseaux de preuves et structures de dépendances

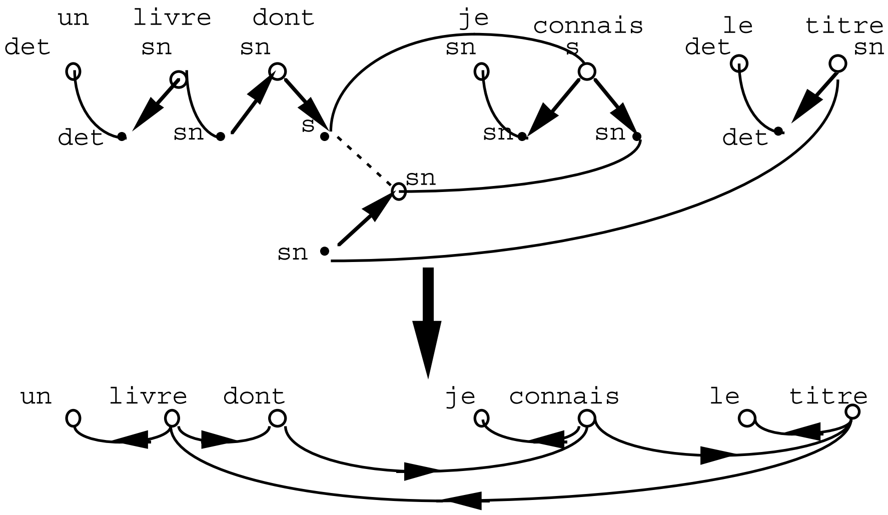
La notion de réseau de preuves n'a pas seulement un intérêt computationnel (rechercher directement une preuve par des moyens géométriques – connexion de graphes – sans passer par l'exploration de toutes les déductions possibles), elle a aussi un intérêt représentationnel. Dans le cadre du calcul de Lambek, on peut en effet obtenir des critères de correction pour des réseaux construits à partir d'arbres associées bijectivement aux catégories (Lecomte, A. 1992). Les liens axiomes sont des arêtes (non orientées) qui lient deux à deux les noeuds de l'ensemble d'arbres. Des structures de dépendance à la Hudson (Hudson, R. A. 1984) peuvent alors être déduites si on munit les arêtes des arbres initiaux d'une orientation tenant compte de la relation tête-dépendant. Lorsqu'un réseau est obtenu, on peut appliquer la démarche suivante : (1) fusionner les extrémités de chaque lien-axiome, (2) corriger éventuellement la structure obtenue en remplaçant toutes les configurations 

par 

, de manière à toujours obtenir une structure arborescente, et en identifiant un noeud vide avec un noeud coréférentiel[11]. On obtient, comme dans l'exemple suivant (32), des structures qui traduisent par une circularité les phénomènes de syntagme déplacé, d'où un niveau de représentation géométrique sans catégorie vide.
D'autre part, l'extension de la logique linéaire multiplicative classique au moyen du connecteur non-commutatif `précède` (Retoré, C. 1993) possède une représentation complète en termes de réseaux de preuves qui permet de

[11] La coréférence est marquée par une coindexation dans les arbres associées aux catégories de base.

résoudre les problèmes classiques de discontinuité et de *head-wrapping* dans un cadre dérivationnel (Lecomte, A. & Retoré, C. 1995).
(32)



4.5. Réseaux de preuves et connexionnisme

Les réseaux de preuves ont également une interprétation *dynamique*. Si en effet, nous utilisons les critères du genre "voyage", alors nous considèrerons chaque déplacement d'un jeton comme un pas élémentaire dans la circulation de l'information. On part d'un état initial où les jetons sont montants à l'intérieur de chaque formule-conclusion et on s'arrête lorsqu'on a atteint un état final où ils sont tous descendants dans les mêmes formules. Cette interprétation permet une lecture en termes de *synchronisation* et de *combinaison* de processus (Asperti, A. 1991). De plus, elle n'est pas sans rapport avec une certaine vision du connexionnisme (Shastri, L.& Ajjanagade, J. 1993, Laks, B. 1996) qui consiste à expliquer des aspects de la cognition par déplacement d'activations cellulaires (sous la forme d'ondes) dans des réseaux et par synchronisation temporelle entre des noeuds[12].

