

87/739

Université de Nancy I

U.E.R. Sciences Mathématiques

Sc N 81 / 25 A

THESE

présentée pour l'obtention du grade de

Docteur ès-Sciences Mathématiques (Informatique)

par

Jean Marie PIERREL



Sujet

Etude et mise en œuvre de contraintes linguistiques en compréhension automatique du discours continu

*Application aux langages artificiels: le système myrtille I
Application aux langages pseudo naturels: le système myrtille II*

BIBLIOTHEQUE SCIENCES NANCY 1



D 095 179899 5

tenue publiquement le
27 MARS 1981

JURY

Président	C. PAIR
Rapporteur	J. P. HATON
Rapporteur	G. PERENNOU
.....	M. BORILLO
.....	D. COULON
.....	J. COURTIN
.....	R. MAINARD
.....	R. MOREAU

THESE

présentée pour l'obtention du grade de

Docteur ès-Sciences Mathématiques (Informatique)

par

Jean Marie PIERREL

Sujet

***Etude et mise en œuvre de contraintes linguistiques
en compréhension automatique du discours continu***

*Application aux langages artificiels: le système myrtille I
Application aux langages pseudo naturels: le système myrtille II*

soutenue publiquement le

27 MARS 1981

JURY

Président C. PAIRÉ
Rapporteur J.P. HATON
Rapporteur G. PERENNOU
..... M. BORILLO
..... D. COULON
..... J. COURTIN
..... R. MAINARD
..... R. MOREAU

ETUDE ET MISE EN OEUVRE DE CONTRAINTES LINGUISTIQUES

EN COMPREHENSION AUTOMATIQUE DU DISCOURS CONTINU

APPLICATION . AUX LANGAGES ARTIFICIELS :

LE SYSTEME MYRTILLE I

. AUX LANGAGES PSEUDO-NATURELS :

LE SYSTEME MYRTILLE II



J.M. PIERREL

*"rien de sensé ne se fait sans le secours
de la parole, mais c'est elle au contraire
qui dirige toutes nos actions, toutes nos
pensées".*

ISOCRATE

sur l'Echange XV § 257.

à Elisabeth,

à Marie, Hélène

et Nicolas.

Ce travail n'aurait sans doute jamais eu lieu sans le concours volontaire ou involontaire de tous ceux qui m'ont formé, soutenu, encouragé ou aidé... Parents et amis, professeurs et collègues qu'il m'est impossible ici de citer tous, mais à qui je suis sincèrement reconnaissant pour le "bout de chemin" fait ensemble.

Je tiens pourtant ici à remercier tout spécialement :

- C. PAIR, Professeur à l'I.N.P.L., Directeur du C.R.I.N. La formation qu'il m'a donnée m'a permis de mener à bien ces recherches. C'est lui qui m'a proposé de travailler sur la parole à un moment où j'étais loin de penser à un tel sujet de recherche ; je lui suis donc redevable de la joie que j'ai de travailler dans ce domaine. Malgré ses nombreuses activités, il a par ailleurs toujours suivi avec intérêt l'avancement de ce travail et c'est pour moi un très grand plaisir de le voir présider aujourd'hui ce jury.
- J.P. HATON, Professeur à Nancy 1. Plus qu'un "Patron", un ami pour moi... Il ne m'est pas possible ici de le remercier pour tout. C'est lui qui m'a guidé tout au long de ces recherches et m'a permis de travailler dans les conditions les meilleures. J'espère sincèrement que cette thèse ne sera qu'une étape dans notre collaboration.
- G. PERENNOU, Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse, Directeur du C.I.C.T. Son intérêt constant pour nos travaux et ses critiques fructueuses m'ont beaucoup aidé tout au long de mes recherches. Il a bien voulu juger ce travail et je l'en remercie vivement.
- D. COULON, Professeur à l'I.N.P.L. Depuis son arrivée à Nancy, nous avons eu maintes fois l'occasion d'échanger des idées et de travailler ensemble ; ce fut toujours pour moi d'un apport bénéfique. Il a bien voulu relire une première version de ce travail et je le remercie pour l'ensemble de ses critiques qui m'ont permis d'améliorer mon manuscrit.

- M. BORILLO, Directeur de Recherche au L.I.S.H. de Toulouse,
- J. COURTIN, Professeur à l'I.U.T. Informatique de Grenoble,
ont accepté tous deux de prendre connaissance de mon travail,
de le juger et de siéger à mon jury. C'est à la fois une joie
et un honneur qu'ils me font et je les en remercie.
- R. MAINARD, Président de l'Université de Nancy 1, ancien Directeur de
l'I.U.T. de Nancy, a accepté de siéger au jury de ma thèse
et je l'en remercie vivement. Très honoré de sa présence à
ce jury, je tiens à dire ici toute la joie que j'ai de le voir
représenter ainsi les deux établissements qui sont le cadre de
ma vie d'enseignant-chercheur depuis maintenant plus de sept
ans : l'I.U.T. pour l'enseignement, l'Université de Nancy 1
pour la recherche.
- R. MOREAU, Directeur du Développement Scientifique à I.B.M. France, a
bien voulu accepter de donner un avis, non strictement univer-
sitaire, sur mon travail ; j'en suis très reconnaissant
et le remercie pour sa participation à ce jury mais aussi et
surtout pour l'intérêt qu'il a toujours porté aux travaux de
l'équipe.

Car ce travail est aussi le fruit d'une équipe et je
remercie vivement tous les chercheurs de l'équipe "Reconnaissance des
Formes et Intelligence Artificielle" du C.R.I.N. ; les nombreux échan-
ges et discussions que nous avons souvent eus ont été pour beaucoup
dans la progression de mes travaux.

Merci aussi à tous les collègues du C.R.I.N. qui ont
toujours accepté de discuter et de réfléchir avec moi sur l'une ou
l'autre difficulté rencontrée au cours de ce travail.

Enfin, je ne saurais terminer sans remercier celles
qui, par leur gentillesse et leurs compétences, ont contribué à la réa-
lisation matérielle de cet ouvrage : Madame Danielle MARCHAND aidée par
Mesdames DRIQUERT et ELIAS.

AVANT PROPOS

Les recherches qui ont conduit à cette thèse sont fortement tributaires de la dynamique existant au sein du Centre de Recherche en Informatique de NANCY où l'un des principaux pôles de recherche est orienté vers le dialogue Homme-Machine. Sans être futuriste, je crois que c'est là une bonne manière de préparer l'avenir, car si l'on veut un jour ouvrir largement les possibilités offertes par l'informatique à des non spécialistes (et c'est, je pense, vers cela que tend de plus en plus l'évolution de la société) il est nécessaire de permettre un dialogue le plus naturel possible entre l'homme et la machine.

Outre les aides plus spécifiquement informatiques que l'on peut souhaiter pour développer des applications sur machine, et je pense en particulier aux études menées au CRIN tant sur la méthodologie de la programmation que sur le génie logiciel ou sur les systèmes d'informations, il est nécessaire aussi de développer des moyens de perception automatique (reconnaissance des formes et traitement de la parole et des images) et d'interprétation de messages les plus naturels possibles (traitement de langages naturels, écrits ou parlés).

C'est dans cette optique fortement orientée vers le dialogue Homme-Machine que se situent les travaux qui font l'objet de cette thèse. Ces recherches concernent plus spécialement l'étude de la parole comme l'un des moyens de communication entre l'homme et la machine, complément souhaitable, pour ne pas dire indispensable, aux moyens graphiques et visuels, et aux moyens d'accès actuellement existants sur les ordinateurs.

Mais ce domaine d'étude de la parole est encore beaucoup trop vaste pour pouvoir être pris en charge entièrement dans un seul projet de recherche. Nous nous sommes donc limités volontairement à la reconnaissance et à la compréhension de la parole, à l'exclusion de la synthèse, de l'identification de locuteur, etc... Et dans ce cadre, nous avons défini notre sujet de recherche comme étant l'étude

des apports de la syntaxe, de la sémantique et de la pragmatique, en vue de la reconnaissance automatique de la parole, tout en sachant bien que les résultats obtenus à ce niveau ne sont véritablement utilisables que grâce aux efforts de recherche plus fondamentalement liés au signal acoustico-phonétique lui-même.

L'organisation pratique de ce mémoire fait apparaître trois parties essentielles, auxquelles s'ajoutent des annexes séparées du texte pour ne pas l'alourdir.

La première partie est une introduction à la reconnaissance et à la compréhension de la parole, vues plus du côté moyen de communication, que du côté perception de la parole.

La seconde partie étudie les diverses sources d'informations nécessaires à la compréhension de la parole, en discutant leurs représentations et leurs stratégies d'utilisation.

La troisième partie enfin aborde les problèmes de mise en oeuvre rencontrés lors de l'élaboration des systèmes MYRTILLE I et MYRTILLE II.

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
<u>AVANT-PROPOS</u>	1
<u>PARTIE A : INTRODUCTION A LA RECONNAISSANCE ET A LA COMPREHENSION DE LA PAROLE</u>	3
<u>INTRODUCTION</u>	4
<u>CHAPITRE A1 : LA COMMUNICATION ORALE</u>	7
1.1. Parole, langage et intelligence	7
1.1.1. Parole, intelligence et pouvoir	7
1.1.2. Parole, intelligence artificielle et ordinateur	10
1.1.3. Systèmes intelligents et apprentissage	12
1.2. Emission et perception de la parole	14
1.3. Le dialogue en communication orale	22
1.3.1. Importance du dialogue	22
1.3.2. Les différents types de dialogue	26
1.4. Le dialogue oral dans la communication Homme-machine	28
<u>CHAPITRE A2 : LES RECHERCHES EN RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE DE LA PAROLE</u>	32
2.1. Les débuts de la reconnaissance automatique et le traitement de mots isolés	33
2.1.1. Systèmes électroniques	33
2.1.2. Systèmes informatiques et reconnaissance de mots isolés	35
2.2. Méthode globale et méthode analytique	37
2.3. Reconnaissance et compréhension	40

2.4.	Traitement acoustico-phonétique : le frontal de MYRTILLE II	44
2.4.1.	Objectifs et méthodes générales	44
2.4.2.	Le niveau acoustico-phonétique dans le système MYRTILLE II	46
2.4.3.	Résultats fournis par de tels traitements	49
2.5.	Etats actuels des travaux et principaux systèmes	52
2.6.	Conclusion	63

CONCLUSION de la PARTIE A : NOS GRANDS AXES DE RECHERCHE 65

PARTIE B : LES SOURCES D'INFORMATIONS ET LEURS STRATEGIES D'UTILISATION EN COMPREHENSION AUTOMATIQUE DE LA PAROLE 67

INTRODUCTION 68

CHAPITRE B1 : ESSAI DE CLASSIFICATION DES SOURCES D'INFORMATIONS 72

1.1.	Introduction	72
1.1.1.	Les diverses sources d'informations	72
1.1.2.	Langages artificiels et langues naturelles	82
1.2.	Informations liées à la structure du langage	85
1.3.	Informations liées à l'application	88
1.4.	Informations propres à la parole ou liées au locuteur	91
1.5.	Conclusion	92

CHAPITRE B2 : LES DIVERSES STRATEGIES D'UTILISATION DES INFORMATIONS LINGUISTIQUES 94

2.1.	Objectifs et résultats souhaités	94
2.2.	Traitement ascendant et traitement descendant	95
2.2.1.	Méthodes ascendantes	96
2.2.2.	Méthodes descendantes	98
2.2.3.	Méthodes mixtes : solution adoptée dans le système MYRTILLE II	100
2.2.4.	Traitement gauche droite ou du milieu vers les côtés	101
2.3.	Compréhension guidée par la syntaxe	103
2.3.1.	Rôle et problèmes spécifiques de l'analyse syntaxique en reconnaissance de la parole	105
2.3.2.	Présentation générale des divers algorithmes	108
2.3.3.	Tolérance aux erreurs	113
2.3.4.	Inadaptation d'une telle stratégie à la reconnaissance de langages pseudo-naturels	114
2.4.	Prise en compte simultanée des diverses informations	116
2.4.1.	Organisation non hiérarchisée	117
2.4.2.	Organisation hiérarchisée	118
2.4.3.	Solution adoptée dans MYRTILLE II	118
2.5.	Stratégie de recherche d'une solution optimale	121
2.5.1.	Position du problème	121
2.5.2.	Stratégies totales	122
2.5.3.	Stratégies heuristiques	123
2.5.4.	Solution adoptée dans MYRTILLE II	126
2.6.	Conclusion	128

CHAPITRE B3 : LES MODELES COURANTS DE REPRESENTATION DE LANGAGES PSEUDO-NATURELS 130

3.1.	Introduction	130
3.2.	Les modèles purement syntaxiques	131
3.3.	Les modèles syntaxico-sémantiques	136
3.4.	Les modèles lexicaux	148
3.4.1.	Modèles lexicaux s'appuyant sur la définition de transitions entre les mots	148
3.4.2.	Modèles lexicaux s'appuyant sur des fonctions liées aux mots	150
3.4.3.	Composante lexicale en reconnaissance de la parole	152
3.5.	Conclusion	153

CHAPITRE B4 : DEFINITION SYNTAXICO-SEMANTIQUE DES STRUCTURES DANS LE SYSTEME MYRTILLE II 155

4.1.	Objectifs et principaux choix de réalisation	155
4.1.1.	Objectifs	155
4.1.2.	Choix de réalisation de ces objectifs	157
4.2.	Présentation des réseaux syntaxico-sémantiques à noeuds procéduraux (R. N. P.)	159
4.2.1.	Définition des R. N. P.	159
4.2.2.	Exemple de réseaux	161
4.2.3.	Remarques sur le traitement des mots courts de liaison	167

4.3.	Comparaison avec d'autres types de représentation	170
4.3.1.	Puissance de description des R. N. P.	170
4.3.2.	Comparaison des R. N. P. et des A. T. N.	173
4.4.	Procédures de traitement associées aux R. N. P.	175
4.4.1.	Représentation interne des R. N. P.	176
4.4.2.	Procédure de création et de modification des réseaux	178
4.4.3.	Analyse d'une phrase à l'aide d'un R. N. P.	181
4.4.4.	Exemple d'analyse de p	186

CHAPITRE B. 5. DEFINITION SYNTAXICO-SEMANTIQUE DES MOTS : LE LEXIQUE 193

5.1.	Objectifs et informations prises en compte	193
5.1.1.	Objectifs	193
5.1.2.	Informations prises en compte dans le lexique	197
5.2.	Structure du lexique syntaxico-sémantique	198
5.2.1.	Structure logique	198
5.2.2.	Représentation interne du lexique	203
5.3.	Les divers accès au lexique	209
5.3.1.	Définition des procédures d'accès	209
5.3.2.	Exemples d'utilisation	212
5.4.	Création - Mise à jour et inférence du lexique	214
5.4.1.	Importance des procédures de création et de gestion du lexique	214
5.4.2.	Logiciel conversationnel de mise en œuvre du lexique	216

5.4.3.	Inférence et apprentissage automatique du lexique	218
5.5.	Conclusion et comparaison avec d'autres réalisations du niveau lexical	222
<u>CHAPITRE B6 : LES AUTRES INFORMATIONS MISES EN ŒUVRE</u>		224
6.1.	Représentation de l'énoncé traité	224
6.1.1.	Objectifs	224
6.1.2.	Structure et représentation	227
6.2.	Lexique phonétique et phonologique	231
6.2.1.	Rôle de ce niveau lexical	232
6.2.2.	Représentations des informations phonétiques et phonologiques	233
6.2.3.	Procédures d'accès au lexique phonétique	238
6.2.4.	Création et inférence du lexique phonétique	238
6.3.	Informations acoustico-phonétiques liées à l'énoncé de départ	243
6.3.1.	Informations phonétiques	243
6.3.2.	Informations prosodiques	243
<u>CONCLUSION de la PARTIE B</u>		245

<u>PARTIE C : LES PROBLEMES DE MISE EN ŒUVRE</u>		247
<u>INTRODUCTION</u>		248
<u>CHAPITRE C1 : MYRTILLE I : UN ACQUIS RICHE D'EN-SEIGNEMENTS</u>		250
1.1.	Rappel sur l'organisation générale de MYRTILLE I	250
1.1.1.	Objectifs de départ	250
1.1.2.	Organisation générale	252
1.1.3.	Fonctionnement général	254
1.2.	Résultats et enseignement de cette expérience	261
1.2.1.	Résultats obtenus	261
1.2.2.	Points essentiels validés par le système MYRTILLE I	262
1.3.	Possibilités et limite d'un tel système	265
1.3.1.	Applications possibles	265
1.3.2.	Limites de tels systèmes	266
<u>CHAPITRE C2 : MYRTILLE II - RAPPEL DES OBJECTIFS ET PRINCIPES GENERAUX</u>		268
2.1.	Objectifs	268
2.2.	Principe de base	270
2.3.	Architecture mise en œuvre	273
2.4.	Rappel des principaux choix de réalisation	274

<u>CHAPITRE C3 : LE LANGAGE TRAITE PAR LE SYSTEME</u>		
	<u>MYRTILLE II</u>	277
3.1.	Introduction	277
3.2.	Structure des énoncés traités par MYRTILLE II	279
3.2.1.	Le corps de l'énoncé	279
3.2.2.	Les subordonnées	282
3.3.	Structure des propositions	283
3.4.	Structure du groupe sujet	286
3.5.	Structure du syntagme verbal	286
3.5.1.	Le langage verbal GV	287
3.5.2.	La suite verbale SGV	288
3.6.	Structure du groupe nominal	290
3.6.1.	Groupes nominaux centrés sur un nom propre	290
3.6.2.	Groupes nominaux centrés sur un nom commun	290
3.6.3.	Remarques sur la construction du groupe nominal	291
3.7.	Structure du groupe complément	293
3.7.1.	Le groupe complément circonstanciel de lieu	293
3.7.2.	Le groupe complément circonstanciel de temps	294
3.8.	Vocabulaire utilisé	295
3.9.	Complexité du langage utilisé dans MYRTILLE II	295

<u>CHAPITRE C4 : FONCTIONNEMENT GENERAL DU SYSTEME</u>		
4.1.	Introduction	298
4.2.	Le module d'initialisation : DEPART	299
4.3.	L'émission des hypothèses	301
4.3.1.	Considérations générales	301
4.3.2.	PARSER : prise en compte de la structure de langage	302
4.3.3.	SEMAN : prise en compte des liaisons syntaxico-sémantiques entre les mots	303
4.3.4.	PROPHON : prise en compte des informations prosodiques et phonétiques	309
4.3.5.	Choix : module directeur de l'émission des hypothèses	310
4.3.6.	Résultat du processus d'émission des hypothèses	311
4.4.	Test et validation des hypothèses	312
4.4.1.	Recherche lexicale et tests des hypothèses	314
4.4.2.	Mise à jour de la représentation syntaxico-sémantique de l'énoncé	316
4.5.	Heuristiques de choix de points de reprise	317
4.5.1.	Stratégies du meilleur d'abord	318
4.5.2.	Stratégies du meilleur d'abord avec sauvegarde des éléments principaux consistants	319
4.6.	Prise en compte des résultats : la procédure de dialogue	322

<u>CHAPITRE C5 : LE POINT SUR LA REALISATION EN COURS</u>	326
5.1. Présentation de la version actuellement opérationnelle	326
5.1.1. Traitement acoustico-phonétique	326
5.1.2. Etape de compréhension de phrase	329
5.1.3. Aspects généraux sur le logiciel obtenu	330
5.2. Résultats obtenus	336
5.2.1. Chaînes de pseudo-phonèmes	336
5.2.2. Tests de reconnaissance de phrases	337
5.2.3. Apports et limites de ces résultats	338
5.3. Poursuites et améliorations prévues	339
5.3.1. Mise en œuvre de nouvelles stratégies de recherche	339
5.3.2. Aide à la conception du lexique	340
5.3.3. Mise en œuvre du parallélisme	341
<u>CONCLUSION de la PARTIE C</u>	343
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	344
<u>ANNEXES</u>	348
<u>Annexe 1</u> : Résultats du système MYRTILLE I	349
<u>Annexe 2</u> : Structure du langage traité par MYRTILLE II Les principaux sous-réseaux	356
<u>Annexe 3</u> : Vocabulaire de l'application - test	364

<u>Annexe 4</u> : Résultats du système MYRTILLE II	369
--	-----

<u>Annexe 5</u> : Présentation synoptique des systèmes MYRTILLE I et MYRTILLE II	416
---	-----

<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	B1 - B28
----------------------	----------

INTRODUCTION

Cette première partie est entièrement consacrée à une introduction. Fallait-il vraiment réserver une partie à cela ou n'eût-il pas mieux valu la restreindre à un chapitre, voire même un paragraphe ? J'ai choisi la première solution car, outre le fait que pour moi introduction et conclusion me paraissent être toujours riches d'enseignements dans mes lectures, j'ai de plus en plus l'impression, après maintenant six ans de travail sur la reconnaissance de la parole, que trop souvent on n'arrive pas à bien situer ce que sont les recherches en ce domaine. Pourquoi parler de compréhension de la parole alors que les recherches sur la compréhension du texte écrit sont bien en cours ? quelles différences y-a-t-il entre compréhension et reconnaissance ? et la parole, qu'est-ce donc ?... Et que de fois aussi, collègues ou amis m'ont répondu langage et essentiellement langage écrit quand je leur expliquais les problèmes auxquels nous étions affrontés dans nos recherches "sur la parole".