5. CONCLUSION

Cette introduction vise à montrer l'apport à la modélisation linguistique des notions nouvelles en théorie de la démonstration. Celles-ci concernent principalement la sensibilité aux ressources, l'utilisation de connecteurs qui en résultent et celle des réseaux de preuves en tant que dispositif permettant d'exprimer l'essentiel de l'information contenue dans une déduction. Ces notions devraient permettre de mieux formaliser dans l'avenir ce que l'on entend par une "théorie dérivationnelle" de la langue (Chomsky, N. 1996). Il ne s'agit donc pas de substituer une nouvelle théorie linguistique à des

---

[12] cf B. Laks, 1996, p83 : "On sait que contrairement aux neurones formels, le signal produit par les neurones réels n'est pas ponctuel, mais que la décharge neuronale possède une structure temporelle fine et précise. Sur fond de "bruit neuronal" continu, on observe des maxima temporels de décharge. Cette structure oscillatoire semble coder des relations significatives entre neurones, de sorte que les synchronies de pics d'activation constituent une source supplémentaire de traitement de l'information sensori-motrice". Shastri et Ajjanagade tentent de modéliser le raisonnement dans des réseaux de ce genre, dont les noeuds sont activés par la propagation de tels pics. Ils rendent ainsi compte de l'automatisme de certaines inférences. On peut évidemment penser que cette approche s'applique au langage surtout quand on tente de rapprocher les deux ensembles de phénomènes: langage et raisonnement.

théories existantes mais d'élaborer de nouveaux outils d'analyse, plus fins, susceptibles de s'intégrer dans des cadres existants. De nombreuses solutions provenant des grammaires catégorielles ont déjà été intégrées dans des modèles basés sur l'unification comme GPSG ou HPSG (notamment l'utilisation des traits SUBCAT et SLASH). La logique linéaire multiplicative intuitionniste est également utilisée dans le cadre de LFG pour projeter une f-structure sur une structure sémantique. On peut également penser que de nombreuses notions entrant dans le Programme Minimaliste de Chomsky ont leur formulation logique : ainsi de l'exemple de *Fusion* vu plus haut au §2.10, mais aussi du processus de consommation des traits formels, qui ne doit laisser apparents que les traits phonologiques et sémantiques nécessaires aux passages à FP et FL (Stabler, E. 1996). Joshi et Kullick (Joshi, A. & Kullick, S. 1995) ont également établi un lien entre les grammaires d'arbres adjoints et les arbres de preuves partiels.
Que l'on utilise la notion de système logique dans l'analyse linguistique ne doit pas faire croire à une tentative de "réduction de la langue à la logique". Elle existe seulement parce que la logique, en tant que branche des mathématiques, offre des modèles intéressants permettant de formaliser les problèmes d'échange et de circulation de l'information dans une structure de communication. De ce point de vue, l'application simultanée de la logique linéaire au langage et aux architectures parallèles n'est pas un accident : elle met en relief la partie commune à ces deux types de structures concrètes.
Ceci dit, il y a de nombreuses caractéristiques propres aux systèmes linguistiques qui échappent à une traduction directe en logique : ce sont par exemple des contraintes supplémentaires à rajouter à la recherche de preuves (tels certains principes d'économie à la Chomsky, sur les liens les plus courts par exemple) ou bien des propriétés lexicales ou morphologiques.
On trouvera dans ce numéro un article de Christian Retoré, approfondissant les concepts fondamentaux de la logique linéaire et plus particulièrement celui de réseau de preuves, un article de J.P. Desclés et I. Biskri dans l'esprit des grammaires catégoriels avec combinateurs de Steedman, un article de Glyn Morrill sur le traitement de la discontinuité et un article de Ruth Kempson montrant comment des contraintes linguistiques particulières (sur les liens anaphore-antécédent) relèvent d'une théorie dérivationnelle formulée dans le cadre des systèmes étiquetés.