D'autres types de réflexions me poussent aussi à bien définir les limites de notre domaine. En effet, très souvent lorsque je parle de mes travaux à l'un ou l'autre, dont les préoccupations sont très éloignées de ces recherches, "on me taxe de fou", voire de dangereux, car, cela est bien connu, "la parole est le propre de l'homme" et qu'advendra-t-il de notre monde lorsque la machine pourra parler, entendre, réfléchir, en un mot être aussi, si ce n'est plus, intelligente que nous ? Et c'est encore un amalgame de plus, une généralisation outrancière où parole représente le "nec plus-ultra" de l'intelligence.

Que mes lecteurs se rassurent, je ne compte pas faire œuvre de philosophie ou de quoi que ce soit en "-ie" mais avouons qu'avant

d'aborder un tel sujet, il est nécessaire de remettre les choses en place, de bien délimiter le domaine d'études, en un mot de dire de quoi l'on parle.

De plus, ce travail s'insère dans tout un ensemble d'études faites au sein de la communauté scientifique internationale. Il m'apparaît donc nécessaire et honnête de bien replacer cette contribution dans l'ensemble des travaux passés et actuels sur la compréhension et la reconnaissance de la parole.

Cette partie introductive sera donc décomposée en deux chapitres.

Le premier parlera de la communication orale.

Après avoir montré les liens, mais aussi bien noté les différences entre parole, langage et intelligence, nous concentrerons notre regard successivement sur le dialogue parlé en abordant

- l'émission et la perception de la parole, sans toutefois aller jusqu'aux niveaux physique ou physiologique ;

- le dialogue, en essayant de le définir, mais aussi et surtout en indiquant les divers types de dialogues possibles ;

- enfin le petit sous-ensemble de la parole, dont on va ensuite parler, à savoir les dialogues "automatisables".

Le second chapitre sera tout entier consacré aux recherches en reconnaissance automatique de la parole. Après avoir passé en revue les premiers travaux, nous essayerons de présenter les grandes classifications de ces recherches. Puis nous consacrerons un paragraphe au niveau acoustico-phonétique ; ce sera le seul de cette thèse, non que ce soit moins important, bien au contraire,

mais simplement parce que ce n'est pas là l'objet de nos études. Enfin nous terminerons par une présentation des divers systèmes existants ou à l'étude actuellement. Et ce sera alors seulement en conclusion de toute cette partie que nous définirons les objectifs et les grands axes de nos recherches dans le cadre du projet MYRTILLE développé au C. R. I. N.

PARTIE A

INTRODUCTION à la RECONNAISSANCE

et à la COMPREHENSION de la PAROLE

Chapitres :

1. LA COMMUNICATION PARLEE
2. LES RECHERCHES EN RECONNAISSANCE
AUTOMATIQUE DE LA PAROLE.

CHAPITRE A.1

LA COMMUNICATION ORALE

1.1. PAROLE - LANGAGE - INTELLIGENCE et ORDINATEUR

1.1.1 Parole, intelligence et pouvoir

Dès que l'on parle de parole ou de langage, on pense "intelligence". Cette association d'idées apparaît d'ailleurs dans un certain nombre de réflexions attribuées à tort ou à raison au bon sens ou du moins au sens commun :

"les animaux ne sont pas intelligents, ils ne parlent pas".

"il doit être très intelligent car il parle très bien". etc...

Cela semble être essentiellement dû à la notion d'intelligence qui traditionnellement est présentée de façon très imprécise. Des discussions philosophiques des 17^e, 18^e et 19^eme siècles, il nous reste une conception assez floue de l'intelligence qui apparaît en général comme étant "tout ce qui distingue l'Homme de l'animal (et a fortiori de la machine)". . ; la parole étant le propre de l'homme, on en déduit assez rapidement que parole et intelligence sont liées.

Des études importantes en psycho-linguistique se basant sur le développement simultané du langage et de l'intelligence chez l'enfant et sur la comparaison entre l'Homme et le chimpanzé ont montré l'importance du langage dans le développement de l'intelligence [VIAU - 71]. PIAGET qui a observé avec patience les phénomènes d'apprentissage et de modélisation chez l'enfant pense qu'il y a interaction réciproque entre le langage et les processus de modélisation qui sont à

la base de ce qu'on a coutume d'appeler intelligence. Encore faut-il noter à ce sujet que des théories différentes, voire opposées, peuvent s'affronter comme en témoigne le débat entre PIAGET et CHOMSKY sur langage et apprentissage [PIAG - 79] .

En outre, l'orientation actuelle de la société, qui donne de plus en plus de place aux médias et essentiellement aux techniques audio-visuelles, provoque de plus en plus une dépendance (fausse ou réelle) entre parole et pouvoir. Ceci n'est pas nouveau, mais s'est fortement amplifié depuis l'apparition de la radio et de la télévision. Déjà SOPHOCLE notait que "c'est la parole qui mène le monde" et toute l'histoire des peuples (surtout latins) s'est souvent décidée lors de joutes oratoires ; depuis la GRECE antique jusqu'à nos jours en passant par ROME et la révolution française, toute notre histoire est fortement liée à l'éloquence ou la rhétorique. PLATON, ISOCRATE, DEMOSTHENE en GRECE (ce qui fait écrire à FENELON à propos de la république athénienne que "tout y dépendait du peuple et que le peuple dépendait de la parole") ; CICERON à ROME ; THOMAS D'AQUIN, ABELARD et ALBERT le GRAND au Moyen-âge ; MIRABEAU, DANTON et ROBESPIERRE à la Révolution Française ; NAPOLEON ensuite, dont les formules restent célèbres ; et plus près de nous encore JAURES, THORES, BLUM, DE GAULLE. De nos jours encore, "Ceux qui ont l'expérience de la parole occupent des postes clés" et avec BELLENGER [BELL - 79] on peut se poser cette question : "l'homme de la fin du XX^e siècle ne serait-il capable de penser que quand il parle ?"

Et le mimétisme, de tout temps existant, semble être de plus en plus important à ce niveau. Qui d'entre nous en écoutant par exemple un homme politique, militant, député ou responsable divers,

n'a pas remarqué qu'il parle de la même façon que le leader auquel il se rattache ? Ce mimétisme ne se limitant pas seulement au vocabulaire utilisé mais aussi globalement à la manière de parler, aux intonations, aux rythmes etc...

Je n'ai pas les compétences nécessaires pour parler plus longuement de ce sujet. Néanmoins, cette interconnexion entre parole, intelligence et pouvoir montre, s'il en était nécessaire, l'importance de la parole au delà même de l'aspect qui nous intéresse dans ce travail, à savoir la communication.

Dans la suite donc, nous nous intéresserons essentiellement à la fonction de communication du langage et de la parole, mais il est important de savoir que ce n'est là qu'une facette de la réalité complexe que recouvre les mots "parole" et "langage".

La parole n'est qu'un des moyens naturels de communication pour l'homme. C'est peut être le plus utilisé et le plus naturel, mais il existe aussi tout un langage non verbal : l'écriture, les mouvements et positions du corps, le regard et les expressions du visage, les relations aux objets, les bruits et même les sensations physiologiques telles que rougir ou palir. Si on souhaite classifier ces divers moyens, on peut le faire d'après la manière dont ils seront captés ; on obtient ainsi 3 ou 4 classes qui sont les moyens auditifs, visuels et tactiles, auxquels on peut ajouter les moyens olfactifs.

Par rapport aux canaux visuels et tactiles, la parole a quelques caractéristiques particulières. Elle convient bien à l'émission de message et seule elle permet de le faire lorsqu'on est occupé par ailleurs. Cette caractéristique est importante, spécialement dans des

situations d'alarme ou de danger. De plus sa propagation est omnidirectionnelle et son utilisation peut être simultanée avec d'autres canaux de communication.

1.1.2. Parole, intelligence artificielle et ordinateur

A un moment où la société se tourne de plus en plus vers une société informatique (cf. le rapport NORA-MINC [NORA - 78] les ordinateurs restent encore souvent irritants dans la mesure où ils ne comprennent pas notre langage et restent incapables d'effectuer le travail que nous leur confions si, au départ, nous ne l'avons pas spécifié de A à Z. Dans ce contexte, il n'est pas étonnant de voir de nombreux chercheurs œuvrer à la réalisation du vieux rêve de la machine robot qui parle, comprend, voit et réfléchit.

Les travaux sur la communication Homme-machine se développent donc de plus en plus actuellement : que ce soit la construction automatique de programmes, la reconnaissance de caractères, dessins, images ou parole, la compréhension de texte, l'inférence automatique, tous ces domaines font l'objet de nombreuses recherches que l'on regroupe souvent sous le terme d'Intelligence Artificielle (I. A.).

Les premières tentatives dans le domaine de l'intelligence artificielle, ainsi désignée par opposition à l'intelligence humaine, se sont appuyées sur la rapidité d'exécution de l'ordinateur. Une première génération de systèmes consistait, face à un problème, à

faire exécuter par l'ordinateur l'ensemble des choix possibles et à retenir la solution la meilleure au sens d'une fonction de score ou d'estimation. De telles méthodes se sont vite heurtées à des difficultés quasi insurmontables dues à l'aspect combinatoire des problèmes à résoudre (c'est le cas en particulier pour la reconnaissance de la parole). Les informaticiens durent alors rechercher des "raccourcis" plus ou moins rigoureux : ces techniques, le plus souvent fruit de l'expérience, sont maintenant communément appelées heuristiques. Ainsi peut-on petit à petit repousser les limites de l'ordinateur et lui permettre de traiter des problèmes dont la spécification mathématique telle qu'elle est définie dans [FINA - 79] ne peut pas toujours être donnée de façon exhaustive. Le plus souvent pourtant, l'absence de rigueur n'est pas due à une imperfection du modèle mais à la nécessité d'accélérer les traitements pour arriver à un temps de traitement raisonnable. Pour ce qui concerne la reconnaissance de la parole, les deux aspects précédemment cités (insuffisance du modèle et contraintes de temps d'exécution) entrent en jeu. Nous avons en cours une étude sur la spécification du problème de reconnaissance rendue possible grâce à un soutien du C.N.R.S. sous forme d'A.T.P. et dont on trouvera les premiers résultats dans [PIER - 80].

C'est donc dans cette optique et avec ces techniques que se sont développées les études sur la reconnaissance et la compréhension de la parole. Pour permettre à l'Homme et à l'ordinateur de communiquer par la voix, de nombreuses recherches sont en cours, qui toutes utilisent des techniques de type Intelligence Artificielle et où les heuristiques ont une grande place. Néanmoins, afin de ne pas tomber dans le travers qui consiste à réaliser des systèmes ad hoc, nous verrons que les efforts des chercheurs s'orientent de plus en

plus vers des études distinguant données (dans le sens d'informations et traitement associés) qui seront définies le plus rigoureusement possible et stratégies d'utilisation qui reposent en grande partie sur des choix d'heuristiques particulières. Comme nous le verrons par la suite c'est dans ce cadre que s'inscrivent nos recherches.

1.1.3. Systèmes intelligents et apprentissage

L'objectif de toutes ces études est de réaliser des systèmes informatiques servant d'interface de communication entre l'homme et la machine et effectuant une sorte de traduction entre les supports de la communication pour l'homme (dessin, images, écriture, parole...) et un codage particulier seul compréhensible par la machine.

Notre objectif, dans ce paragraphe, n'est pas de décrire ces systèmes ; l'ensemble de ce manuscrit se contentera d'ailleurs d'en décrire partiellement un dans le cadre particulier du traitement de la parole. Néanmoins, avant d'aller plus avant, il apparaît nécessaire d'explicitier deux qualificatifs souvent utilisés pour de tels systèmes : système intelligent et système à apprentissage.

On peut bien sûr dire qu'un système intelligent est un système utilisant des techniques d'intelligence artificielle, mais la définition que nous avons donnée ici de l'intelligence artificielle est trop vague et trop générale. Il est donc intéressant de citer la définition donnée par J. HEBENSTREIT.

"Un système en interaction avec son environnement est dit intelligent si :

- le système possède un modèle de son environnement ;
- avant d'entreprendre une action sur l'environnement visant à un résultat déterminé, le système teste cette action en la simulant sur son modèle ;
- lorsque le résultat de la simulation n'est pas favorable, une autre action visant au même résultat est simulée jusqu'à la découverte d'une action conduisant à un résultat favorable.

Cette action est alors exécutée sur l'environnement avec deux issues possibles :

- si le résultat de l'action sur l'environnement confirme le résultat contenu en simulation, le modèle est renforcé ;
- si le résultat de l'action sur l'environnement est différent du résultat obtenu en simulation, le modèle est corrigé en fonction du résultat obtenu". [HEBE - 71]

Comme le note D. COULON [COUL - 74] "Cette définition correspond à ce qu'il est envisageable de réaliser sur ordinateur. Elle se compose en fait de deux parties qui décrivent ce qu'il est usuel d'appeler : la prévision et l'apprentissage".

La prévision, c'est le modèle tel que le chercheur peut le décrire au début de son travail et qui va servir de support aux tests successifs du système. Quant à l'apprentissage, il pourra être de divers types. Plusieurs études ont été réalisées sur ce sujet dont [FLUH - 77] auxquelles on pourra se référer. Pour notre part, nous distinguerons schématiquement trois types d'apprentissage possible dans un tel système :

(i) apprentissage en amont de la construction définitive du système : cette phase doit toujours exister et elle correspond à la mise au point et à l'affinage successif du ou des modèle (s) présent (s)

dans le système ;

(ii) apprentissage lors de la mise en œuvre effective du système sur une application donnée : c'est une phase de paramétrisation du modèle qui peut être entièrement ou en partie automatisée ;

(iii) apprentissage lors de l'utilisation courante du système : elle permet de mémoriser les travaux effectués en vue d'une amélioration constante des résultats.

Si le premier type d'apprentissage existe toujours, le second n'est pas toujours mis en œuvre. C'est pourtant lui qui permet d'obtenir un système indépendant d'une application donnée. Quant au troisième type, celui qui correspond sûrement le plus à ce que nous appelons apprentissage pour l'homme et qui seul permet de tenir compte des expériences passées, il n'est que très rarement mis en œuvre car c'est celui qui pose à l'informaticien le plus de problèmes de réalisation.

Après avoir présenté ces quelques remarques qui permettront de mieux situer le travail présenté dans cette thèse, limitons nous maintenant à l'étude d'un sous aspect du langage, à savoir le langage oral comme support de communication.

1.2 EMISSION ET PERCEPTION DE LA PAROLE

La chaîne de communication orale entre un locuteur et un auditeur permet de relier deux cerveaux par l'intermédiaire de la bouche et des oreilles ou plutôt du système phonatoire et du système auditif.

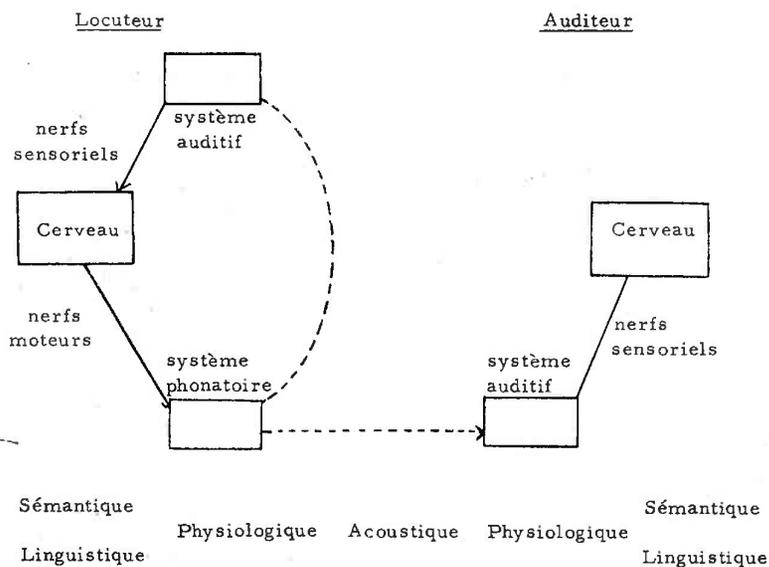
Nous ne redétaillerons pas ici la présentation des conduits vocaux et auditifs, ni celle des sons élémentaires de la parole. D'autres l'ont fait mieux que je ne pourrais le faire. Le lecteur qui souhaiterait rafraîchir ses connaissances à ce propos pourra se référer à [HATO - 74 - b], [HATO - 78], [MERC - 77], [MALM - 71] ou [FLAN - 65] .

Si l'on reprend le schéma de communication oral donné par J. P. HATON (cf. figure A.1.1.) on peut dire que nous nous intéresserons plus particulièrement aux niveaux sémantiques et linguistiques en laissant un peu dans l'ombre les niveaux physiologiques et acoustiques tout en étant conscient de l'interaction entre ces niveaux.

La chaîne de communication orale peut être considérée en première approximation comme un double processus symétrique avec d'un côté :

- l'émission qui permet de passer de l'idée à la commande des nerfs moteurs du système phonatoire, d'un autre côté :
- la perception : qui, elle, permet de passer de la parole, captée sous forme "d'impulsions" sur les nerfs sensoriels de l'oreille, à l'idée.

Cette schématisation fait abstraction de l'interaction possible entre l'émission et la perception chez le locuteur qui lui permet de réaliser un auto-contrôle sur la parole produite.



Les divers niveaux dans la communication orale

(d'après J. P. HATON)

figure A.1.1

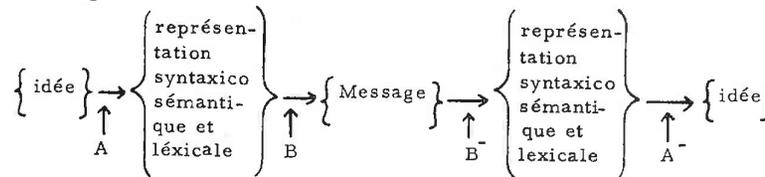
En fait il ne s'agit ni plus ni moins d'un vaste système d'encodage et de décodage qu'on peut aussi schématiser comme suit :



figure A.1.2

Les mots même d'encodage et de décodage suggèrent la traduction

du message en un code à partir d'un autre code. On peut donc proposer une schématisation de la communication orale quelque peu différente et faisant apparaître un code intermédiaire entre l'idée et le message.



encodages et décodages successifs en communication orale

figure A.1.3

Si on accepte un tel schéma, on voit apparaître deux étapes dont l'organisation séquentielle est symétrique pour l'émission et la perception, et grossièrement on peut dire que :

- (i) l'étape A (ou son inverse A^-) est plutôt du niveau de la psycholinguistique et nul ne peut prétendre connaître les divers mécanismes qui la régissent ni leur organisation. Une fois de plus, je me retrouve hors de mes compétences et ne peux que faire référence à des études spécialisées dont on trouvera une bonne introduction dans [HORM - 74] .
- (ii) l'étape B (son inverse B^-) quant à elle prend le message en route et a pour rôle essentiel de le structurer : c'est plus particulièrement le domaine de la linguistique.

Pour notre part, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'étape B^- dans le cadre de la réception du message. Nous serons donc

donc amenés à faire de la "linguistique". Mais le sens que nous donnerons à ce mot sera très limité à l'inverse de véritables linguistes qui, tel SAUSSURE, ont étudié ou étudient "la langue en elle-même et pour elle-même"; nous nous limiterons à l'étude et l'utilisation d'un certain nombre de contraintes linguistiques permettant de décoder le message et de fournir non pas "la" mais "une" représentation syntaxico-sémantique de l'énoncé de départ en vue d'une utilisation précise. Comme nous le verrons, ces utilisations sont diverses et, pour notre part, nous considérerons le but atteint si cette représentation nous permet de redonner le message sous une autre forme (synthèse par exemple) ou de le paraphraser. C'est dans cet esprit que je préfère parler en reconnaissance de la parole de l'utilisation de contraintes linguistiques plutôt que, de façon plus générale, de l'utilisation de la linguistique.

Le message d'entrée ou continuum sonore a comme caractéristique principale sa continuité. Il sera donc nécessaire pour parvenir à une représentation syntaxico sémantique de retrouver les diverses unités linguistiques composant ce message. Sans cette étape indispensable on ne peut espérer mener à bien un tel décodage. FLANAGAN explique cela fort bien lorsqu'il écrit [FLAN - 65] "Pour être un support approprié à la transmission de l'information, une langue doit être susceptible d'être décrite par un nombre fini de sons distincts et mutuellement exclusifs. Autrement dit, on doit pouvoir décrire cette langue en termes d'unités fondamentales ayant la propriété suivante : la substitution d'une unité à une autre dans un énoncé entraîne un changement de sens". On peut distinguer quatre niveaux de description :

- le trait
- le phonème
- le mot
- la phrase

liés entre eux par les relations suivantes :

le phonème est un ensemble de traits, alors que le mot est une sous liste ordonnée de phonèmes, quant à la phrase, c'est un arrangement particulier de mots respectant un certain nombre de contraintes décrites dans la grammaire du langage.

L'étape B[~] de la perception peut donc se décomposer comme suit :



Dans notre étude nous considérerons les phonèmes comme l'élément pivot. Deux passages difficiles sont donc à étudier :

(i) du signal acoustique aux traits et aux phonèmes

Cette étape dans notre système est prise en charge essentiellement par C. SANCHEZ et J. Y. PERROT.

(ii) des phonèmes à la représentation de la phrase

C'est cette étape qui a fait l'objet de l'étude présentée dans cette thèse.

De plus, nous situant dans un cadre de communication, c'est à dire de transmission d'information, nous serons obligés de

respecter les caractéristiques d'un système de communication tel que l'a défini SHANNON. Son modèle de base suppose que le récepteur sache à l'avance quels sont les messages possibles. Autrement dit, le récepteur doit disposer du même répertoire de messages possibles que l'émetteur qui choisit dans ce répertoire le message à transmettre.

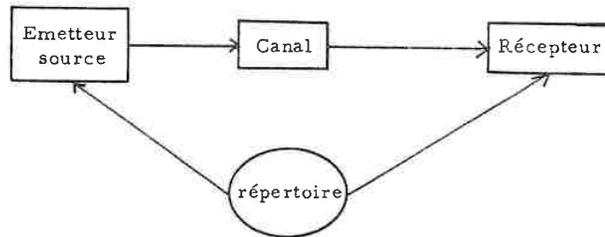


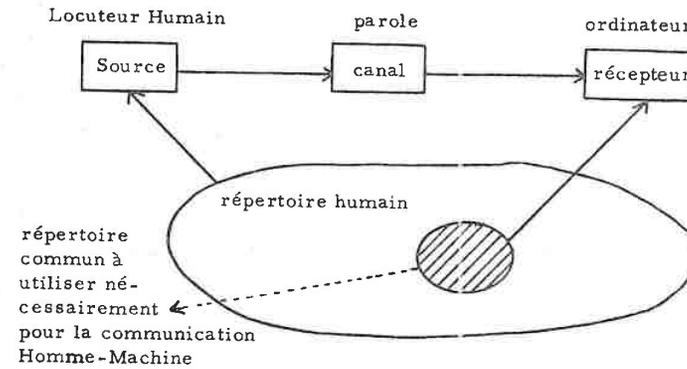
Schéma d'un système de communication

Figure A.1.4.

En fait, la source étant dans notre cas un locuteur humain et le récepteur étant l'ordinateur, le répertoire de l'un et de l'autre ne sera pas identique. Nous serons donc amenés à définir pour l'ordinateur un répertoire phonétique, lexical, syntaxique et sémantique qui ne sera qu'un sous-ensemble du répertoire général de l'homme. Pour des raisons liées à l'encombrement mémoire et au temps d'exécution, nous verrons que ce répertoire informatique devra être assez limité et orienté vers une application particulière, d'où l'importance d'un apprentissage pour passer d'une application à une autre.

Dans ce cadre bien précis, nous ne pouvons espérer arriver au but que nous nous sommes fixé que si le locuteur humain

a construit son message à partir du répertoire informatique. Sans cela la source et le récepteur n'auraient pas la même référence et, comme le souligne SHANNON, le décodage nécessaire au niveau du récepteur ne serait pas possible.



système de communication Homme-Machine

Figure A.1.5.

L'automatisation de ce processus nécessite donc deux choses

- (i) définir un répertoire approprié à un tel traitement ; ce sera l'objet essentiel de la partie B ;
- (ii) réaliser un système de décodage à l'aide de ce répertoire ; le système MYRTILLE présenté en partie C répondra à cet objectif.

1.3 LE DIALOGUE EN COMMUNICATION ORALE

Il ne s'agit pas dans ce paragraphe de faire une étude exhaustive et précise de ce qu'on appelle couramment dialogue ou conversation - une fois de plus, je ne ferai que renvoyer vers d'autres ouvrages [BELL - 79], [CONV - 79] - mais de fournir quelques caractéristiques et propriétés du dialogue qui nous permettent de voir les avantages et les limites de son utilisation en reconnaissance automatique.

1.3.1 Importance du dialogue en communication orale

Tout d'abord, il semble qu'on puisse affirmer que sans dialogue il n'existe pas de véritable communication orale ou du moins qu'elle se réduit à une transmission d'informations non satisfaisante pour l'homme. Comment réagissons-nous si l'auditeur ne répond pas ?... Un élément de réponse peut peut-être nous être fourni par l'observation d'un correspondant qui au téléphone se trouve affronté à un répondeur-enregistreur automatique. Sauf cas de personnes ayant une grande habitude de tels appareils, le correspondant essaie le plus souvent de provoquer une réaction de la machine par des questions incongrues. De simples observations de ce type montrent, s'il en était besoin, qu'un système complet de reconnaissance ou de compréhension de la parole doit posséder un module de dialogue.

De plus le dialogue a en général des rôles multiples :

- c'est tout d'abord établir un contact et à ce niveau il semble important qu'un processus automatisé puisse prendre en compte cet

aspect... peut être simplement parce que chacun d'entre nous lorsqu'il parle veut être sûr qu'il sera écouté !

- le second rôle du dialogue est un rôle de confirmation ou d'information. Et là encore il me semble que, outre des raisons d'efficacité et de sûreté (ne pas s'appuyer sur une mauvaise compréhension) cette réalité répond à un besoin psychologique essentiel. Car si, comme nous l'avons noté précédemment, on a besoin d'être sûr qu'on nous écoute, on a aussi besoin de s'assurer qu'on nous a compris.

- Enfin un troisième rôle du dialogue est de permettre d'obtenir des précisions sur ce qui vient de se dire. Sans penser discussion, ce rôle est souvent très important lorsque, comme ce sera le cas pour un système automatisé, l'acte de parole sert à transmettre une information en vue d'une action future.

Mais dans le cas général, le dialogue correspond le plus souvent à une communication multicanaux faisant intervenir outre la parole, les gestes, les mimiques etc... toute une partie du dialogue que l'on peut qualifier de non verbal. Le tableau A.1.6. reprend le tableau du langage non verbal de BELLENGER [BELL - 79].

L'une des principales difficultés que nous rencontrerons lors de l'élaboration de procédures de dialogue en communication orale Homme-machine sera précisément de ne se limiter qu'au canal verbal. Il nous faudra pour cela, d'une part supprimer de la parole un certain nombre d'éléments non verbaux, qui sont ceux classés sous le nom générique de bruit dans le tableau A.1.6., d'autre part, remplacer un certain nombre d'autres éléments par une possibilité de verbalisation dans le dialogue lorsqu'ils modifient de façon essentielle le sens du message. De plus, nous limitant à un conseil particulier, nous allons perdre de l'information par rapport à un dialogue normal et

TABLEAU DU LANGAGE NON VERBAL

Nature du non-verbal	Formes qu'il peut prendre	Interprétations possibles
Le regard	— Fixe, fuyant, mobile, circulaire, instable, vide, « ailleurs »...	— Renseigne sur l'adhésion aux idées — Renseigne sur la vie intérieure — Prend une signification morale (franc, sincère, honnête) — Sert à juger (bête, intelligent...)
Les expressions du visage	— Toutes les mimiques (front, sourcils...), grimaces, sourires, tics (bouche en coin...)	— Elles anticipent sur la parole — Elles renseignent sur l'écoute — Elles reflètent le « confort » et la tension de l'orateur
Les mouvements de la tête	— Nature du maintien, du port..., hochements, balancements, rigidité, verticalité, étirement du cou	— Ils ponctuent la phrase, suivent de près les intonations, les renforcements — Ils se substituent à la parole pour dire : oui, non, un peu, presque
Les mains	— Se croisent, se posent à plat, battent l'air, s'ouvrent, se ferment, se serrent, se crispent, les doigts jouent à mimer	— Les mains doublent la parole. Elles « imagent » la pensée, dessinent — Elles enregistrent la tension, le trac ou l'aisance (fébrilité, confort, dynamisme, apathie)
Les gestes	— C'est la mise en jeu des avant-bras, des bras et des épaules, une infinité de gestes est possible. Ils relèvent de l'expression corporelle	— Le geste donne naissance à la parole. Le corps « libéré » bouge — Les gestes sont un remède au trac — Les gestes rendent vivante la parole — Certains ne relèvent que de l'intention de se donner une contenance
La position du corps	— Maintien du buste — Position des jambes (serrées, écartées, plées, tendues) — Façon de s'asseoir — Nature de l'équilibre (où est le centre de gravité ?)	— La position du corps « colle » au tempérament (buste en avant, en arrière). Elle contribue à mettre à l'aise (respiration, ascendant, confort), renseigne sur le degré d'assurance, de timidité, de désinvolture, de conviction
Les mouvements du corps	— Se lever, s'asseoir — Faire les cent pas... — Se redresser, se tasser — Tourner en rond, piétiner	— Le corps enregistre des sensations plus générales provenant de la façon dont est vécu le dialogue (contentement, étonnement, inquiétude, agacement...)
Les relations aux objets	— Jeu avec les stylos — Les bijoux, les cigarettes — Les montres, les lunettes — Le visage en tant qu'objet — Les boutons des vêtements — Faire des dessins, griffonner	— Les objets servent d'exutoire à la nervosité, la tension, l'appréhension, l'objet et l'activité qu'il suscite sont un refuge (volonté de se retrancher...), la relation aux objets est manifestation du détachement, de la lassitude..., la relation aux objets est parfois simple — recherche de contenance
Les bruits	— Toux, toussotements — Râclement de gorge — Tapotements — Soupirs — Mots parasites (euh... n'est-ce pas...)	— Les bruits peuvent être compris comme volonté de se manifester en dehors de la parole — Leur signification peut être totalement contradictoire
Les sensations physiologiques	— Rougir, pâlir — Avoir chaud, froid — Se crispier, bégayer — Trembler — Respiration haletante	— Elles renseignent sur le trac, l'émotion, la tension de celui qui parle

Le langage non verbal dans le dialogue oral

(d'après BELLENGER L.) Tableau A.1.6.

cette information, si elle est nécessaire, devra être incluse directement dans le message oral.

A ces caractéristiques générales du dialogue, il nous faut ajouter de plus la distinction entre les dialogues dits intelligents et ceux qui ne le seraient pas. Cette distinction se fonde le plus souvent sur le fait qu'il y ait ou non des anticipations, à bon escient si possible, dans les réponses. Ces anticipations correspondent essentiellement pour celui qui répond à prendre en compte des informations faisant partie d'un ensemble de connaissances a priori sur l'univers du dialogue. Nous verrons que cela est loin d'être facile à réaliser et nécessite pour la machine d'avoir de telles connaissances a priori le plus souvent sous la forme de scénario de dialogues possibles et de modèles du locuteur.

Par contre un avantage que nous essayerons d'exploiter au maximum est que tout dialogue nécessite une restriction de l'univers, du domaine où l'on se place (pragmatique). Sans cela on risque très vite d'obtenir ce qu'on a coutume d'appeler un "dialogue" de sourds" qui n'a jamais rien apporté sauf si l'on souhaite faire des jeux de mots et obtenir un effet comique (cf. Almanach VERMOT) !

Pour terminer ce paragraphe, notons que l'on distingue souvent dialogues libres et dialogues dirigés. Il va sans dire que seuls les dialogues dirigés seront automatisables. Néanmoins, pour le confort psychologique de la personne qui utilisera le système, tout l'effort du concepteur sera de réaliser un tel dialogue sous des apparences les moins contraignantes possibles pour l'utilisateur !

1.3.2 Les différents types de dialogues

Sans vouloir faire ici une revue générale allant du mot à mot de l'enfant aux joutes oratoires, il est important de noter les différences essentielles entre quelques grands types de dialogues afin de mieux voir de quel type de dialogues nous allons parler dans la suite :

- (i) les dialogues enfantins. Ils ont comme caractéristique essentielle d'avoir des phrases d'une structure syntaxique très pauvre, mais pouvant couvrir un vaste champ sémantique. Les énoncés se limitent le plus souvent à un sujet, un verbe et un complément, le groupe nominal étant lui-même très pauvre. Par contre leur vocabulaire, en général assez limité, fait le plus souvent appel à des domaines très divers.
- (ii) les dialogues courants. Ils ont pour leur part une structure syntaxique assez riche, mais leurs principales caractéristiques sont :
 - une grande liberté par rapport à la syntaxe
 - un vocabulaire très étendu
 - des champs sémantiques très divers permettant dans un même dialogue de passer facilement d'un sujet à un autre.
- (iii) un troisième type de dialogue regroupe ceux que nous appellerons les "dialogues experts" par analogie aux systèmes experts tels qu'ils furent définis, essentiellement aux U.S.A. et dont MYCIN peut être considéré comme un bon exemple [SHOR - 76]. De tels dialogues se limitent à un domaine

particulier et leur vocabulaire est suffisamment "consistant" (quelques centaines de mots) pour permettre un dialogue naturel sur un sujet précis. La syntaxe des énoncés, assez riche, est le plus souvent respectée et la structure du dialogue est en général assez précise.

Pour notre part, c'est ce dernier type de dialogue que nous souhaitons aborder. Il permet de rendre compte des échanges utilisés dans des systèmes de questions-réponses, d'interrogation de Bases de données ou de centre de renseignements spécialisé.

Pour permettre une reconnaissance automatique de tels énoncés il nous faut de plus mettre en évidence un certain nombre de tournures du français que l'on éliminera d'emblée des phrases possibles de ces dialogues. Ce sont celles qui posent les problèmes les plus difficiles et qui ne sont d'ailleurs pas toujours bien résolus même lorsqu'il s'agit de textes écrits. Citons parmi elles :

- les références pronominales qui à elles seules font encore l'objet de nombreuses études de la part des linguistes. Les seules références pronominales que nous prendrons en compte seront les pronoms sujets et les pronoms relatifs qui et que. Et là encore, nous résoudrons les références pronominales de façon très schématique. Pour les pronoms sujets nous supposerons que la 1ère personne renvoie au locuteur, la seconde au système, la troisième enfin sera considérée comme pronom indéfini ou impersonnel. Quant au relatif nous supposerons qu'il fait toujours référence au nom qui le précède immédiatement, ce qui est loin d'être toujours le cas en français !

- les métaphores ou images qui seront systématiquement évitées pour des raisons évidentes d'interpolation ;

- les présupposés enfin qui seront strictement limités et qui devront tous faire partie du répertoire fourni à l'ordinateur.

Nous verrons, lorsque nous présenterons le langage traité dans le système MYRTILLE, d'autres limitations que nous avons imposées au langage. Mais, dès maintenant, retenons que seuls les dialogues experts sans références pronominales autres que triviales, sans métaphores ou images et avec des pré-supposés minimum peuvent être automatisés pour l'instant.

1.4 LE DIALOGUE ORAL DANS LA COMMUNICATION

HOMME - MACHINE

Les domaines d'application de la parole dans la communication Homme-machine sont très divers ; parmi eux on peut citer :

- la saisie des données : en effet dans bien des cas les encodeurs magnétiques ou les claviers peuvent ou pourraient être avantageusement remplacés par une saisie orale ;
- l'aide aux handicapés, : que soit par des systèmes de reconnaissance tel le cadran téléphonique commandé par la voix [BELL - 71], ou l'aide aux mal-entendants [HATO M. C. - 81] ;
- l'identification de locuteurs pour des applications nécessitant un accès privilégié et une grande sécurité [GREN - 78] ;

- l'enseignement assisté par ordinateur ; dans ce cadre il faut je pense donner une place toute particulière à l'apprentissage des langues étrangères où des aides vocales semblent particulièrement bien adaptées ;
- la commande orale d'ordinateur à la fois comme aide au pupitre [VYSO - 70] ou comme aide au programmeur, bien que, pour ce qui concerne la programmation dite orale dont des exemples récents furent donnés tant en BASIC [NIIM - 78] qu'en FORTRAN [SHIG - 78], on voit mal l'apport de la parole... Quels sont en effet les programmeurs capables de dicter un programme sans l'avoir préalablement écrit ?
- la bureautique qui regroupe en particulier toutes les aides informatiques au secrétariat. Les entrées vocales peuvent y être particulièrement utiles et, au sein de notre équipe, nous avons en projet l'utilisation du système MYRTILLE I dans un tel cadre ;
- mais surtout le vaste domaine des systèmes "question-réponse", d'aide à diverses tâches (diagnostic médical, cartographie [GODL - 77], commandes de processus) ou d'interrogation de Bases de données ou de centres de renseignements spécialisés.

C'est d'ailleurs en vue d'applications de ce dernier type que nous avons développé les systèmes MYRTILLE tout en sachant qu'actuellement on ne peut envisager leur utilisation par le grand public mais uniquement par des spécialistes qui en connaîtront les limites et les possibilités.

La caractéristique essentielle de tels systèmes réside dans la nécessité d'une interaction, d'un dialogue entre le locuteur (l'utilisateur) et la machine. Le plus souvent un tel dialogue correspond à ce que nous avons appelé un "dialogue expert" qui a toute chance de pouvoir être automatisé en partie.

Dans un tel système, il doit donc exister deux composants essentiels :

- un module de synthèse
- un module de reconnaissance ou de compréhension

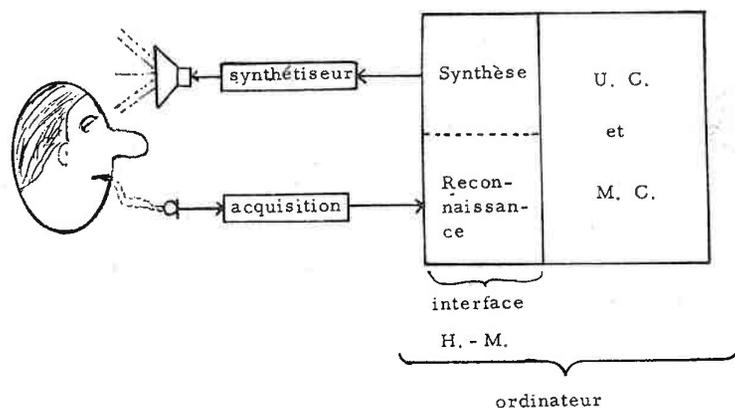


Schéma d'un système de dialogue H. M.

figure A.1.7.