RÉFÉRENCES

ABRAMSON, H. & DAHL, V. (1989), *Logic Grammars*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

ABRUSCI, M. (1993), 'Exchange Connectives for Non Commutative Classical Linear Propositional Logic'. Preprint. Universita di Roma La Sapienza, 1993, et publié dans *Linear Logic and Lambek Calculus*, *Proceedings 1993 Rome Workshop*, M. Abrusci, C. Casadio, M. Moortgat (eds) DYANA Occasional Publications, Septembre 1994

ABRUSCI, M. (1995), 'Noncommutative Proof Nets' in Girard, J.Y., Lafont, Y. & Regnier, L., (eds) *Advances in Linear Logic*, London Mathematical Society, Lecture Note Series 222, Cambridge University Press, Cambridge.

ADES, A. & STEEDMAN, M. (1982) 'On the Order of Words', *Linguistics and Philosophy* **4**, 517-558

AJDUCKIEWICZ, K. (1935) 'Die Syntaktische Konnexität', *Studia Philosophica* **1**, pp. 1-27, trad. anglaise 'Syntactic Connection', in S. McCall (ed) (1967), pp. 207-231.

ASPERTI, A. (1991), 'A Linguistic Approach to Deadlock'. Rapport de recherches, LIENS-91-15, LIENS, 1991, Paris.

BACH, E. (1981), 'Discontinuous Constituents in Generalized Categorial Grammars', *NELS* **11**, 1 – 12

BACH, E. (1984), 'Some Generalizations of Categorial Grammars' in Fred Landman and Frank Veltman (eds), *Varieties of Formal Semantics*, Foris, Dordrecht, pp 1 – 23

BAR-HILLEL, Y., GAIFMAN, C. & SHAMIR, E. 1960, 'On Categorial and Phrase Structure Grammars', *Bulletin of the Research Council of Israel* **9**F, pp 1-16

BELNAP, N. & ANDERSON, A. (1975), *Entailment: The Logic of Relevance and Necessity*, vol 1. Princeton University Press

van BENTHEM, J. (1986) *Essays in Logical Semantic*, Dordrecht, Reidel

van BENTHEM, J. (1987), 'Categorial Grammar and Type Theory', Prepublication Series 87-07, ILLI, University of Amsterdam.

van BENTHEM, J. (1988), 'The Lambek Calculus', in R.Oehrle, E.Bach et D.Wheeler (eds) *Categorial Grammars and Natural Languages Structures*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht et Boston.

van BENTHEM, J. (1990), *Language in Action: Categories, Lambdas and Dynamic Logic*, Studies in Logic, North-Holland

BES, G. & LECOMTE, A. (1995), 'Semantic Features in a Generic Lexicon' in (St Dizier & Viegas, eds) *Computational Lexical Semantics*, Cambridge University Press

BUSZKOWSKI, W. (1982), 'Some Decision Problems in the Theory of Syntactic Categories', *Zeitschrift für math. Logik und Grundlagen der Mathematik*, **28**, 539 – 548

BUSZKOWSKI, W. (1985), 'The Equivalence of Unidirectional Lambek Categorial Grammars and Context-free Grammars' *Zeitschrift für math. Logik und Grundlagen der Mathematik*, **31,** 369 – 384

BUSZKOWSKI, W. (1986) 'Completeness Results for Lambek Syntactic Calculus', *Zeitschr. f. math. Logik und Grundlagen d. Math*. **32**, 13-28.

BUSZKOWSKI, W. (1988), 'Generative Power of Categorial Grammar', in Oehrle, R., Bach, E. et Wheeler, D. (eds) *Categorial Grammars and Natural Languages Structures*.

BUSZKOWSKI, W. (1993), 'On the Equivalence of Lambek Categorial Grammars and Basic Categorial Grammars', ILLC Prepublication Series, LP–93–07, Université d'Amsterdam

CASADIO, C. (1988), 'Semantic Categories and the Development of Categorial Grammars', in R.Oehrle, E.Bach et D.Wheeler (eds) *Categorial Grammars and Natural Languages Structures*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht et Boston.

CHOMSKY, N. (1982), *Some Concepts and Consequences of the Theory of Government and Binding* Cambridge Mass. MIT Press trad française: *La nouvelle syntaxe* avec présentation et commentaire d'Alain Rouveret. Ed du Seuil.

CHOMSKY, N. (1987), *La nouvelle syntaxe*, trad; franc. Leila Picabia, présentation et commentaire d'Alain Rouveret, ed. du Seuil, Paris.