La synthèse peut actuellement être considérée comme étant du domaine pré-industriel. Il existe d'ailleurs déjà sur le marché des unités à réponse vocale, même si de nombreuses études théoriques restent ouvertes en vue de l'amélioration de la qualité et de

l'intelligibilité des voix synthétiques grâce essentiellement à l'utilisation d'informations prosodiques ou rythmiques [LIEN - 79] .

Quant à l'étage de reconnaissance dont l'avancement des travaux est moindre il reste encore, du moins pour ce qui concerne la parole continue, du domaine de la recherche.

A ce propos il faut noter que les différences entre compréhension de la parole et compréhension de textes écrits sont très importantes. Car, outre le fait qu'en parole continue il n'existe pas de séparateur de mots tel l'espace dans le texte écrit (les pauses interviennent souvent à des moments non significatifs car elles sont le plus souvent motivées par des contraintes physiologiques de respiration) nous verrons que les mots courts de liaison, souvent porteurs de beaucoup d'informations syntaxiques ne pourront en aucun cas servir de support à la reconnaissance. Car soit on les reconnaîtra toujours et n'importe où, soit on ne les reconnaîtra jamais.

C'est pourquoi, même si nous utilisons des enseignements apportés par la compréhension de textes écrits, les techniques mises en œuvre pour le traitement de la parole seront fort différentes.

Notons enfin qu'une des difficultés essentielles résidera dans la prise en compte des diverses sources d'informations (syntaxe, sémantique, pragmatique, prosodie...) dont il n'existe aucun modèle cognitif adapté à la reconnaissance. Car jusqu'alors les études menées sur le langage ont conduit à des modèles génératifs qui s'avèreront peu adaptés aux types de traitements que nous souhaitons réaliser (cf. chapitre B.3).

CHAPITRE A.2

LES RECHERCHES EN RECONNAISSANCE

AUTOMATIQUE DE LA PAROLE

Voici maintenant 30 ans qu'ont débuté les recherches sur la reconnaissance de la parole. Après une étape purement électronique, ces recherches furent, et restent, largement tributaires des progrès accomplis en informatique : l'introduction de l'ordinateur dans ce domaine, vers 1960, a permis un essor particulièrement important des études et des réalisations.

Après un rappel historique sur les premières réalisations faites en reconnaissance de mots isolés, nous aborderons successivement les distinctions entre méthodes globales et méthodes analytiques, reconnaissance et compréhension et la présentation du niveau de traitement acoustico-phonétique nécessaire dans toutes les réalisations, tant en reconnaissance qu'en compréhension. Nous terminerons enfin par une revue des principaux systèmes de compréhension de la parole continue qui tous utilisent des informations "linguistiques" et dont nos recherches sont proches, parallèles ou tributaires. Nous verrons à cette occasion que ces recherches concernent de nombreuses disciplines et font appel aux techniques les plus diverses.

Notons enfin que nous ne présenterons ici que des travaux ayant contribué directement à la reconnaissance et à la compréhension de la parole et que ce n'est là qu'une partie des études faites sur la parole. D'autres recherches existent en ce domaine et, si elles sont plus éloignées de nos préoccupations, elles n'en sont pas moins importantes et

ont pu faire progresser indirectement la reconnaissance : c'est le cas des études sur la synthèse [LIEN - 79], de celles très importantes sur la production et la perception de la parole, ou celles utilisant les résultats fournis par l'analyse et la reconnaissance dont le vaste domaine de l'aide aux handicapés sur lequel travaille dans notre équipe M. C. HATON [HATO MC - 81] .

2.1 LES DEBUTS DE LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE ET LE TRAITEMENT DE MOTS ISOLES

2.1.1 Systèmes électroniques

Les premiers systèmes de reconnaissance de la parole ont été proposés vers 1950 sous forme d'appareillages électroniques. Bien que très limités, ces appareils ont cependant contribué à faire avancer nos connaissances dans ce domaine.

Une des premières réalisations fut celle de J. DREYFUS-GRAF en 1950 [DREY - 50] . Cet appareil appelé phonétographe fournissait une représentation graphique des sons étudiés. DREYFUS-GRAF a produit différentes versions améliorées de son appareil, dont la plus récente permet la reconnaissance de quelques dizaines de mots courts prononcés par plusieurs locuteurs. Ensuite il proposa une codification particulière des différents mots en phonocodes, sorte de langage entièrement artificiel, et poursuivit jusqu'à maintenant ses études dans ce domaine [DREY - 79] . Par ses premiers travaux

et son intérêt constant pour le domaine, (DREYFUS-GRAF) peut, à juste titre, être considéré comme un pionnier en ce domaine.

Mais revenons au traitement de la parole courante... Le premier appareil capable de reconnaître les dix chiffres fut présenté en 1952 par les laboratoires BELL [DAVE - 52] . Le taux de reconnaissance atteignait 99 % pour un seul locuteur. En 1958 une version plus évoluée [DULE - 58] donnait un taux de reconnaissance de 90 % pour divers locuteurs après un certain temps d'adaptation à la machine.

Une autre réalisation intéressante fut présentée en 1956 par OLSON et BELAR (R. C. A. Lab) [OLSO - 56] . Appelée de façon un peu ambitieuse "machine à écrire phonétique", elle était capable de reconnaître dix mots très courts prononcés par un seul locuteur en utilisant la syllabe comme suite de reconnaissance.

En 1958, une nouvelle étape est franchie par DENES [DENE - 58] grâce à un système à deux "étapes" dans lequel une reconnaissance purement acoustique était affinée par l'utilisation de contraintes linguistiques. L'amélioration obtenue étant de 20 %, il prouvait ainsi la validité de la méthode.

Tous ces systèmes étaient entièrement cablés et très vite leurs limites furent atteintes : il n'était pas possible de mémoriser toute l'information nécessaire à la reconnaissance de vocabulaires plus étendus.

2.1.2 Systèmes informatiques et reconnaissance de mots isolés

Les ordinateurs, apparus en ce domaine vers 1958, ont donné une nouvelle dimension aux recherches en permettant essentiellement de dépasser les limites de faible capacité de mémoire, caractéristique des systèmes entièrement électroniques. L'utilisation de l'ordinateur en reconnaissance de la parole devient quasi générale à partir de cette date.

Les premières expériences d'utilisation de l'ordinateur furent réalisées aux Etats-Unis [1959 - 1961] dans les laboratoires du M. I. T. et d'I. B. M. Tous ces chercheurs effectuaient une analyse spectrale de la parole à l'aide d'un système Hardware sauf SHULTZ (I. B. M.) [SHUL - 59] dont le programme, comportant une analyse simulée de la parole, permettait la reconnaissance de 10 chiffres pour 50 locuteurs, hommes et femmes. Tous concluaient à l'utilité indiscutable de l'ordinateur en reconnaissance de la parole.

Au fur et à mesure du développement des ordinateurs, des expériences plus importantes furent tentées. Ainsi vers 1966, on pouvait reconnaître correctement 30 à 50 mots pour plusieurs locuteurs [KING - 66], [GOLD - 66].

La plupart des systèmes correspondaient alors simplement à comparer la forme représentant le mot prononcé à l'ensemble des formes de références préalablement stockées et à sélectionner la meilleure grâce à diverses heuristiques.

Un autre pas important fut franchi à partir de 1968 ; ALTER et REDDY notent à cette époque l'utilité de contraintes linguistiques en reconnaissance de la parole [ALTE - 68], [REDD - 68].

Les deux premières réalisations mettant en œuvre de telles contraintes sont alors celles de VICENS [VICE - 69] et celle de TUBACH [TUBA - 70]. VICENS fut le premier à présenter un système utilisant des données fournies par la syntaxe du langage. Il est intéressant de citer quelques résultats : "92 % de reconnaissance après 16 secondes environ pour une liste de 561 mots ou courtes phrases prononcées par un locuteur". Deux applications de ce système ont été proposées : une machine à calculer de bureau, DESCAL, et le célèbre robot manipulateur, HAND-EYE-EAR.

Un an après (1970), TUBACH, à GRENOBLE, réalisait un système qui reconnaissait pratiquement sans erreur un programme Algol prononcé mot à mot, grâce à des contraintes syntaxico-sémantiques.

Ces recherches sur les systèmes à mots isolés allaient continuer à progresser suivant quatre grands axes :

- reconnaissance de chiffre ou de suite de chiffres [SAMB - 75] [MORE - 81] ;
- adaptation aux locuteurs (systèmes multi-locuteurs) [HERS - 72] ;
- utilisation de contraintes syntaxiques [NEEL - 74], [HATO - 74 a]
- études de grands vocabulaires [PERE - 79 a] .

On pourra trouver dans [MART - 76] une revue assez complète des travaux effectués dans ce domaine.

Parallèlement à ce courant de recherche, les premières investigations vers le traitement de la parole continue voyaient le jour

[REDD - 66]. Hélas, en 1969, parut aux Etats Unis un rapport particulièrement pessimiste sur l'utilité de telles études [PIE - 69] qui eut pour effet de retarder le début des recherches sur les systèmes de compréhension de la parole continue. Il faudra deux ans et le rapport NEWELL [NEWE - 71] fortement influencé par l'intelligence artificielle pour relancer ces recherches.

Avant de présenter les divers systèmes proposés pour la parole continue il semble souhaitable de revenir un peu sur des considérations méthodologiques. C'est en effet à partir des années 70 qu'on voit apparaître un certain nombre de classifications des systèmes à travers les termes de "méthode globale", "méthode analytique", "reconnaissance", "compréhension". C'est aussi à partir de cette même époque que les divers systèmes vont tous comporter au moins deux niveaux : un traitement acoustico-phonétique et un "reconnaisseur" de phrase. Nous allons donc préciser ces différents termes avant de poursuivre notre revue sur les réalisations en reconnaissance.

2.2 METHODE GLOBALE ET METHODE ANALYTIQUE

Les travaux que nous avons présentés jusqu'alors se rattachent au premier type de méthode : la méthode globale appelée aussi reconnaissance par "mots" ("mots" signifiant ici tant des mots au sens courant que des expressions ou même des phrases). Cette approche calque à peu près le fonctionnement du cerveau humain lorsqu'il comprend un énoncé oral dans son ensemble sans s'arrêter aux divers composants du message. Il s'agit de comparer globalement le "mot" aux différents mots de références stockés dans un dictionnaire.

Le traitement acoustique préliminaire est assez simplifié ; il n'y a pas de problèmes de segmentation - tous les mots sont séparés par environ 30 ms, ce qui permet une segmentation triviale en mots - par contre il est nécessaire de conserver en mémoire les différentes représentations possibles de tous les mots. A ce niveau, le point délicat est de trouver la meilleure représentation possible des mots. Il n'est pas possible de conserver toute l'information car il faudrait alors plusieurs dizaines de milliers de bits par seconde de parole (30 000 bits/s pour le téléphone). Diverses méthodes existent pour compresser cette information : méthodes spectrales par bancs de filtres ou par analyse de Fourier par exemple, méthodes temporelles par passages par zéro ou L.P.C. Notre objectif n'est pas de détailler ici ces diverses méthodes ; pour plus de renseignements on pourra se référer à [MERC - 77], [HATO - 78] ou [MART - 76].

Cette approche, la plus utilisée jusque vers 1974, nécessite une normalisation en fréquence et en temps, mais se satisfait d'une analyse assez rudimentaire du signal vocal ; en effet, elle se fonde plus sur l'aspect global d'un mot que sur sa structure fine. Les études faites sur cette méthode ont montré sa validité sur des vocabulaires de taille moyenne, dont la limite semble se situer aux alentours d'une centaine de mots.

Son principal inconvénient, outre qu'elle ne permet pas de traiter de gros vocabulaires, est son inadaptation au traitement de phrases. En effet, elle nécessite un énoncé mot à mot des phrases (avec un silence entre chaque mot de l'ordre d'une demi-seconde) et cette contrainte, difficilement mise en place dans le cadre de langages pseudo-naturels, donne une impression très artificielle au dialogue ainsi obtenu.

Les limites des méthodes globales ont conduit les chercheurs vers un second type de méthodes, dites analytiques dont l'objectif est de déterminer dans un premier temps des éléments minimaux ou sons élémentaires (phonèmes, diphonèmes, syllabes...) pour ensuite reconstruire la phrase de départ comme séquence de ces sons élémentaires. Les difficultés rencontrées sont importantes et loin d'être toutes résolues : il faut en effet obtenir cette suite d'éléments phonétiques minimaux, pseudo-phonèmes se rapprochant le plus possible des phonèmes dont personne à ma connaissance n'est capable de fournir la liste des éléments acoustiques caractéristiques (cf. paragraphe A.1.2).

Le processus de traitement nécessitera donc dans ce cas différentes étapes : la segmentation, l'identification des segments et la reconnaissance de phrase. Toute notre étude sera centrée sur la troisième étape. Les deux premières, prises en charge au sein de notre équipe par d'autres chercheurs, ne seront que sommairement présentées dans le paragraphe 4 de ce chapitre. Mais il est nécessaire de préciser dès maintenant qu'actuellement dans le meilleur des cas, seuls 70 % des pseudo-phonèmes pourront être correctement détectés et la reconnaissance de phrase devra donc travailler à partir d'une chaîne phonétique fortement erronée. Ce taux d'erreur particulièrement important n'est pas seulement dû aux limites de la reconnaissance acoustico-phonétique mais aussi à une tendance plus ou moins inconsciente du locuteur à une sorte de "sténo-phonétique" qui privilégie les syllabes fortes au détriment des faibles d'autant plus que le message est long et/ou le débit rapide. Ainsi, en dictée de nombres, "soixante dix neuf" donnera suivant la vitesse :

s w à s ã t d i s n œ f, s o s ã t - d i s n œ f ou même s 's ã t t i s n œ f.

A l'inverse, d'autres fois, le locuteur adjoindra des phonèmes de liaison : "arc de triomphe" deviendra "ar(que de triomphe)".

Une méthode analytique qui ne prendrait pas en compte ces phénomènes et se référerait à une représentation phonétique standard des mots se heurterait inévitablement à des difficultés et serait dans bien des cas inopérante.

Pourtant, si c'est dans le cadre d'une telle reconnaissance analytique que nous avons travaillé à la mise au point de notre système, malgré les difficultés et les limites des chaînes phonétiques obtenues, c'est que seule cette approche permet d'aborder le problème du discours continu et de la parole prononcée de façon naturelle. C'est aussi la seule qui permette de traiter des vocabulaires pratiquement illimités et les chercheurs qui travaillent à la reconnaissance de mots au sein de gros vocabulaires utilisent aussi cette méthode [PERE - 79a] .

2.3 RECONNAISSANCE ET COMPREHENSION

Une autre classification apparaît en traitement de la parole : reconnaissance et compréhension. Cette différenciation est due essentiellement aux chercheurs du projet ARPA "Speech understanding Research" qui distinguent "Speech Recognition System" (S. R. S.) (reconnaissance) de "Speech Understanding System" S. U. S. (Compréhension). Cette distinction me paraît plus historique que réelle ; en effet actuellement la plupart des travaux sont du second type. Essayons néanmoins de fournir une définition de ces termes :

a) systèmes à reconnaître la parole (S. R. S) : leur objectif est d'essayer de reconstituer le message prononcé élément par élément, phonème par phonème. La machine à écrire par commande vocale devrait être de ce genre mais raisonnablement, je ne pense pas que ce siècle la connaîtra.

b) systèmes à comprendre la parole (S. U. S.) : dans cette optique, on s'attache à reconnaître globalement, grosso-modo, le message sans trop s'arrêter aux détails manquants et même si des erreurs subsistent au niveau de la reconnaissance d'un ou plusieurs mots de la phrase. De tels systèmes, comme nous le verrons, utilisent souvent des techniques de type intelligence artificielle, spécialement en ce qui concerne l'usage fréquent de retours en arrière ("back-tracking"), et surtout de connaissances sur le domaine d'application, pour déterminer la solution optimale.

Compte tenu de ces définitions et du fait qu'au niveau acoustico-phonétique on ne peut espérer actuellement guère plus de 70 % de bonne reconnaissance, les systèmes à reconnaître sont contraints à l'échec sauf s'ils se situent dans le cadre très contraint de langages artificiels possédant peu d'ambiguïtés sur les mots.

Notons enfin que la plupart des systèmes mis en œuvre le furent en lien avec une application ou un type d'applications. Dans ce cas, leur finalité est de provoquer l'action correspondante à la demande de départ et ils sont alors nettement du type compréhension.

Il faut enfin faire une distinction supplémentaire entre compréhension et interprétation. Bien que ces deux étapes puissent être confondues, nous appellerons compréhension de phrase l'étape qui permet

le passage entre la chaîne de pseudo-phonèmes, résultats du traitement acoustico-phonétique et une représentation syntaxico-sémantique interne de la phrase, et interprétation de phrase, l'étape qui à partir de cette représentation interne permet de fournir la réponse à l'énoncé de départ (déclenchement d'une action quelle qu'elle soit).

Ainsi nous considérons qu'un système peut être logiquement décomposé en trois étapes :

- (i) reconnaissance phonétique qui fait passer du signal à une suite, une chaîne ou un treillis de sons élémentaires labellés (pseudo phonèmes dans notre cas). Cette phase de reconnaissance existe dans tous les systèmes de compréhension, c'est une sorte de frontal entre le traitement du signal et la phase de compréhension. Ce ne fut pas l'objet de nos travaux ; néanmoins nous allons présenter dans le paragraphe suivant le frontal de MYRTILLE, fruit du travail d'autres chercheurs dont essentiellement C. SANCHEZ ;
- (ii) compréhension de phrase : c'est l'essentiel de nos travaux dont on trouvera le détail dans les parties B et C ;
- (iii) interprétation très liée à la phase précédente ; on l'abordera aussi dans les parties suivantes et c'est l'objet d'études menées conjointement avec S. SABBAGH.

La figure A. 2.1 schématise un système de compréhension de la parole tel que le système MYRTILLE.

Notons à ce niveau que le schéma correspond à une approche du problème..., d'autres approches existent : ainsi le projet ARIAL II du

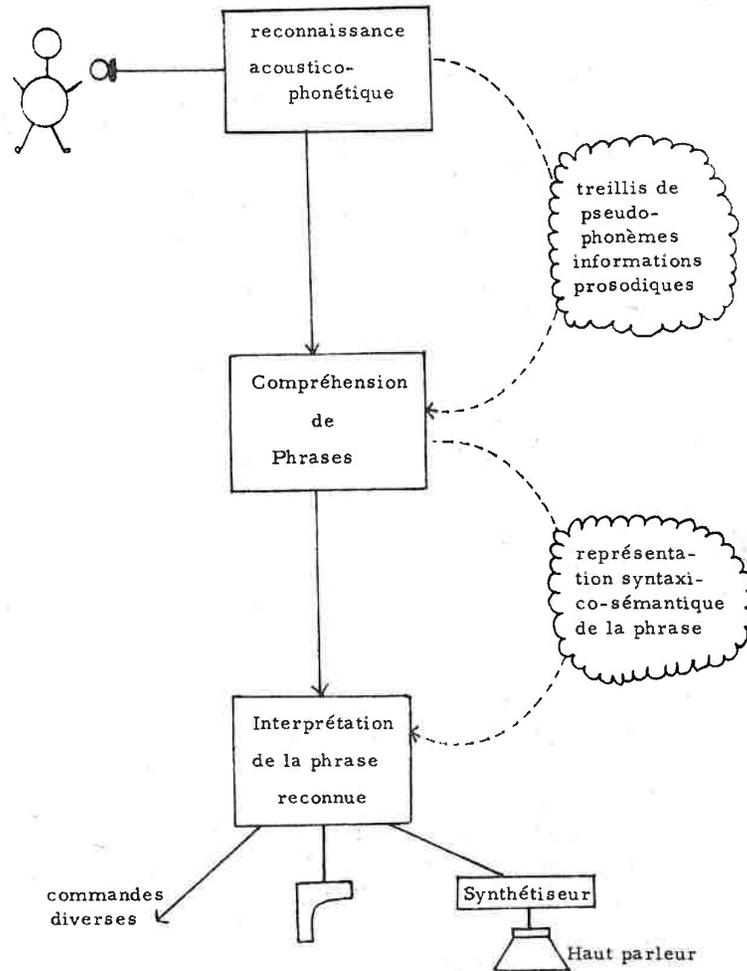


Figure A. 2.1. Schéma logique d'un système de compréhension de la parole

N. B. Non compte tenu des interactions possibles entre ces divers niveaux.

CERFIA de TOULOUSE (PERE - 80) considère que le lexique ou plutôt le décodage lexical est l'un des pivots essentiels et guide fortement la reconnaissance phonétique. Dans l'état actuel de nos connaissances il est trop tôt pour dire si l'une de ces approches est meilleure que l'autre... On ne peut au contraire que se réjouir de voir étudier parallèlement ces deux approches assez complémentaires à notre avis.

2.4. TRAITEMENT ACOUSTICO-PHONETIQUE : LE FRONTAL DE MYRTILLE II

2.4.1. Objectif d'un tel traitement et méthodes générales

Le but recherché par cette étape de traitement est d'obtenir une chaîne ou un treillis d'unités minimales qui le plus souvent sont de type pseudo-phonèmes. Nous parlerons en effet plutôt de pseudo-phonèmes que de phonèmes car les unités ainsi obtenues ne correspondent pas forcément à des phonèmes au sens précis utilisé par les phonéticiens. Pour obtenir un tel résultat à partir du continuum sonore, il est nécessaire de procéder en deux et le plus souvent trois étapes :

- la segmentation en unités minimales
- l'identification des segments
- le lissage des résultats obtenus.

Pour réaliser un tel traitement il faut pouvoir analyser correctement le signal parole. Diverses méthodes ou techniques ont été

développées dans ce but [MERC - 77], [HATO - 78 a], [MORI - 79] dont nous ne donnerons ici qu'un aperçu général.

On distingue en général trois grands types de méthodes d'analyse :

- (i) les méthodes spectrales qui correspondent dans une certaine mesure à ce que fait l'oreille humaine lorsqu'elle effectue une analyse spectrale grossière de la parole. On y distingue deux techniques :
 - les transformées de Fourier (F. F. T.) qui effectue une telle analyse par calcul à partir d'un signal échantillonné ;
 - les bancs de filtres, plus souvent utilisés pour des raisons de rapidité, qui correspondent à un traitement analogique fournissant une approche de l'analyse de Fourier ;
 - (ii) les méthodes par filtrage inverse de la parole qui étudient le signal de parole à partir d'un modèle de production et d'une fonction de transfert. Le plus souvent le modèle est linéaire, on parle alors de prédiction linéaire ou de codage par prédiction linéaire (en anglais L.P.C.) ;
 - (iii) les méthodes temporelles qui étudient la variation temporelle du signal. La plus simple et la plus utilisée est la mesure du nombre de passages par zéro qui fournit de bons résultats pour la détection des bruits de friction et une approximation des fréquences formantiques.
- A ces trois types de méthodes on peut ajouter :
- (iv) des calculs de certains paramètres directement sur le signal de parole. Les fonctions ainsi calculées peuvent être très

diverses et les résultats expérimentaux montrent que certaines ont un bon pouvoir discriminant entre différents types de segments minimaux.

- (v) Enfin, notons qu'un autre type de méthodes de traitement du signal de parole, moins utilisé mais fournissant aussi de bons résultats correspond à l'utilisation d'un modèle d'oreille [CAEL - 79] .

C'est sur la base de résultats fournis par ces différentes méthodes qu'on va tenter d'une part la segmentation de parole en unités minimales et d'autre part l'identification de ces unités.

La troisième étape consiste simplement en un lissage permettant de supprimer ou de diminuer la trop grande redondance de la chaîne phonémique ainsi obtenue sur des critères soit purement physiques (suppression de segments trop courts) soit morphologique (concaténation de segments de même type).

2.4.2 Le niveau acoustico-phonétique dans le système MYRTILLE II [HATO - 79 a], [SANG - 81]

Les choix, effectués pour le traitement acoustico-phonétique dans le système MYRTILLE II découlent essentiellement de deux considérations :

- (i) une observation patiente et minutieuse du signal de parole grâce à un système réalisé par C. SANCHEZ, appelé l'observateur qui nous a permis de déterminer un certain nombre de paramètres directement liés au signal ;

(ii) le souci de vouloir développer un méta-système de reconnaissance permettant de faire diverses études de stratégies possibles avant de figer un système opérationnel.

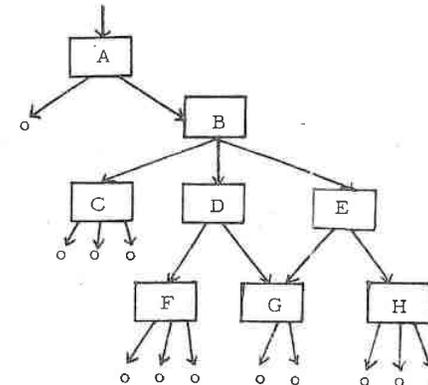
Cela nous a conduit à définir onze paramètres directement calculés sur le signal :

- l'énergie absolue : EA ;
- l'énergie quadratique moyenne : EZ ;
- le nombre de passage par un seuil avec une certaine largeur de bande : NPS (S, E) ;
- la longueur curviligne totale de la courbe du signal $s(t)$: LG ;
- la longueur curviligne de la courbe $s(t) > 0$: LG^+ ;
- la longueur curviligne de la courbe $s(t) < 0$: LG^- ;
- le rapport entre ces deux mesures ;
- le nombre de Maxima : MAXT ;
- le nombre de Minima : MINT ;
- le nombre de Maxima < 0 : MAXN ;
- le nombre de Minima > 0 : MINP.

Chacun de ces paramètres est calculé sur une fenêtre de 30 ms. La segmentation est alors ainsi réalisée : pour décider si une fenêtre appartient ou non à un nouveau phonème, on calcule une distance d_i entre cette fenêtre et les deux précédentes. Il y aura passage d'un phonème à un autre avec une certitude d'autant plus grande que d_i sera supérieur à un certain seuil. La distance d_i est calculée à partir des divers paramètres pondérée de façon à apporter une pondération plus grande aux plus pertinents. Différentes distances ont été proposées, dont l'une calculée de façon arborescente.

Quant à l'identification, elle se fait aussi à l'aide de ces paramètres plus d'autres plus classiques : formants ... Chaque paramètre correspond à un critère. Il se pose alors un problème de stratégie pour la mise en œuvre des méthodes, le choix des critères, l'ordre d'évaluation des paramètres et les prises de décision.

Le métasystème utilisé permet de construire des systèmes d'identification de phonèmes ayant une structure de type suivant :



□ = algorithmes de discrimination
 ○ : phonèmes

Structure d'identification

Figure A.2.2

Chaque algorithme est un module fermé qui, après étude de certains paramètres tirés du segment en cours d'étude indique quels algorithmes il faut exécuter après lui, ou propose des phonèmes

comme résultats. Tout algorithme affecte un poids à chacune de ses réponses.

La stratégie utilisée comporte une contrainte économique de type "meilleur d'abord" et la condition d'arrêt, propre au système mis en œuvre peut porter sur les scores, le nombre de phonèmes obtenus, le nombre d'algorithmes ayant fourni des phonèmes etc... Pour un même système des conditions d'arrêt différentes peuvent être utilisées suivant un compromis entre qualité et rapidité.

Pour améliorer les performances d'un système, on mettra en tête les algorithmes à fort pouvoir discriminant, ceux fournissant le moins de réponses, ceux ayant moins besoin de paramètres longs à calculer, ceux utilisant des paramètres déjà déterminés lors de la segmentation.

2.4.3 Résultats fournis par de tels traitements

Le frontal de MYRTILLE II étant encore au niveau expérimental et en pleine évolution, il n'est pas possible actuellement de fournir des résultats quantifiés. Néanmoins, on peut dire que les résultats obtenus sont encourageants, et valident pleinement l'approche adoptée.

Notons que ce manque de résultats n'hypothèque en aucun cas les travaux sur l'étape de compréhension de phrases que nous présenterons dans les parties B et C de ce mémoire. La connection entre le module de reconnaissance de phonèmes et celui de compréhension de phrase n'est pas envisagé actuellement dans MYRTILLE II car avant de faire coopérer ces deux modules il nous a paru nécessaire de les mettre au point le plus possible séparément.

Néanmoins, de façon générale, on peut fournir quelques indications sur les systèmes de reconnaissance de phonèmes existants. Si l'on prend en compte pour chaque phonème les trois premiers candidats, les systèmes réellement opérationnels fournissent aux alentours de 70 % de bonne reconnaissance. On est encore loin des 85 % de phonèmes bien reconnus nécessaires selon J.S. LIENARD [LIEN - 78] pour avoir une bonne reconnaissance (on se base pour affirmer cela sur les bases d'un auditeur humain). De plus, il faut préciser que ces résultats sont obtenus dans le cadre de système mono-locuteur.

C'est à cause des limites de cet étage de reconnaissance phonémique que le niveau de compréhension de phrase doit être particulièrement complet si l'on souhaite dès maintenant reconnaître la parole continue.

D'ailleurs il a été montré que si nous avons une chaîne phonémique parfaite, le problème de la reconnaissance de phrase serait alors quasiment résolu [ANDR - 78] bien qu'il faille quand même retrouver les mots dans la chaîne continue de phonèmes.

Néanmoins, on pourra s'appuyer dans l'étape de compréhension de phrases sur un certain nombre de résultats acquis et on pourra considérer comme assez sûres les distinctions :

- consonnes-voyelles ouvertes, l'identification des semi-voyelles étant plus difficile
- fricatives et non fricatives
- plosives et non plosives
- voisées et non voisées.

si du moins le son prononcé correspond bien aux caractéristiques indiquées, ce qui est loin d'être toujours le cas pour des phonèmes prononcés en contexte (nous reviendrons sur ce point dans la partie B lorsque nous parlerons de phonologie).

Par contre, on notera des confusions fréquentes dues aux limites de la reconnaissance entre :

- plosives /p/, /t/, k
- plosives /b/, /d/, /g/
- fricatives /z/, /v/, /ʒ/
- fricatives /s/, /ʃ/, /f/
- voyelles
- entre nasales et non nasales
- entre /n/, /m/ et les voyelles nasalisées
- quant à /ʁ/ et /r/ ils sont très mal identifiés ;

Les chaînes phonétiques à partir desquelles nous travaillerons incluent donc des erreurs dues à deux phénomènes distincts :

- . la limite de la reconnaissance phonétique
- . mais aussi la différence entre les traits des phonèmes théoriques et ceux des phonèmes prononcés à cause de neutralisation ou d'assimilation plus ou moins importante dans l'énoncé du locuteur.

Par conséquent, il est inutile de vouloir définir un système de compréhension de parole dont la stratégie reposerait sur des certitudes ; au contraire, il ne faudra jamais oublier que les données phonétiques que nous manipulons peuvent être remises en cause en cours de traitement.

2.5. ETATS ACTUELS DES TRAVAUX ET PRINCIPAUX SYSTEMES

A la suite du rapport NEWELL, un projet largement financé par l'ARPA (Advance Research Project Agency, organisme faisant partie du département de la défense) fut lancé. L'objectif proposé par ce projet était la réalisation d'un système capable de comprendre des phrases de langages d'au moins 1 000 mots sans contrainte d'élocution et fonctionnant pour plusieurs locuteurs avec un taux d'erreurs ne devant pas dépasser 10 %. Un rapport intéressant fournit les motivations et les difficultés de ce projet [ARPA - 74] .

Ce projet fut un véritable "coup de fouet" aux recherches en reconnaissance de la parole... , il faut reconnaître que les moyens mis en œuvre devaient au moins montrer la faisabilité de tels travaux !

Très vite, plusieurs systèmes ont été proposés dans le cadre de ce projet. Au bout de 2 ans seuls furent retenus le projet de B. B. N. [B. B. N. 76] , celui de S. D. C. [RITE - 75] et celui de l'université de CARNEGIE MEELEON [LESS - 75] .

Toutes les études menées dans le cadre du projet ARPA ont procédé de la même démarche : mettre en œuvre dans le processus de compréhension de nombreuses sources d'informations afin d'appréhender la parole sous ses différents aspects : acoustique, phonétique, lexical, syntaxique, sémantique, pragmatique... Cela nécessitait pour permettre une coopération fructueuse entre ces diverses sources d'information d'importantes études sur l'architecture des systèmes.

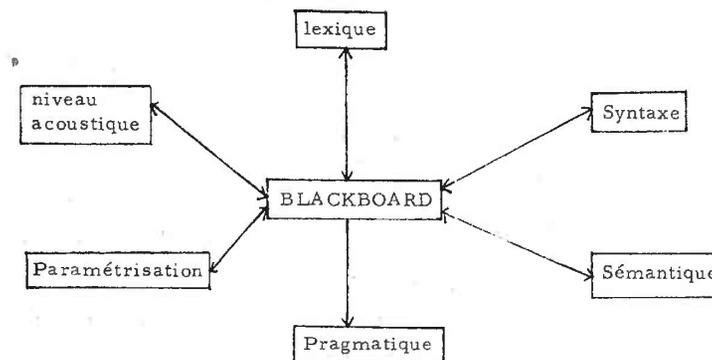
Les résultats obtenus furent positifs :

→ l'université de CARNEGIE MEEELON présenta deux systèmes HEARSAY II [LESS - 75], [ERMA - 77] et HARPY [LOWE - 77] qui répondaient en partie au cahier des charges : vocabulaire de plus de 1 000 mots, reconnaissance supérieure à 90 % (pour HARPY).

HEARSAY II est un système fonctionnant sur le schéma itératif d'Hypothèse et Test consistant à émettre une hypothèse et à tester ensuite sa plausibilité. Ce schéma est ici généralisé à tous les niveaux de traitement, et s'applique aussi bien à l'intérieur d'un niveau qu'entre deux niveaux. Nous retrouverons ce schéma d'hypothèse et test dans bien d'autres systèmes de compréhension, et il sera la base aussi des systèmes MYRTILLE que nous détaillerons dans la suite. L'indépendance entre les divers niveaux de traitement, les diverses sources d'informations (S.I.), nécessaires pour obtenir une souplesse et une efficacité maximale, a été mise en œuvre dans HEARSAY II en définissant une structure dans laquelle l'interaction entre les S.I. est externe aux S.I., et se fait par l'intermédiaire d'une base de données commune, le blackboard, dont l'élément constitutif est l'hypothèse (cf. H. SIMONS).

Chaque S.I. ignore les autres S.I. et ne peut accéder qu'à la base de données des hypothèses pour y faire toutes modifications. L'activation d'un S.I. est dirigée par les données en ce sens qu'elle dépend d'une précondition qui doit être satisfaite au niveau du blackboard. Le caractère asynchrone d'un tel modèle permet une adaptation aisée sur une machine multiprocesseur.

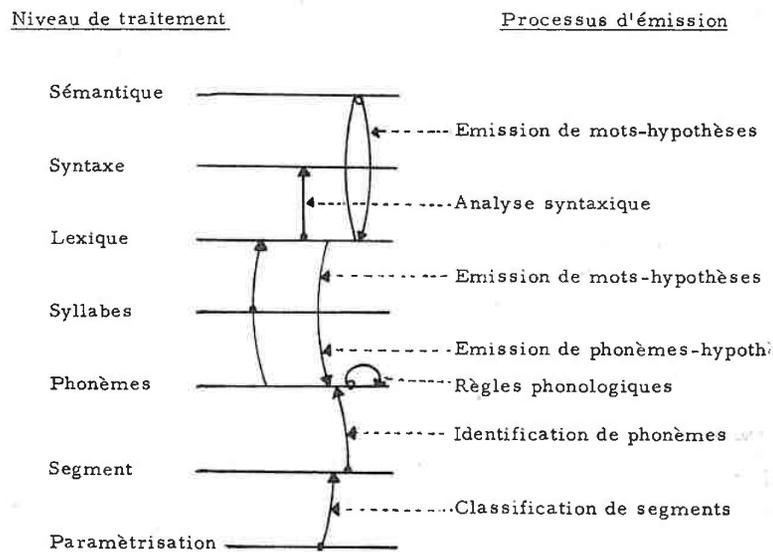
La figure A.2.3. symbolise le modèle de HEARSAY II :



le modèle HEARSAY II

figure A.2.3

Il n'existe pas de hiérarchie explicite des Sources d'Informations dans HEARSAY II. On constate cependant à l'examen de la structure du blackboard que cette hiérarchie y est implicitement inscrite du niveau acoustique, jusqu'au niveau sémantique (cf. figure A.2.4)



Structure du blackboard de HEARSAY II (d'après REDDY)

Figure A.2.4.

Le modèle proposé dans HEARSAY II est un modèle général applicable à d'autres problèmes d'interprétation à données complexes, variées et incertaines. Ainsi REDDY et ses collègues utilisent un modèle voisin pour la compréhension d'images.

Un modèle avec appel explicite d'une S.I. à une autre, ou appel par superviseur (comme celui que nous verrons pour les systèmes HWIN ou MYRTILLE), est moins général, mais sera en fait souvent plus rapide pour résoudre un problème donné.

HARPY, second système proposé par l'université de CARNEGIE MELLON, contrairement à HEARSAY II et à la plupart des autres systèmes, est plus tourné vers la reconnaissance que vers la compréhension. En effet, il ne fait pas appel à des contraintes sémantiques ou pragmatiques pour comprendre une phrase ; de plus les phrases à reconnaître doivent obéir à une syntaxe très rigide définie pour une application donnée. Ces restrictions font que le système HARPY donne de bons résultats sur des phrases syntaxiquement très contraintes (de l'ordre de 95 % de reconnaissance, pour un vocabulaire de 1011 mots).

L'originalité de ce système est d'incorporer toutes les variantes possibles des phrases dans un réseau unique. Toutes les sources d'informations y sont donc regroupées et précompilées, alors que d'autres systèmes représentent les informations syntaxiques, phonologiques etc... sous forme de règles qu'il faut interpréter à chaque utilisation. Il en résulte un gain de temps considérable à l'exécution ; par contre cela nécessite un travail immense pour passer d'une application à une autre.

Nous verrons dans la suite, que cette distinction entre systèmes précompilés ou non est l'un des éléments de classification des divers systèmes.

→ B. B. N. présenta le système HWIN [BBN - 76], [WOLF - 77] qui, bien que n'atteignant que 50 % de reconnaissance au terme du projet ARPA, est très intéressant car il traite un langage dont la syntaxe est fort peu contraignante. Sa conception initiale a utilisé certains concepts du système LUNAR de questions-réponses en langue naturelle écrite [WOOD - 71]. Il est construit autour d'un superviseur qui dirige l'activation de

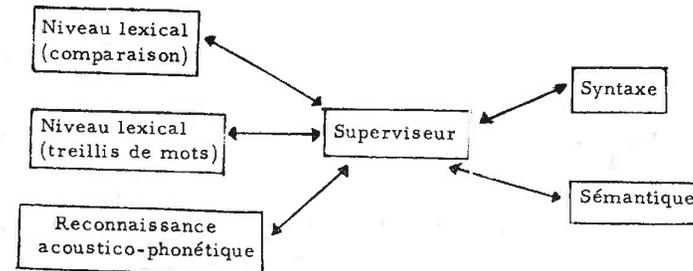
de niveaux classiques de traitement : phonétique, lexical, syntaxique, sémantique.

Contrairement au système HEARAY II, une hiérarchie explicite entre les niveaux existe : le superviseur commande d'abord la création d'un treillis de mots en faisant intervenir les niveaux acoustique, phonologique et lexical. Ensuite, le niveau sémantique sélectionne une suite de mots de ce treillis, en fonction de relation entre les mots. Une telle sélection, appelée "Théorie" est ensuite soumise au niveau syntaxique. Celui-ci vérifie la validité de cette théorie, au point de vue de la grammaire du langage, puis tente de la compléter en y adjoignant de nouveaux mots. Lorsque le superviseur estime cette théorie acceptable, compte tenu des diverses sources d'informations dont il dispose, il arrête l'analyse.

Comme nous le verrons plus en détail dans la partie B, la syntaxe y est donnée sous forme d'un A. T. N. (Augmented Transition Network) [WOOD - 70] .

Enfin, la stratégie est à la fois descendante et ascendante, suivant les stades de l'analyse, choix analogue à celui que nous avons fait dans le système MYRTILLE II.