CHOMSKY, N. (1996), *The Minimalist Program*, MIT Press, Cambridge.

COOPER, R. (1983), *Quantification and Syntactic Theory*, D. Reidel, Dordrecht.

DALRYMPLE, M., LAMPING, J., SARASWAT,V. (1993) 'LFG Semantics via Constraints' *Proceedings of EACL*, Utrecht.
DANOS, V. & REGNIER, L. (1989), 'The structure of multiplicatives' *Arch. Math. Logic*, **28**, 181-203
DESCLES, J.P. (1990), *Langages applicatifs, langues naturelles et cognition*, Hermes, Paris.
DESCLES, J.P. & SEGOND, F. (1992), 'Topicalization: Categorial Analysis and Applicative Grammar' in Lecomte A. (ed) *L'ordre des mots dans les grammaires catégorielles,* Projet ESPRIT Basic Research action 3175 DYANA, Editions ADOSA, Clermont-Ferrand.
DOSEN, K. (1990), 'Modal translations in substructural logics', Report 10-90, Universität Konstanz.
DOSEN, K. (1992), 'A brief survey of frames for the Lambek calculus' *Zeitschrift für math. Logik und Grundlagen der Mathematik* **38**, 179–187
DOWTY, D. (1988), 'Type-raising, Functional Composition, and Non-Constituent Coordination' in Oehrle, R., Bach, E.and Wheeler, D. (eds) *Categorial Grammars and Natural Languages Structures*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht et Boston.
FAUCONNIER, G. (1991) 'Subdivision cognitive', *Communications*, n°**53**, ed. du Seuil, Paris.
GABBAY, D. (1991), *Labelled Deductive Systems* . Draft. Oxford University Press, 1991 (to appear).
GABBAY, D. (1993), 'A General Theory of Structured Consequence Relations' in Schröder-Heister, P. & Dosen, K. (eds) *Substructural Logics*, coll. Studies in Logic and Computation, Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford, 109–151.
GAZDAR, G., KLEIN, E., PULLUM, J. & SAG, I. (1985): *Generalized Phrase Structure Grammar*, Blackwell
GIRARD, J.Y. (1987) 'Linear logic' *Theoretical Computer Science* , **50** , 1987, 1-102.
GIRARD, J.Y., LAFONT, Y. & TAYLOR P., (1990) *Proofs and Types*, Cambridge Tracts in Theoretical Computer Science, **7**, Cambridge University Press, Cambridge.
GIRARD, J.Y. (1995), 'Intelligence Artificielle et Logique Naturelle' in Turing, A. & Girard, J.Y. 1995, *La machine de Turing*, ed. du Seuil, collection Sources du savoir.
GIRARD, J.Y., LAFONT, Y. & REGNIER, L., (1995) *Advances in Linear Logic*, London Mathematical Society, Lecture Note Series 222, Cambridge University Press, Cambridge.
GRIZE, J.B. (1973), *Logique moderne I,* Mouton, Gauthier-Villars, Paris
de GROOTE, P. (1995) *The Curry-Howard isomorphism*, Cahiers du Centre de Logique de l'Université Catholique de Louvain, Academia, Louvain-la-Neuve.
HAUSSER, R. (1990), *Computation of Language*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
HENDRIKS, H. and ROORDA, D. (1991), 'Spurious Ambiguity in Categorial Grammar', *deliverable of the ESPRIT project BRA 3175 DYANA*.
HENDRIKS, H. (1993), *Studied Flexibility, Categories and Types in Syntax and Semantics*, PhD dissertation, Université d'Amsterdam
HEPPLE, M. (1990), *The Grammar and Processing of Order and Dependency, a categorial approach*. PhD Thesis. Centre of Cognitive Sciences, Edinburgh
HEYTING, A. (1956) *Intuitionnism*, North-Holland, Amsterdam.

HOWARD, W.A. (1969), 'The formulae-as-types notion of construction', ms, appears in Hindley-Seldin (eds) 1980, *To H.B. Curry, Essays on Combinatory Logic, Lambda-Calculus and Formalism*, Academic Press.

HUDSON, R.A. (1984) *Word Grammar*, Blackwell, Oxford.

INGRIA, R. (1990) 'The limits of unification', in *Proceedings of the 28th Annual Meeting of ACL*, pp 194-204, University of Pittsburgh.