La figure A. 2. 5 donne un schéma de principe du système HWIN



le système HWIN (d'après SS WOLF)

Figure A. 2. 5

→ quant à la troisième équipe retenue dans le projet ARPA S. D. C., si elle n'a pu présenter un système complet, elle a fourni un programme de reconnaissance phonétique très performant avec 70 % de bonnes reconnaissances.

D'une façon générale le projet ARPA fut jugé positif [LEA - 78] , mais surtout il servit de véritable catalyseur aux recherches sur ce domaine qui furent nombreuses à se développer en dehors du projet ARPA comme en témoignent les revues de ces travaux faites par REDDY en 1976 [REDD - 76] par de MORI en 1978 [MORI - 78] et l'ouvrage de LEA [LEA - 80] .

Aux U. S. A. mêmes, de nombreux projets non retenus dans le projet ARPA ont progressé grâce à cette dynamique. Parmi eux, on peut citer :

- le système DRAGON de BAKER [BAKE - 74] qui s'appuie sur un modèle probabiliste, en l'occurrence un processus de MARKOV généralisé à tous les niveaux (acoustique, phonologique, lexical, syntaxique et sémantique) pour reconnaître la phrase à partir

des données acoustiques. Ce système utilisait en reconnaissance, une méthode de programmation dynamique. Les performances obtenues ont été relativement modestes. Cependant, son grand mérite fut de permettre la réalisation du système HARPY qui s'en est beaucoup inspiré.

- Le système à décodage séquentiel de SELINEX chez I. B. M. [SELI - 75] utilise aussi des méthodes statistiques pour la reconnaissance qui s'apparentent plutôt à la théorie de l'information et fait abstraction des phénomènes linguistiques difficiles à appréhender, tels que la sémantique. Ce système très ambitieux, devant fonctionner avec un vocabulaire de plus de 1 000 mots, a déjà été testé sur un langage de 250 mots, et a fourni des résultats excellents avec 81 % de phrases reconnues.

- Le système LPARS développé par MILLER [MILL - 75] essaie dans un premier temps de reconnaître des mots qu'il considère comme des îlots de confiance. De là, il tente des analyses partielles sur leur droite et sur leur gauche produisant ainsi des arbres d'analyses, qu'un algorithme essaie de rassembler pour faire une analyse syntaxique complète et cohérente. Nous avons quant à nous développé une version de MYRTILLE I qui procède suivant les mêmes principes [MARI - 79].

- Le système du SRI (Stanford Research Institute) [WALK - 74], [WALK - 78]. Ce système utilise une représentation du langage de type grammaire hors contexte augmentée d'un certain nombre de vérifications de type genre, nombre etc... Il fonctionne suivant une stratégie de meilleur d'abord, et a été essayé sur un langage de 60 mots avec un pourcentage de reconnaissance de 62 %.

- Enfin, toujours aux U.S.A., on peut citer le système ARCS, [TAPP - 74] développé aussi chez I. B. M. et le système du laboratoire Lincoln [FORG - 74] qui fut, semble-t-il, le premier à fournir des résultats à la suite du projet ARPA.

L'effort exceptionnel produit par les chercheurs américains ne doit pas faire oublier les recherches effectuées ailleurs dans le monde, spécialement en U. R. S. S., au Japon, en Europe et en France.

En U. R. S. S. : les travaux sur la reconnaissance de la parole ont commencé depuis longtemps. Hélas, une double frontière due à la faible diffusion des communications des chercheurs Russes, et à la difficulté de la langue, fait qu'il est très difficile de présenter leurs travaux. Néanmoins, leurs travaux en ce domaine sont de tout premier plan, et on pourra consulter pour cela quelques articles publiés aux U. S. A. [VINT - 76], ainsi que le rapport de mission en U. R. S. S. de J. P. HATON [HATO - 76].

Au JAPON : de nombreuses études sur la parole ont été menées depuis 1971, comme en témoignent le nombre de publications faites à l'IJCPR de KYOTO en 1978. Parmi elles, on peut citer, outre les travaux de la N. E. C. (Nippon Electric Compagny) qui ont conduit à une machine de reconnaissance de mots proposée maintenant sur le marché.

- Le projet PIPS [NISH - 78] portant sur de nombreux aspects de l'intelligence artificielle ;
- les systèmes réalisés à l'université de YAMANASHI [SCHIG - 78] permettant entre autre la reconnaissance de programmes FORTRAN, énoncés oralement ;
- le système de la N. T. T. (Nippon Telegraph and Telephon

Public Corporation) [SHIK - 78] utilisant une application de type réservation de place en train ;

- le système LITHAN [NAKA - 76] réalisé à l'université de KYOTO.

En Europe : de telles recherches sont poursuivies en ALLEMAGNE de l'OUEST, en ALLEMAGNE de l'EST [GLAW - 78], en ANGLETERRE [MOOR - 78], et en ITALIE [MORI - 79.], [SAIT - 78].

En FRANCE enfin, où les recherches sur la reconnaissance de la parole sont depuis longtemps très actives, dans le cadre du G. A. L. F. (Groupement des Acousticiens de Langue Française) : groupe "communication parlée" et de l'AFCEP : groupe "reconnaissance de la parole". On peut en suivre les progrès, grâce aux actes des Journées d'Etudes sur la Parole du groupe communication parlée du GALF, organisées annuellement depuis 1969.

Parmi les diverses études menées, on peut citer, outre les études que nous menons au CRIN :

- le système KEAL du CNET - LANNION - mis en œuvre par QUINTON, MERCIER et VIVES [QUIN - 80], [MERC - 78]. Ce système basé sur une stratégie de type ascendante, comporte essentiellement quatre phrases qui s'exécutent en séquence : reconnaissance de phonèmes, reconnaissance de mots, reconnaissance de phrases et dialogue. Il est à noter que c'est un des premiers systèmes, avec le système MYRTILLE I, que nous avons développé, qui a mis en œuvre une utilisation d'informations pragmatiques, à l'aide d'une procédure de dialogue. La définition du langage dans le système KEAL est fournie par une grammaire hors contexte. Le système a été testé sur deux

types d'applications : les renseignements téléphoniques, et la description orale de circuits imprimés, et a fourni de bons résultats dès 1976.

- Le système ESOPE O du LIMSI [MAR - 78] mis au point en 1978 par MARIANI, qui est d'un type analogue à KEAL et MYRTILLE I.

• Le système en cours au laboratoire de la communication parlée de l'ENSERG [GROC - 78] qui utilise, à l'image du système HARPY, des contraintes syntaxico-sémantiques représentées sous forme précompilée dans un réseau.

Outre ces études conduisant directement à la réalisation de systèmes complets de reconnaissance, d'autres équipes travaillent avec des optiques plus particulières, notamment :

- l'équipe de G. PERENNOU au CERFIA de TOULOUSE [PERE - 79 a], [CAEL - 79] qui développe, outre des recherches sur le même niveau acoustico-phonétique, à l'aide du modèle d'oreille de J. CAELEN, des études fondamentales sur l'organisation, la création et l'accès à un lexique important, en vue de la reconnaissance. Cette approche lexicale, sur laquelle nous reviendrons dans la partie B, intégrée dans un système complet de reconnaissance, le système ARIAL 2 [PERE - 80 a et b], conduit à une organisation assez originale où, le processus de décodage lexical intégrant fortement les divers niveaux linguistiques, forme le noyau central du système.

Enfin, il ne faut pas oublier les travaux effectués au C. E. A. SACLAY par BOUDRY et DUPEYRAT [BAUD - 78] ; à GRENOBLE, ceux de C. BELLISSANT [BEL - 78] ; à MARSEILLE enfin, les études menées dans l'équipe d'Intelligence Artificielle de LUMINY [MELO - 79], [BATT - 75]. Encore, nous n'avons cité ici que les

travaux se rattachant directement à la reconnaissance du discours continu ; les actes des journées d'Etudes, déjà cités préalablement permettent de mieux se rendre compte de l'étendue des recherches sur la parole effectuées en FRANCE.

2.6. CONCLUSION

Ainsi, comme nous l'avons vu, les recherches en ce domaine, sont très importantes, mais, pour ce qui est de la compréhension du discours continu, elles se situent encore nettement dans le domaine du long terme, même si certaines applications peuvent d'ores et déjà être envisagées.

Nous avons passé en revue les divers systèmes à l'étude sans essayer de les comparer ; d'autres l'ont déjà fait. Il suffira pour cela de se reporter à l'article de de MORI [MORI - 78] et à la thèse de P. QUINTON [QUIN - 80] dont le dernier chapitre est entièrement consacré à cette étude.

Néanmoins, un certain nombre d'enseignements généraux doivent être dégagés car ce sont eux qui ont guidé les choix que nous avons faits dans le système MYRTILLE.

(i) L'identification des phonèmes reste un obstacle majeur (cf. paragraphe 2.4.) du fait que chaque phonème admet de nombreuses réalisations acoustiques, selon le contexte, et qu'aucun modèle n'existe à ce sujet actuellement.

(ii) Presque tous les systèmes font appel à des contraintes linguistiques : lexicale, syntaxe et sémantique, afin de limiter le champ de la reconnaissance phonétique, et donc le temps nécessaire à la compréhension d'une phrase. Or, à ma connaissance, peu d'études ont été menées sur la représentation de ces contraintes, dans le cadre spécifique de la parole ; la plupart des systèmes actuels ont adopté des méthodes développées dans le cadre de la compréhension du texte écrit.

(iii) Le rôle des méthodes heuristiques dans ces réalisations est particulièrement important, et il ne faut pas en tenir rigueur aux chercheurs qui les développent, car mieux vaut un système heuristique qui marche, que pas de système du tout.

(iv) La plupart des systèmes sont spécifiques aux langages traités ; et le passage d'une application à une autre est souvent très difficile, si ce n'est impossible sans réécrire une partie importante du système.

(v) Le rôle du dialogue fut souvent très restreint et les seules réalisations en ce domaine (au CNET [QUIN - 75], [MERC - 78], et au CRIN [PIER - 78]) utilisent un dialogue très dirigé.

(vi) Enfin, tous les systèmes actuels sont mono-locuteurs et les études sur l'adaptation à plusieurs locuteurs, ne font que commencer [LOWE - 77].

Ces différentes remarques montrent, qu'on est encore loin de pouvoir résoudre le problème de la reconnaissance de la parole dans toute sa généralité, faute de connaissances suffisantes sur les processus de compréhension, mis en œuvre dans la communication orale. Les recherches, en ce domaine, sont donc encore largement ouvertes, mais vraisemblablement pour plusieurs années, voire plusieurs décennies.

CONCLUSION DE LA PARTIE A

NOS GRANDS AXES DE RECHERCHE

Au terme de cette partie d'introduction à la reconnaissance et la compréhension de la parole, nous pouvons maintenant préciser nos grands axes de recherches, et présenter les objectifs qui furent à l'origine des études que nous détaillerons dans les parties B et C de cette thèse.

Ce travail, réalisé au sein de l'équipe "intelligence artificielle et traitement du signal" du C.R.I.N., n'est qu'une contribution à un travail beaucoup plus vaste, visant à la mise en œuvre de systèmes de communication Homme-Machine, multicanaux avec deux pôles essentiels, l'un visuel, avec caractères, dessins et images [BELA - 79], [MOHR - 79], l'autre auditif, avec la parole. Les liaisons entre ces deux types d'études sont nombreuses, la plupart des techniques utilisées, étant communes à l'un et à l'autre de ces deux pôles.

Pour notre part, nos travaux se placent dans le cadre général des études sur la parole. Nous avons centré nos recherches, sur une partie de la chaîne de communication parlée, à savoir essentiellement le module de compréhension de phrase, et dans une moindre mesure la phrase d'interprétation (cf. figure A.2.1.). L'autre module du niveau perceptif, la reconnaissance de phonèmes, est pris en charge essentiellement par C. SANCHEZ et J. Y. PERROT.

Quant à la synthèse, à laquelle nous nous sommes intéressés essentiellement, pour obtenir un organe de réponse vocale pour notre système, elle est l'objet des travaux de J. SAMAKE [SAMA - 79].

L'objectif du système MYRTILLE est la construction d'un système de compréhension du discours continu, permettant des dialogues "experts" avec la machine, et étant suffisamment général pour être utilisé dans diverses applications. Afin de permettre un passage, le plus souple possible d'une application à une autre, nous avons opté pour un système paramétré, tant au niveau du langage qu'au niveau de l'application. Cela nécessite donc une phase d'adaptation, d'apprentissage lors de chaque changement d'application. Notre objectif, à ce niveau est que le concepteur d'une nouvelle application, puisse le faire en tenant compte exclusivement de l'application (langage, vocabulaire) sans se soucier de la structure interne du système.

Pour ce faire, il nous a fallu travailler suivant deux axes complémentaires :

- (i) la définition des diverses sources d'informations, et leur stratégie d'utilisation, afin de déterminer au mieux le "répertoire" commun entre l'Homme et la Machine, tel qu'il fut défini au paragraphe A.1.2.

Ce sera l'objet essentiel de la partie B, que nous allons maintenant aborder.

- (ii) La mise en œuvre de ces sources d'information, au niveau de la compréhension de phrase en vue de l'obtention d'un système opérationnel : le système MYRTILLE.
-

PARTIE B

LES SOURCES D'INFORMATIONS ET LEURS STRATEGIES D'UTILISATION EN COMPREHENSION AUTOMATIQUE DE LA PAROLE

Chapitres :

1. ESSAI DE CLASSIFICATION DES SOURCES D'INFORMATIONS
2. LES DIVERSES STRATEGIES D'UTILISATION DES INFORMATIONS LINGUISTIQUES
3. LES MODELES COURANTS DE REPRESENTATION DE LANGAGES PSEUDO-NATURELS
4. DEFINITION SYNTAXICO-SEMANTIQUE DES STRUCTURES DANS LE SYSTEME MYRTILLE II
5. DEFINITION SYNTAXICO-SEMANTIQUE DES MOTS : LE LEXIQUE
6. LES AUTRES INFORMATIONS MISES EN ŒUVRE.

INTRODUCTION A LA PARTIE B

Avec cette seconde partie, nous abordons l'essentiel de nos recherches : l'étude des diverses sources d'informations en compréhension de la parole, leurs représentations et leurs stratégies d'utilisation. Cela correspond essentiellement à la définition du répertoire commun entre l'homme et la machine, tel que nous l'avons présenté au paragraphe A.1.2.

Mais avant d'aborder la présentation générale de cette deuxième partie, peut être est-il nécessaire de préciser les objectifs fondamentaux, qui ont guidé notre réflexion à ce sujet :

(i) le principe général que nous avons retenu est un principe d'Hypothèse - Test - Validation analogue à celui utilisé dans le système HEARSAY II. Ce processus correspond assez bien au processus humain tel qu'il est vu par un certain nombre de psycholinguistes. Ainsi J. MEHLER dans [PIAG - 79] note que, lors de l'écoute, l'homme "est activement engagé dans un processus de reconnaissance qui se poursuit avec la génération d'hypothèses, et l'usage de stratégies s'appuyant sur des régularités syntaxiques et séquentielles" ; c'est ce qu'il appelle "le processus cognitif". L'utilisation des différentes sources du langage, se fera donc dans une double optique d'émission et de validation d'hypothèses sur les mots du langage. . . Compte tenu des résultats de l'étape de reconnaissance phonétique, nous considérerons que la chaîne d'entrée, représentant l'énoncé oral de départ, sera fournie par un treillis, ou une pseudo-chaîne de phonèmes fortement entâchée d'erreurs (de l'ordre de 30 % d'erreurs). L'étape de test des hypothèses correspondra donc à une recherche lexicale ou reconnaissance phonétique des mots émis comme hypothèses dans ce treillis d'entrée. Les limites des procédures de recherche lexicale,

compte tenu d'un compromis entre le temps d'exécution et la validité des résultats fournis, nous ont conduits de plus à imposer une limite au nombre d'hypothèses à émettre à chaque pas : de l'ordre de quelques dizaines de mots. Il faudra donc restreindre au maximum les hypothèses émises.

On peut noter, à ce niveau, une différence fondamentale entre un tel traitement, et les traitements effectués sur les textes écrits, due à l'indéterminisme sur les mots. En effet, dans le cadre de textes écrits, il n'existe pas ou peu d'ambiguïtés sur les mots, facilement détectables grâce aux séparateurs qui les entourent : la phase d'émission des hypothèses est donc réduite au minimum. Cela explique en grande partie pourquoi il n'existe pas ou fort peu de modèles de ces sources d'informations adaptés à de tels processus d'émission d'hypothèses. La raison essentielle de tous nos efforts de recherches de représentations des diverses sources d'informations sera donc de faciliter au maximum un tel traitement.

(ii) le second objectif fondamental sera le souci constant de séparer la description de ces sources d'informations des traitements associés, afin de faciliter au maximum le passage d'une application à une autre, par une modification aisée des données, sans influence sur la description des traitements associés. On peut noter à ce propos une forte influence d'autres études réalisées au sein du C. R. I. N., sur les structures de données, et les traitements associés [PAIR - 78], [REMY - 80].

Nous nous situons donc dans une optique inverse de celle des systèmes utilisant des informations précompilées, tel le système HARPY.

Deux autres soucis, plus en lien avec la résolution, guideront aussi constamment les choix effectués :

les structures choisies doivent fonctionnellement :

- 1) permettre une recherche et mise à jour rapide ;
- 2) faciliter la communication entre niveaux de traitement.

Par ailleurs, dans la phase de mise au point, ces structures devaient permettre un raccordement facile des divers modules et pour presque toutes les données, une définition et une mise à jour conversationnelle aisées à partir de consoles.

Compte tenu de ces remarques, et dans un souci didactique, nous aborderons successivement dans cette seconde partie :

1) une présentation générale des diverses informations prises en compte, dans les systèmes de compréhension de la parole, et proposerons une classification en trois pôles (langage, application et locuteur), conduisant à la définition de trois niveaux de paramétrisation d'un tel système.

2) Puis, après avoir défini de façon générale, ces diverses informations, nous consacrerons le chapitre 2 à l'étude des diverses stratégies d'utilisation. C'est à ce niveau que nous dégagerons et présenterons un sous-problème particulier correspondant au traitement de langages artificiels, à syntaxe très contrainte, conduisant à des systèmes dits "guidés par la syntaxe". De nombreux systèmes sont de ce type ; parmi eux, on peut citer : HEARSAY I, DRAGON, KEAL, LITHAN et le système MYRTILLE I, dont nous rappellerons l'organisation générale lorsque nous aborderons les problèmes de mise en œuvre dans la partie C.

3) A partir du chapitre 3, nous orienterons notre étude uniquement vers les langages "experts", sous-ensembles assez vastes de langues naturelles, en commençant par présenter et étudier de façon critique, les modèles courants de représentation du langage (modèles syntaxiques, sémantiques et lexicaux). Ce chapitre se terminera par la présentation des choix effectués dans le système MYRTILLE II.

4) Ensuite, les chapitres 3, 4 et 5 présenteront les structures de données, mises en œuvre dans le système MYRTILLE II, avec l'étude de la représentation des informations, et les traitements associés aux niveaux

- de la structure du langage
- de la définition des mots du lexique
- phonétique, phonologique et prosodique.

5) Enfin, nous concluerons cette seconde partie par une analyse critique des choix effectués dans MYRTILLE II, et une présentation des avantages obtenus.

CHAPITRE B.1

ESSAI DE CLASSIFICATION DES
SOURCES D'INFORMATIONS

1.1. INTRODUCTION

1.1.1. Les diverses sources d'informations

Tout comme le traitement du langage écrit, le traitement de la parole fait appel à diverses sources d'informations, liées à la définition du langage, auxquelles s'ajoutent des informations propres à la parole. Ces diverses sources d'informations sont :

- | | | |
|--------------------------------|---|--|
| - le lexique et la morphologie | } | informations communes
à l'écrit et à l'oral |
| - la syntaxe | | |
| - la sémantique | | |
| - la pragmatique | | |
| - la prosodie | } | informations propres à la parole |
| - la phonétique | | |
| - la phonologie | | |

Avant de proposer une classification de ces diverses informations et des structures de données associées, il est nécessaire d'explicitier un peu ce que recouvre chacun de ces mots. Cela n'est pas chose facile, car nous nous situons hors du domaine de l'informatique classique, sans pour autant pouvoir prétendre entrer dans le domaine de la linguistique. Or, tous ces termes ont un sens très précis en linguistique, même si tous les spécialistes du domaine n'en fournissent pas la même définition.