JOHNSON, M. (1991) 'Deductive Parsing : the use of knowledge of language' in Berwick et al. (eds) *Principle-Based Parsing : Computation and Psycholinguistics*, pp 39-64, Kluwer, Netherlands.

JOHNSON, M & BAYER, S. (1995) 'Features and Agreement' in *The Proceedings of the 33rd Annual Meeting of the ACL*, pp 70-76, San Francisco.

JOSHI, A. & KULLICK, S. (1995) 'Partial Proof Trees as Building Blocks for a Categorial Grammar', in Morrill, G. & Oehrle, D. (eds) *Formal Grammar, Proceedings of the Conference of the European Summer School in Logic, Language and Information*, Barcelone.

KAPLAN, R. & BRESNAN, J. (1982), 'Lexical-Functional Grammar: A Formal System for Grammatical Representation', in Bresnan, J. (ed) *The Mental Representation of Grammatical Relations*, MIT Press

KARTTUNEN, L. (1989), 'Radical Lexicalism', in Baltin, M. & Kroch, A. (eds) *Alternative Conceptions of Phrase Structure*, University of Chicago Press, Chicago, 43–65.

KLEIN, E., ZEEVAT, H., CALDER, J. (1987), 'Unification Categorial Grammar' in *Categorial Grammar, Unification Grammar,and Parsing* N.J. Haddock, E. Klein, G. Morrill (eds). Edinburgh, Centre for Cognitive Science, 1987, pp. 195-222

LADD, R. (1992), 'An introduction to intonational phonology', in Docherty, G. & Ladd, R. (eds) *Papers in Laboratory Phonology II, Gesture, Segment, Prosody*, Cambridge University Press

LAKS, B. (1996) *Langage et cognition, une approche connexionniste du langage*, Hermes, Paris.

LAMBEK, J. (1958) 'The Mathematics of Sentence Structure' *American Mathematical Monthly*, **65**, pp 154-170,

LAMBEK, J. (1961) 'On the calculus of syntactic types' *American Mathematical Soc. Proc. Symposia Appl. Math.* **12***, pp 166-178.*

LAMBEK, J. (1988), ' Categorial and Categorical Grammars', in Oehrle, R., Bach, E.and Wheeler, D. (eds)*Categorial Grammars and Natural Languages Structures*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht et Boston.

LAMBEK, J. (1993a), 'Logic without Structural Rules (Another Look at Cut Elimination)', in Schröder-Heister, P. & Dosen, K. (eds) *Substructural Logics*, coll. Studies in Logic and Computation, Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford, 179–206

LAMBEK, J. (1993b), 'From Categorial Grammar to Bilinear Logic', in Schröder-Heister, P. & Dosen, K. (eds) *Substructural Logics*, coll. Studies in Logic and Computation, Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford, 207–238.

LECOMTE, A.: (1992). (ed) *Word Order in Categorial Grammar*, ADOSA, Clermont-Ferrand.

LECOMTE, A. (1992), 'Proof-Nets and Dependencies', *Actes de COLING 92*, Nantes.

LECOMTE, A. & RETORE, C. (1995) 'POMSET logic as an alternative categorial grammar', in Morrill, G. & Oehrle, D. (eds) *Formal Grammar,*