Ce que le philosophe polonais Adam SCHAFF dit de la sémantique pourrait être transposé à chacune de ces sources d'informations : "la sémantique en tant que discipline scientifique est actuellement si complexe, et le terme peut avoir tant d'acceptations, qu'il doit être lui-même soumis à une analyse sémantique, si l'on veut éviter des confusions regrettables, et des erreurs sur le plan de la logique" [BREK - 74] .

Pour notre part, nous tenons à préciser dès maintenant que notre acceptation de ces termes ne se fait pas suivant les définitions des linguistes, mais plutôt suivant des définitions regroupant un certain consensus au sein des équipes de recherche travaillant dans le domaine de la reconnaissance, et de la compréhension de la parole.

Afin de mieux préciser les choses, nous allons redéfinir chacun de ces termes, en s'appuyant le plus possible sur des exemples. Pour ce faire, nous allons partir du signal, et nous éloigner de plus en plus de lui. Les différents types d'information sont donc :

a) la phonétique, ou plutôt les informations acoustico-phonétiques et même, pour être plus précis, acoustico-phonémiques. Ce vocable regroupera pour nous deux types d'informations :

- (i) les résultats du niveau de traitement acoustico-phonétique (cf. paragraphe A.2.4.), qui pourront eux-mêmes être soit une pseudo-chaîne d'éléments minimaux de types phonèmes, soit un ensemble de paramètres très divers : points de segmentation, listes de traits acoustiques... soit une union de ces deux types de résultats. Dans la suite, nous appellerons pseudo-phonèmes, un segment minimal de parole étiqueté par un nom de phonème, ou de sous-classes de phonèmes.

(La figure B.1.2. donne la liste des phonèmes utilisés).

Nous avons opté pour le terme de "pseudo-phonèmes" essentiellement pour deux raisons :

- un phonéticien n'appellerait pas cela phonème, car pour lui un phonème est une unité abstraite, qui n'a d'existence que phonologique ;
- de plus, les erreurs potentielles de détermination de ces segments minimaux (erreurs de segmentation principalement) justifient à plus d'un titre ce qualificatif de "pseudo-phonèmes".

- (ii) L'ensemble des représentations phonétiques des mots du lexique telles qu'elles peuvent apparaître dans tout bon dictionnaire.

La figure B.1.1. reprend un exemple de chaîne de pseudo-phonèmes, traitée dans le système MYRTILLE I [PIER - 75] .

Z u b é l p ɔ S ə P w s â t â n ə f
 V Y d i r t o ʃ a t o ʃ ɔ p ɔ m Y S
 ʒ o g e e k a e k F ê k ê d ʃ

J'voudrais le poste 339

Exemple de chaîne de pseudo-phonèmes

figure B.1.1.

VOYELLES			CONSONNES		
sons ou phonèmes	Mots clefs	classe ou nature	sons ou phonèmes	Mots Clefs	classe ou nature
a	<u>pas</u> se	orale	p	<u>pas</u>	occlusive sourde
	<u>â</u> me		t	<u>tas</u>	
i	<u>il</u>		k	<u>cas</u>	
y	<u>nu</u>		b	<u>bon</u>	occlusive voisée
ɔ	<u>bol</u>		d	<u>dans</u>	
o	<u>eau</u>		g	<u>gars</u>	
ə	<u>le</u>		v	<u>vie</u>	fricative voisée
	<u>peu</u>		ʒ	<u>Zéro</u>	
ɛ	<u>lait</u>		ʒ	<u>je</u>	
e	<u>et</u>		f	<u>feu</u>	fricative sourde
œ	<u>heure</u>	s	<u>sous</u>		
u	<u>ou</u>	ʃ	<u>chat</u>		
ɑ	<u>an</u>	n	<u>nous</u>	nasale	
ɔ̃	<u>on</u>	m	<u>ma</u>		
ɛ̃	<u>lin</u>	l	<u>lent</u>		liquide
œ̃	<u>un</u>	r	<u>rue</u>		
les semi - voyelles					
ɥ	huit		ʁ	agneau	
w	oui		j	baille	

Les phonèmes utilisés dans le système MYRTILLE

Figure B.1.2.

A propos du tableau B.1.2, on peut remarquer que ne sont pas indiqués deux phonèmes, que nous n'utiliserons pas par la suite ; ce sont :

le /ã/ de âme que nous confondrons avec /a/
 le /ø/ de peu que nous confondrons avec /ø/.

b) La phonologie : elle se limitera, pour nous, à l'étude des altérations possibles d'un phonème, ou d'un mot suivant son contexte à l'exclusion des aspects combinatoires de traits ou de phonèmes. Nous avons retenu cette définition restrictive de la phonologie, car c'est seulement cet aspect d'"altérations" qui est important, en traitement automatique de la parole.

En ce sens, la phonologie regroupe néanmoins trois types d'informations a priori différentes :

- (i) les altérations phonologiques pouvant apparaître au sein même d'un mot ;
- (ii) les altérations phonologiques dues à la conjugaison des verbes, et aux déclinaisons (singulier - pluriel) pour les autres mots ;
- (iii) les altérations à la jonction des mots.

De façon générale, ces diverses altérations peuvent se regrouper en élision, insertion et substitution ; elles sont néanmoins de natures très diverses, et sont étudiées en phonétique combinatoire.

Décrivons plus précisément ces divers types d'altérations phonologiques :

- (i) à l'intérieur d'un mot ou d'un groupe de mot, puis dans son ensemble, on peut y distinguer de nouveau deux types de nature différente :

* les altérations provoquées par l'influence mutuelle des mouvements articulatoires voisins : assimilation, fusion, coarticulation, anticipation ; par exemple :

- "quéque" à la place de "quelque"
/K ɛ̃ K ə / /K ɛ̃ ɛ̃ K ə /
- "heur é-n-mi" à la place de "heure et demi"
/ə r e n mi / /ə r ə e d ə mi /
- "apsurde" au lieu d' "absurde"
/a p s y r d / /a b s y r d /

* les altérations dues aux accents particuliers, ou accents régionaux :

- "sé-tembre" ou "septembre"
/s e t ə b r ə / "s e p t ə b r e"
- "juun" ou "juin"
/z Y œ̃ / "z Y ɛ̃ "
- "banⁿ dit" ou "bandit"
/b ɑ̃ n di / /b ɑ̃ d i /
- "pére" ou "père"
/p e r ə / /p ɛ̃ r ə /

A priori, nous n'aurons pas à prendre en compte de telles altérations, car les systèmes étudiés sont mono-locuteur. Mais toutefois, il nous faudra faire attention à des réapparitions épisodiques d'accents régionaux perdus ou combattus. Le Vosgien que je suis en sait quelque chose à propos du dernier exemple !

(ii) Les altérations en fin de mots (conjugaisons ou déclinaisons) sont d'un autre type. Il existe un certain nombre de règles les régissant ; la question est de savoir ici, s'il faut conserver par exemple l'ensemble des formes d'un verbe, ou seulement son radical et une suite de désinences possibles fournies par une règle. La solution doit sans doute être différente suivant qu'il s'agit d'un verbe régulier ou irrégulier.

Quant aux pluriels, ils provoquent le plus souvent l'adjonction d'un /S/ final, qui peut ensuite provoquer des liaisons ; mais il ne faut pas non plus oublier la règle "al" devient "aux" et les multiples cas d'exceptions : "œil" → "yeux", "bœuf" /b ə f / ; "bœufs" /b ə (S) /.

(iii) Les altérations à la jonction des mots sont aussi essentiellement de trois types :

- élisions : "pauvre type" → "pauv-type"
/p o v r ə t i p / → /p o v t i p /
- insertions : "ours blanc" → "ourse blanc"
/u r s b ɛ̃ / → /u r s ə L ɑ̃ /
- substitution : "grand ami" → "grant - ami"
/g r ɑ̃ d a mi / → /g r ɑ̃ t a mi /

sans parler des liaisons qui peuvent être

obligatoires : "mes - amis"

non obligatoires : "tu as eu"

ou parfois subtiles : "vous êtes innocents" mais aussi

"vous êtes innocents" !

c) La prosodie : elle aussi recouvre des aspects différents, car sans parler des phénomènes, tels que la micro-mélodie, ou la hauteur mélodique qui "devront être neutralisés, pour qu'une étude prosodique puisse être faite dans de bonnes conditions" [HATO - 78 a], on peut distinguer :

- (i) les marqueurs prosodiques délimitant des unités successives, le plus souvent des syntagmes, comme dans :

"(il pleut) (aujourd'hui) (à Nancy)";

mais alors, attention aux pauses d'hésitation, ou de respiration! Ces marqueurs en effet, sont le plus souvent de type pose ou schéma prosodique [MART - 75] .

Notons que dans l'exemple bien connu de la phrase "un professeur de football américain" seul ce type de considération permet de lever les ambiguïtés. Mais on verra que les résultats obtenus dans les études prosodiques, ne sont pas encore suffisamment sûrs, pour qu'on puisse le faire automatiquement.

- (ii) La mélodie générale de la phrase qui permet en français de distinguer des phrases identiques, dont l'une serait énonciative, l'autre interrogative, la troisième impérative ou exclamative. Certes, on dit souvent que la mélodie monte en fin de phrase pour une interrogative, et descend pour une affirmative, mais il faut être très prudent, car le contenu mélodique est souvent beaucoup plus complexe [GRUN - 70] .

d) Le lexique : avec le lexique, et comme nous le verrons ensuite, la syntaxe et la sémantique, on a à première vue l'impression d'arriver sur un terrain plus connu, mais dès qu'on y réfléchit, on n'arrive plus à

en donner une définition précise, tant les interactions et confusions entre ces trois types d'informations sont grandes !

En première approximation, on peut dire que le lexique doit contenir l'ensemble des informations relatives aux mots. Mais, entre le lexique dictionnaire ne comprenant que la liste des mots acceptés par le langage, et le lexique "ensemble homogène par niveaux contenant des informations acoustiques, phonologiques, syntaxiques, sémantiques..." [GOUA - 79], il y a place pour tous les intermédiaires. Une des principales difficultés sera donc à ce niveau, de choisir le type de lexique à utiliser, autrement dit de définir quelles seront les informations, que nous intégrerons à la composante lexicale d'un système de compréhension de la parole.

e) La syntaxe : elle regroupe en général l'ensemble des informations contenues dans la grammaire, et si l'on prend la définition du PETIT ROBERT, c'est "l'étude des règles, qui président à l'ordre des mots, et à la construction des phrases" et c'est l'ensemble de ces règles qui forment la grammaire.

Mais là aussi, on se trouve confronté à des options très diverses ; entre des règles du type :

< Phrase > ::= < groupe sujet > < verbe > < complément >

et celles du type :

< Phrase 743 > ::= < le chat > < mange > < la souris >

tous les intermédiaires sont possibles, et les critères de choix très nombreux. Nous verrons dans les paragraphes B.2.2. et B.3.1., que les choix des représentations de la syntaxe, et des niveaux de détails de la description induiront pour une grande partie l'organisation générale

du système les utilisant. Le choix d'un bon niveau de description syntaxique sera donc prépondérant lors de la mise en œuvre d'un système.

f) La sémantique : c'est l'étude du langage considéré du point de vue du sens. Mais elle est aussi très souvent définie de façon négative : c'est tout ce qui n'est ni syntaxe, ni lexique. Une fois de plus, on est tenté de dire que c'est tout ou rien (ou tous les intermédiaires possibles), mais le plus souvent on s'accorde à penser que la sémantique présuppose la syntaxe et le vocabulaire, et regroupe l'ensemble des informations liées au sens, c'est-à-dire à la signification des mots, et aux liaisons entre les mots autres que de type syntaxique. Pour nous, en reconnaissance, elle correspondra le plus souvent à un ensemble de contraintes limitant les constructions syntaxiques possibles. C'est elle qui après "orage de" nous amènera à retenir des hypothèses telles que "pluie", "neige", "grêle"... et rejeter "soleil", "température"... ; elle pourra donc s'exprimer par des sortes de fonctions liant, ou pouvant lier des mots entre eux.

En fait, lorsque nous parlons de sémantique, nous pensons essentiellement à la sémantique d'une application : c'est parce que nous pensions à une application météorologique, que nous avons rejeté "orage de soleil" ; en poésie cela n'aurait certes pas rebuté BORIS VIAN qui, au début de l'écume des jours, écrit : "Son peigne divisa sa masse soyeuse en longs filets oranges pareils aux sillons que trace le gai laboureur à l'aide d'une fourchette dans de la confiture d'abricots".

Il va sans dire que pour cela on s'interdira toutes phrases contenant des images, des métaphores, ou toutes autres figures de style faisant appel à l'analogie.

g) La pragmatique : fortement liée au pragmatisme, dont elle a la même racine, elle correspondra pour nous à l'ensemble des connaissances a priori, que l'on possède sur l'application mise en œuvre, et recouvre aussi les présupposés nécessaires au dialogue.

1.1.2. Langages artificiels et langues naturelles

Avant de poursuivre sur l'étude et la mise en œuvre des diverses informations décrivant un langage, il nous faut nous arrêter un moment, et préciser le type de langage que nous souhaitons comprendre. Comme nous l'avons dit dans le chapitre A.1., nous nous intéressons aux langages "experts" permettant de dialoguer sur un domaine précis de façon quasi-naturelle. Or, "entre les langages artificiels et les langues naturelles, il existe le rapport suivant : ce que l'on gagne dans un langage construit artificiellement, c'est la précision de représentation d'un domaine relativement restreint... Mais les divers besoins de communication, qui sont satisfaits sans difficultés dans les langues naturelles, ne peuvent être assumés de façon artificielle, que dans un domaine précis" [BREK - 75] .

Nous n'avons jamais envisagé de reconnaître l'ensemble du français parlé, mais il nous semble que dans les langages définis, pour un domaine précis, il faille distinguer :

- (i) les langages véritablement artificiels définis par une syntaxe et un vocabulaire particulier. Même s'ils ont une consonnance naturelle, leur syntaxe très rigide nécessitera toujours une phase d'apprentissage, pour pouvoir être utilisés par l'homme. De plus, le changement d'application conduit en général à la

redéfinition complète du langage (syntaxe et vocabulaire).

(ii) Les langages pseudo-naturels définis par une syntaxe sous-ensemble assez vaste du français de base, et un lexique spécifique au domaine précis de l'application. Les principaux avantages d'une telle définition seront :

- un langage quasi naturel
- une utilisation facile et ne nécessitant aucun apprentissage, si du moins on se limite dans ses énoncés au domaine précis de l'application mise en œuvre, et qu'à la définition de l'application le lexique construit soit suffisamment "consistant". Il faudra pour cela, que le lexique couvre le plus possible le domaine traité, et puisse facilement être complété ;
- un passage plus facile d'une application à une autre : la syntaxe restant la même, seul le lexique sera à redéfinir.

C'est dans ce sens que nous parlerons maintenant de langages artificiels, et de langages pseudo-naturels. L'un et l'autre, comme nous le verrons, fourniront des applications potentielles très intéressantes pour la reconnaissance et la compréhension de la parole.

La définition du premier type de langage sera essentiellement syntaxique, et les informations sémantiques utiles lors de la reconnaissance seront réduites au maximum. Le vocabulaire sera implicitement défini dans la grammaire du langage comme étant l'ensemble des terminaux (au sens de la théorie des langages), qui seront soit de type "terminaux-vrais", soit de type "terminaux-lexiques", comme nous l'avons précédemment défini dans [PIER - 75] (cf. grammaire de

MYRTILLE I, rappelée dans l'annexe 1).

Pour le second type de langage, les informations sémantiques et lexicales seront particulièrement importantes, car ce sont elles qui permettront de prendre en compte la spécificité de l'application. Il est donc nécessaire d'étudier plus en détail dans ce cadre des langages pseudo-naturels l'ensemble des sources d'informations citées au paragraphe précédent.

On a coutume d'y distinguer :

- les sources d'informations indépendantes du contexte
(niveaux acoustico-phonétique, phonologique, prosodique et lexical)
- les sources d'informations contextuelles
(syntaxe, sémantique et pragmatique).

Pour notre part, nous proposons une autre classification respectant les niveaux apparaissant dans la définition des langages pseudo-naturels, telle que nous l'avons donnée plus haut. On y distinguera donc :

- (i) les informations liées à la structure du langage
- (ii) les informations liées à l'application
- (iii) les informations propres à la parole et/ou au locuteur.

Nous allons maintenant préciser les divers éléments de cette classification. Ce faisant, nous serons amenés à remettre en cause la nomenclature fournie au paragraphe précédent car, comme nous l'avons vu, la plupart de ces sources d'informations, et spécialement la prosodie, le lexique, la syntaxe et la sémantique sont multi-facettes, et recouvrent des informations de niveaux différents.

1.2. LES INFORMATIONS LIEES A LA STRUCTURE DU LANGAGE

Par structure du langage, on peut comprendre en première approximation : Syntaxe. Or, s'il est vrai que la plupart des informations syntaxiques, et en premier chef, la grammaire du langage, font bien partie de cette composante structurale, il nous semble que :

(i) ce n'est pas qu'à ce niveau qu'apparaît la syntaxe,

si du moins nous considérons qu'en définissant la structure du langage, la définition syntaxique ne doit pas aller à un niveau de détail plus bas que celui où apparaissent les classes grammaticales : nom, adjectif, article, verbe... Car, il faudra bien faire une liaison entre syntaxe et lexique, ne serait-ce que pour indiquer dans le cadre d'une application précise les fonctions syntaxiques possibles des différents noms. (mots)

(ii) La définition de la structure du langage ne doit pas se limiter uniquement aux seules règles syntaxiques

Car, comme nous l'avons rapidement signalé au paragraphe B.1.1.1., à la structure du langage sont aussi liées des informations lexicales

prosodiques

et sémantiques, quoique pour ces dernières la frontière entre syntaxe et sémantique soit assez floue, et que ce que nous qualifions ici de sémantique pourrait fort bien l'être de syntaxique par d'autres.

S'il ne semble pas nécessaire de revenir pour l'instant sur le (i), précisons maintenant quels types d'informations, autres que syntaxiques, doivent être liées à la structure du langage.

a) Informations lexicales

Elles regroupent essentiellement, les informations sur les mots grammaticaux qui, tout en faisant partie intégrante du lexique, n'en restent pas moins fortement liées à la structure du langage. Dans ces mots grammaticaux, nous classerons entre autres : les pronoms (personnels ou impersonnels, relatifs ou interrogatifs), les déterminants (articles et adjectifs interrogatifs, démonstratifs etc...), les adverbes les plus courants (lieu, temps) et les conjonctions (de coordination ou de subordination...).

Ce sous-ensemble du vocabulaire est un ensemble stable, quelle que soit l'application prise en considération. Appelés suivant les auteurs, mots grammaticaux, "mots vides", "mots outils" ou autres, leur liaison avec la structure de la langue est nettement mise en évidence dans la linguistique structurale américaine, qui les qualifie de "structural meaning" par opposition à "lexical meaning".

b) Informations prosodiques

Lorsque nous avons défini, de façon informelle, la prosodie, nous avons distingué la mélodie générale de la phrase des marqueurs prosodiques internes aux différents syntagmes la composant. Cette mélodie générale est une information fortement liée à la structure de la phrase. Si l'on détecte une intonation montante en fin de phrase, on devrait être amené à émettre une hypothèse indiquant que la phrase est probablement interrogative. Les constructions interrogatives et énonciatives étant

différentes en français, on peut être amené ainsi à émettre des hypothèses très pertinentes sur les mots. Pour ce faire, il est nécessaire de prévoir, dans la définition de la structure du langage, une prise en compte automatique d'une telle information prosodique.

c) Informations sémantiques

Dans un processus de reconnaissance, la prise en compte d'informations contextuelles de type sémantique peut fournir des renseignements très pertinents sur la structure de l'énoncé à reconnaître lors de l'étape d'émission des hypothèses. La syntaxe du langage ou la grammaire rend compte de l'ensemble des choix, ou alternatives possibles ; or la prise en compte d'informations sémantiques sur la partie d'énoncé déjà traitée peut restreindre fortement le choix des structures possibles.