Proceedings of the Conference of the European Summer School in Logic, Language and Information, Barcelone.
LEGERET, M.A. (1992), 'A Mathematical Study of Categorial Grammars containing Type-Raising and Composition Rules' in Lecomte, A. (ed), *Word Order in Categorial Grammar*, ADOSA, Clermont-Ferrand.
MILLER, P. & TORRIS, T. (1990) *Formalismes syntaxiques pour le TALN*, Hermes, Paris.
MONTAGUE, R. (1974) *Formal Philosophy*, edité par R. Thomason, Yale University Press, Newhaven.
MOORTGAT, M.(1988), *Categorial Investigations. Logical and Linguistic Aspects of the Lambek Calculus,* Dordrecht, Foris.
MOORTGAT, M. (1990a), 'Unambiguous proof representations for the Lambek Calculus', *Proceedings of the 7th Amsterdam Colloquium*.
MOORTGAT, M., (1990b), 'Discontinuous type-constructors' to appear in Sijitsma and van Horck, *Proceedings Tilburg Symposium on Discontinuous Dependency*, Mouton de Gruyer.
MOORTGAT, M., (1990c), 'Cut elimination and the Elimination of Spurious Ambiguities' *Proceedings of the 7th Amsterdam Colloquium*, University of Amsterdam.
MOORTGAT, M.:,(1992a), 'Generalized quantifiers and discontinuous type constructors', report OTS-WP-CL-92-001, OTS- Utrecht
MOORTGAT, M.,(1992b), 'Labelled Deductive Systems for categorial theorem proving', report OTS-WP-CL-92-003, OTS- Utrecht
MOORTGAT, M. (1996), 'Categorial Type Logics', chap2 dans *Handbook of Logic and Language* édité par van Benthem, J. et ter Meulen, A. Elsevier.
MOORTGAT, M. & MORRILL, G., (1991), 'Heads and Phrases', ms. OTS, Utrecht.
MOORTGAT, M & OEHRLE, R. (1993), *Lecture Notes on Categorial Grammar*, 5th European Summer School in LLI, Lisbon, August 1993.
MOORTGAT, M & OEHRLE, R. (1994), 'Adjacency, dependency and order' in *Proceedings of the 9th Amsterdam Colloquium*.
MOORTGAT, M. & KURTONINA, N. (1994) 'Controlling Resource Management' in *Linear Logic and Lambek Calculus*, *Proceedings 1993 Rome Workshop*, M. Abrusci, C. Casadio, M. Moortgat (eds) DYANA Occasional Publications, Septembre 1994
MORRILL, G. (1990), 'Grammar and Logical Types' in Barry & Morrill (eds) *Studies in Categorial Grammar, Edinburgh Working Papers in Cognitive Science*, vol. **5**.
MORRILL, G. (1992b), 'Categorial formalisation of relativisation: pied piping, islands, and extraction sites', report LSI–92–23–R, Departament de Llenguatges i sistemes informatics, Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelone.
MORRILL, G. (1994), 'Higher-Order Linear Logic Programming of Categorial Deduction', report LSI–94–42–R, Departament de Llenguatges i sistemes informatics, Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelone.
MORRILL, G. (1994) *Type Logical Grammar*, ed. Kluwer
MORRILL, G. & SOLIAS, T. (1993), 'Tuples, Discontinuity and Gapping in Categorial Grammar', *Proceedings of EACL 93*, Utrecht.
OEHRLE, R. (1991), 'Prosodic constraints on dynamic grammatical analysis' in Bird, S. (ed) *Declarative Perspectives on Phonology*, Edinburgh Working Papers in Cognitive Science.

OEHRLE, R. & SHI ZHANG (1989), 'Lambek Calculus and Preposing of Embedded Subjects', *Chicago Linguistic Society*, **25**.

OEHRLE, R., BACH, E.and WHEELER, D. (eds): (1988), *Categorial Grammars and Natural Languages Structures*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht et Boston.

PENTUS, M. (1993), 'Lambek grammars are context free', in *Proceedings of the Eightth Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science*, Montréal.

PEREIRA, F. (1990) 'Categorial Semantics and Scoping', *Computational Linguistics*, vol. **16**, N°1, pp 1-10.

POLLARD, C. (1988), 'Categorial Grammar and Phrase Structure Grammar: An Excursion on the Syntax-Semantics Frontier' in Oehrle, R., Bach, E.and Wheeler, D. (eds) *Categorial Grammars and Natural Languages Structures*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht et Boston.

POLLARD, C. & SAG, I. (1987), *An Information-Based Syntax and Semantics*, vol 1, *Fundamentals*, Lecture Notes, CSLI, Stanford.

POLLARD, C. & SAG, I. (1992), *An Information-Based Syntax and Semantics*, vol 2, University of Chicago Press.

PULLUM, G. & ZWICKY, A. (1986) Phonological resolution of syntactic features conflict, *Language*, **62** (4), pp 751-773.

PUSTEJOVSKY, J. (1991) 'The Generative Lexicon' *Computational Linguistics*, vol **17**, n°4, pp 409-441.

RANTA, A. (1995) *Type Theoretical Grammar*, Clarendon Press, Oxford.

RETORE, C. (1993) *Calcul des séquents ordonnés*, Thèse Paris 7.

RETORE, C. & LECOMTE, A. (1995) 'POMSET logic as an alternative categorial grammar', in Morrill, G. & Oehrle, D. (eds) *Formal Grammar, Proceedings of the Conference of the European Summer School in Logic, Language and Information*, Barcelone.

ROORDA, D. (1991), *Resource Logics: Proof-theoretical Investigations*, PhD Thesis, Faculteit van Wiskunde en Informatica, Amsterdam.

ROORDA, D. (1992), 'Proof nets, partial deduction and resolution - in Lecomte, A. (ed), *Word Order in Categorial Grammar*, ADOSA, Clermont-Ferrand.

ROORDA, D. (1992), 'Proof Nets for Lambek Calculus', *Journal of Logic and Computation*, vol **2**, n°**2**, Mai 1992, Oxford University Press, 211 – 233

SZABOLCZI, A. (1987), 'Bound variables in Syntax (Are There Any?)' in Bartsch, R. et al. (eds) *Papers from the 6th Amsterdam Colloquium*, Amsterdam.

SCHRODER-HEISTER, P. & DOSEN, K. (eds) (1993), *Substructural Logics*, coll. Studies in Logic and Computation, Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford

SHASTRI, L. & AJJANAGADDE, V. (1993), 'From simple associations to systematic reasoning: A connectionist representation of rules, variables and dynamic bindings using temporal synchrony', *Behavioral and Brain Sciences*, **16**, 417–494

SHIEBER, S., SCHABES, Y., & PEREIRA, F. (1995), 'Principles and Implementation of Deductive Parsing', *Journal of Logic Programming*

SOLIAS, T. (1992), *Gramaticas Categoriales, Coordinacion Generalizada y Elision*, PhD thesis, Universidad Autonoma de Madrid, Departamento de Logica, Linguistica, Lenguas Modernas y Filosofia de la Ciencia

SOLIAS, T. (1994), 'Unassociativity, Sequence Product, Gapping and Multiple Wrapping', in *Linear Logic and Lambek Calculus*, *Proceedings 1993*

Rome Workshop, M. Abrusci, C. Casadio, M. Moortgat (eds) DYANA Occasional Publications, Septembre 1994

STABLER, E. (1991) 'Avoid the Pedestrian's Paradox' in Berwick et al. (eds) *Principle-Based Parsing : Computation and Psycholinguistics*, pp 39-64, Kluwer, Netherlands.

STABLER, E. (1992) *The Logical Approach to Syntax : Foundations, Specifications and Implementations of Theories of Government and Binding*, MIT Press, Cambridge.

STABLER, E. (1996) *Acquiring and parsing languages with movement* (accessible par http, cf stabler@ucla.edu)

STEEDMAN, M. (1988), 'Combinators and Grammar', in Oehrle, R., Bach, E. & Wheeler, D. (eds) *Categorial Grammars and Natural Language Structures*, D. Reidel Pub.

STEEDMAN, M. (1996), *Surface Structure and Interpretation*, MIT Press, Cambridge.

VERSMISSEN, K. (1993), 'Categorial grammar, modalities and algebraic semantics' *Proceedings of EACL 93*, Utrecht.

WANSING, H. (1993), 'Informational Interpretation of Substructural Propositional Logics', *Journal of Logic, Language and Information*, vol **2**, n°**4**, Kluwer Ac. Press, 285–309.

ZIELONKA, W. (1978), 'A Direct Proof of the Equivalence of Free Categorial Grammars and Simple Phrase-structure Grammars', *Studia Logica* **37**, 41-58

ZIELONKA, W. (1981), 'Axiomatizability of Ajdukiewicz-Lambek Calculus by Means of Cancellation Schemes' *Zeitschr. f. math. Logik und Grundlagen d. Math.* **27**, 215-224.

ZIELONKA, W. (1991), 'Linear Axiomatics of Commutative Product-Free Lambek Calculus', *Studia Logica*, XLIX, **4**.

ZIELONKA, W. (1992), 'Interdefinability of Lambekian Functors', *Zeitschrift für Math. Logik und Grundlagen der Mathematik*, **38**, 501–507.