Une solution pour rendre compte de tels phénomènes, peut consister à lier certaines structures syntaxiques à des préconditions "sémantiques" sur les mots précédents.

Voici, à titre d'exemple, un cas où un tel traitement restreint fortement les hypothèses possibles : le groupe verbal et plus précisément, le choix de la structure de la suite verbale.

De manière classique, dans la grammaire du français on définit un groupe verbal (G V), comme étant un Verbe (V) suivi d'une suite verbale (regroupant les compléments du verbe) (S G V) :

$$\langle GV \rangle ::= \langle V \rangle \langle SGV \rangle$$

La structure des suites verbales peut être très diverse. On en dénombre en français, de multiples types dont :

- $\langle SGV \rangle ::= \Lambda$ suite verbale vide
ex : "pleuvoir"
 - $\langle SGV \rangle ::= \langle GN \rangle$ c'est l'ancien complément d'objet direct
ex : "enregistrer des températures"
 - $\langle SGV \rangle ::= \langle Adj \rangle$ c'est l'attribut pas forcément avec "être"
ex : "faire beau"
 - $\langle SGV \rangle ::= \underline{que} \langle PR \rangle$ la suite verbale correspond alors à toute une proposition
ex : "dire qu'il fait beau"
- etc...

Or, chaque type de verbe ne peut être associé qu'à quelques structures de suites verbales (2 ou 3). Une précondition calculée avant l'analyse de la structure de la suite verbale, à partir d'information "sémantique" fournie par le verbe peut permettre de limiter considérablement les hypothèses émises [GROS - 68]. Ainsi, après pleuvoir, il est inutile d'aller tester d'autres suites verbales, que la suite verbale vide, car "pleuvoir" ne demande pas de suite verbale ! (les adverbes ne seront pas considérés comme suite verbale, mais comme modificateur du verbe).

1.3 INFORMATIONS LIEES A L'APPLICATION

Cela regroupe, outre le lexique et le vocabulaire, des informations sémantiques et pragmatiques, mais aussi un certain nombre d'informations syntaxiques.

a) Lexique et vocabulaire

C'est à ce niveau que doivent être définies les unités linguistiques ou mots correspondant aux classes "ouvertes" suivant la terminologie de MARTINET [MART - 60] : ce sont essentiellement les noms, les verbes et les adjectifs, mais aussi certaines classes d'adverbes, ou de locutions. Les informations nécessaires à la définition des mots sont très diverses, et comprennent en outre des aspects syntaxiques et sémantiques.

b) Informations sémantiques

Outre la signification de chaque mot du lexique, c'est à ce niveau qu'il faut définir les liaisons possibles entre les mots, compte tenu des restrictions apportées par le choix d'une application particulière.

Néanmoins, vu le cadre dans lequel nous nous sommes placés, nous nous intéresserons à ce niveau, essentiellement aux informations sémantiques permettant une utilisation efficace lors de la phase d'émission des hypothèses. Rappelons que, compte tenu du schéma donné au paragraphe A.2.3, nous ne nous intéresserons pas ici à la phase d'interprétation des énoncés.

c) Informations syntaxiques

Elles peuvent être de deux ordres :

(i) des informations syntaxiques liées aux mots du lexique ; il est en effet intéressant dans le cadre d'une application particulière de définir pour chaque mot une liste de fonction syntaxique qu'il peut remplir. C'est une première restriction de la syntaxe : ainsi, si on a des règles :

< Phrase > ::= < sujet > < verbe > < suite verbale >
< sujet > ::= pronom sujet / < Groupe nominal >
< groupe nominal > ::= < Déterminant > nom. . .

plutôt que de tester l'ensemble des noms, lorsque l'on cherchera un sujet sans informations contextuelles plus importantes, il suffira de ne tester que les noms pouvant être sujets.

S'il est quasiment impossible de définir de telles fonctions syntaxiques en français courant, l'expérience montre qu'il est possible de le faire dans le cadre d'applications particulières utilisant un vocabulaire de quelques centaines de mots.

(ii) des restrictions syntaxiques portant sur la structure générale des phrases. La définition de la structure du langage étant faite à un niveau autre que l'application, il faut pouvoir à l'aide de quelques paramètres très simples, restreindre son étendue si l'utilisation qui est faite du langage, pour l'application donnée ignore certaines structures. Ce pourra être le cas pour la prise en compte de subordonnées, le nombre de compléments du nom en cascade etc. . .

Une fois de plus, par ces limitations supplémentaires, nous gagnerons en précision, et en rapidité de traitement : l'objectif essentiel étant de paramétrer au mieux le langage pour une application à mettre en œuvre.

d) Informations pragmatiques

L'ensemble de ces informations étant par définition liées à l'application, c'est bien à ce niveau qu'il faudra toutes les définir. Ce sera en général :

- un ensemble de connaissances données a priori sur l'application ;
- la liste des "scénarios" possibles de dialogue, et donc en grande partie, la définition de la procédure de dialogue ;
- un ensemble de valeurs par défaut pour certaines fonctions sémantiques, nécessaires à la compréhension des phrases. On verra de tels exemples dans l'application météorologique, support des tests du système MYRTILLE II, où la date sera par défaut "aujourd'hui", et le lieu NANCY.

1.4. INFORMATIONS PROPRES A LA PAROLE OU LIEES AU LOCUTEUR

Ces informations peuvent se répartir en deux types correspondant à deux niveaux de détails différents :

- (i) les informations acoustico-phonétiques liées au lexique ; elles fourniront pour chaque mot une liste de paramètres correspondant à sa définition acoustico-phonétique, et comprenant :
 - une représentation acoustico-phonétique du mot, sorte de chaîne phonétique de références qui sera utilisée lors de la reconnaissance phonétique du mot ;
 - les numéros de règles d'altérations phonologiques rendant compte des diverses désinences possibles du mot. Nous ne conserverons dans le lexique, qu'une occurrence pour chaque mot correspondant le plus souvent au radical (en particulier pour les verbes).

- plus d'autres renseignements d'ordre plus pragmatique, tels que la longueur phonétique du mot, et éventuellement son patron phonétique qui ne fera intervenir que les phonèmes, ou classes de phonèmes dont l'identification sera sûre, compte tenu des limites du niveau acoustico-phonétique.

(ii) Les informations liées au locuteur

Ce pourra être en particulier, les règles rendant compte des liaisons, compte tenu des habitudes du locuteur, ainsi que la plupart des informations prosodiques sur les mots et les syntagmes qui dans leur ensemble sont fortement liés au locuteur.

Mais dans le cadre d'un système mono-locuteur, fonctionnant faussement en multi-locuteur, ce sera à ce niveau que s'effectuera la prise en compte de lexiques propres à chaque locuteur, ou groupe de locuteurs potentiels. Ces lexiques auront dû être construits préalablement par apprentissage. Précisons toutefois que, à ce niveau, nous nous intéressons uniquement aux diverses prononciations des mots, et non pas à la paramétrisation du reconnaiseur acoustico-phonétique, qui ne fait pas l'objet de cette étude.

1.5 CONCLUSION

Au terme de ce chapitre, et compte tenu des choix déjà effectués, on peut schématiser ainsi l'ensemble des informations à prendre en compte dans un système de compréhension de phrase :

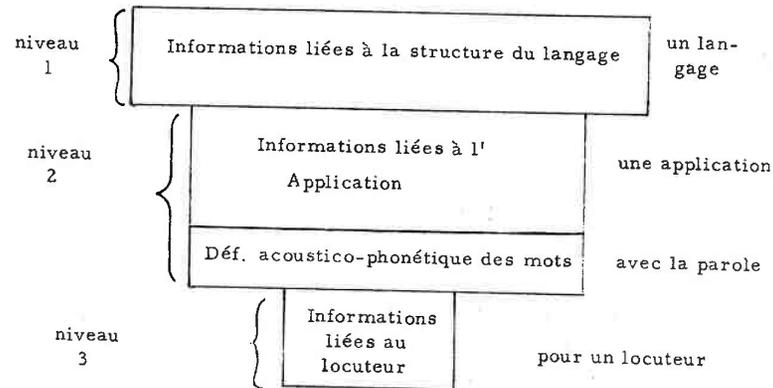


Schéma d'une organisation des informations dans un système de compréhension

Figure B.1.3

Si l'on souhaite traiter des langages sous-ensembles assez vastes du Français de Base, le niveau 1 devrait être unique ;
le niveau 2 serait à rédéfinir pour chaque application ;
et le niveau 3 pour chaque classe de locuteurs.

Notre objectif est de respecter le plus possible une telle organisation en vue de la définition d'un système paramétré à ces 3 niveaux.

Mais avant de présenter les modèles de représentation de ces informations dans le système MYRTILLE II, nous allons au préalable étudier les diverses stratégies d'utilisation de ces informations, ainsi que les modèles courants de représentation, car ces deux points ont fortement influencé les choix que nous avons faits.

CHAPITRE B.2.

LES DIVERSES STRATEGIES D'UTILISATION DES INFORMATIONS LINGUISTIQUES

2.1. OBJECTIFS ET RESULTATS SOUHAITES

Avant d'étudier les diverses stratégies d'utilisation des informations linguistiques dans la phase de compréhension d'un système de traitement automatique de la parole, il est nécessaire de préciser le type de résultats souhaités.

Contrairement aux systèmes de reconnaissance, un système de compréhension ne peut limiter son résultat à une liste linéaire des mots reconnus. En effet, son objectif sera de fournir, en outre, un certain nombre d'informations nécessaires à l'étape d'interprétation des énoncés.

De plus, ayant opté pour un principe général de type Hypothèse et Test, nous devons conserver, comme résultat intermédiaire, l'ensemble des informations linguistiques obtenues après traitement d'une partie d'énoncé, et pouvant aider à prédire des hypothèses sur les mots à reconnaître dans la partie non encore traitée.

Dans ce but, et de façon très schématique, nous pouvons dire que le résultat souhaité correspond à une représentation syntaxico-sémantique de la structure de surface de l'énoncé ou de la partie d'énoncé, traitée de puissance descriptive comparable à un arbre syntaxico-sémantique.

Pour bien comprendre les choix effectués dans le système MYRTILLE II, il nous faudra garder présent à l'esprit ces objectifs durant toute cette partie B, et plus particulièrement, lorsque nous étudierons, et discuterons les divers modèles de représentation du langage. Ce n'est qu'après avoir présenté les modèles retenus dans notre système (chapitres B. 4. et B. 5.) que nous expliciterons, plus précisément, la représentation interne de ce résultat (chapitre B. 6.), car cette représentation interne d'une phrase est fortement liée aux modèles linguistiques choisis.

2.2. TRAITEMENT ASCENDANT ET TRAITEMENT DESCENDANT

Dans les systèmes de reconnaissance de phrases réalisés, deux philosophies apparaissent, correspondant à deux approches très différentes [PIER - 79 b] :

- une approche descendante, qui consiste à s'appuyer sur les niveaux linguistiques (structure du langage...);
- une approche ascendante, qui consiste à partir du signal vocal, et de sa transcription phonétique.

En fait, nous verrons que ces approches doivent être combinées pour conduire à un système opérationnel, dans le cadre de langages pseudo-naturels. De plus, l'utilisation de ces approches décrivant une orientation "verticale", devra être combinée avec diverses organisations "horizontales" possibles de l'analyse : on distinguera donc aussi, les systèmes qui traitent le signal de "gauche à droite" de ceux qui procèdent du "milieu vers les côtés".

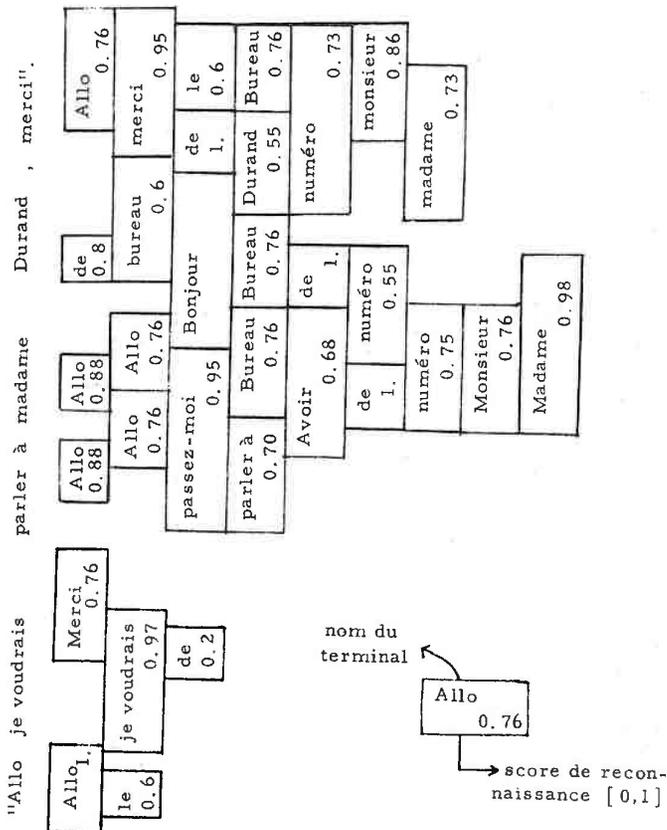
Notons enfin, que dans tout ce chapitre, nous considérons à la place du signal, sa représentation sous forme de pseudo-chaîne de phonèmes, tout en se donnant la liberté d'aller tester localement un certain nombre de paramètres directement sur le signal.

2.2.1. Méthodes ascendantes

L'analyse ascendante (qu'elle soit purement syntaxique ou plus générale) consiste à partir du signal, c'est-à-dire, dans le cadre dans lequel nous nous plaçons, de la transcription phonétique de la phrase prononcée, pour construire la phrase en remontant les divers niveaux d'abstraction. Cette façon de procéder procure une relative immunité contre les erreurs contenues dans la transcription de la phrase ; par contre, elle nécessite dans un premier temps, de construire le treillis de tous les mots possibles à partir de la chaîne ou du treillis de phonèmes. La figure B.2.1. donne un exemple d'un tel treillis de mots, obtenu dans la version ascendante du système MYRTILLE I. Ce treillis de mots atteint vite des dimensions importantes, dans le cas de traitement de langage à vocabulaire étendu et, par suite, une telle analyse strictement ascendante devient beaucoup trop coûteuse, si ce n'est inopérante.

Néanmoins, dans le cadre de langages artificiels à vocabulaire restreint, une telle méthode a été mise en œuvre dans des systèmes tels que DRAGON, LPARS ou KEAL, en fournissant de bons résultats.

a l o z a ŷ Y b i ε p d a e b a d d a ŷ d Y o m e l S e a
 e r u v l V u d ε e t a e o d d o g o Œ b U d a r F i ŷ
 à ŷ ŷ e z g e i k e a g o a b d m g a b d ŷ o o



Trellis de mots obtenus dans la version ascendante
 du système MYRTILLE I (d'après J. F. MARI)

Figure B.2.1.

2.2.2. Méthodes descendantes

L'analyse descendante, au contraire, consiste à partir du plus haut niveau d'abstraction (informations syntactico-sémantiques) pour prédire le ou les mot (s) pouvant apparaître à un endroit donné de la phrase. On cherche ensuite, par recherche lexicale, et reconnaissance phonémique, à vérifier l'existence de ces mots dans la transcription phonétique. Cette méthode, par son caractère prédictif, permet donc d'éliminer un certain nombre de mots candidats, comme le montre clairement la figure B.2.2. tirée de [MARI - 79], et comparant, dans le système MYRTILLE I, les hypothèses émises par une analyse descendante, telle qu'elle fut réalisée dans [PIER - 75] et le treillis total de mots possibles.

Néanmoins, ce type de méthode présente deux inconvénients dans le cas de langages pseudo-naturels :

si le vocabulaire est important, le nombre d'hypothèses à considérer reste important ; on risque donc de se perdre dans des constructions erronées, et le temps perdu en retours-arrière deviendra prohibitif ;

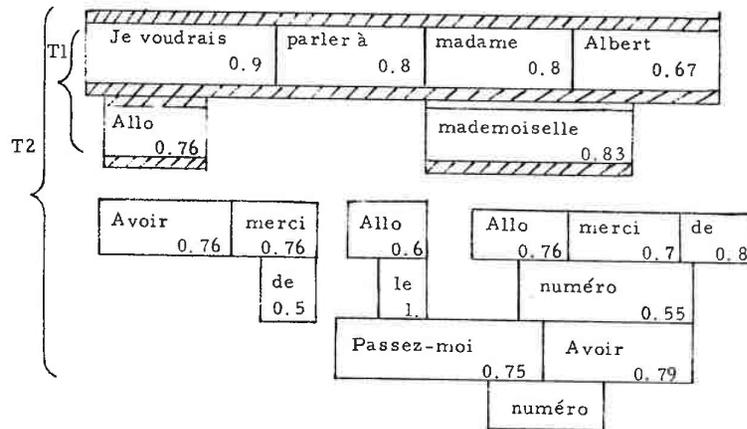
de plus, ce type d'analyse est beaucoup plus sensible au bruit qu'une méthode ascendante, et il faudra mettre en œuvre des procédures lourdes et coûteuses, pour se synchroniser dans la chaîne d'entrée.

Cette méthode donne pourtant de bons résultats pour des langages artificiels, dans des systèmes tels que MYRTILLE I, LITHAN, ou celui développé au S. R. I. . .

On peut d'ailleurs remarquer que dans le cas de langages restreints, les méthodes ascendantes ou descendantes fournissent des résultats comparables.

V ð v U u b E e p a r e a m a b a m a l b e
 Z a z Y ð d i É t e l ð ð b o d o ã o r d É
 z e Z o o g e i k ð e a e d ð g ð Õ e g i

"j' voudrais parler à madame Albert"



T1 : mots reconnus par une méthode descendante
 T2 : treillis total des mots dont la reconnaissance était possible

Comparaison du treillis de mot construit par une méthode descendante au treillis total possible

Figure B. 2. 2.

2.2.3. Méthodes Mixtes : solution adoptée dans le système MYRTILLE II

Afin de remédier aux inconvénients et limites des méthodes purement ascendantes ou descendantes, des solutions, que nous pouvons qualifier de mixtes, ont été proposées dans plusieurs systèmes de compréhension de la parole : HEARSAY, HWIN... ; c'est une solution de ce type que nous avons retenue dans le système MYRTILLE II.

Le plus souvent, de tels systèmes sont centrés autour d'un processus essentiellement descendant, qui émet des hypothèses de type mots, et une procédure de recherche lexicale (comparaison des mots et du treillis de phonèmes) effectuée la jonction entre les hypothèses émises, et les résultats du niveau acoustico-phonétique.

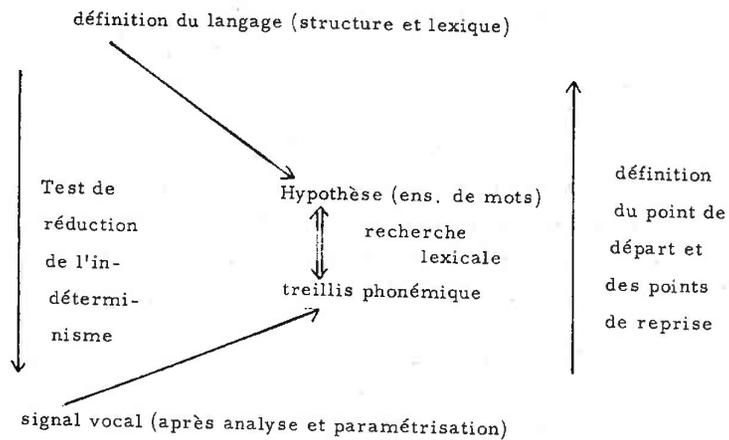
Mais en plus, on garde la possibilité de prendre en compte des éléments purement ascendants ou descendants, entre la définition du langage et le signal vocal :

- . des phrases ascendantes seront essentiellement utilisées pour déterminer le point de départ et des points de reprise du traitement par une recherche de mots clés ;
- . des phrases descendantes, par contre, permettront de lever en partie l'indéterminisme lié à la structure du langage par des tests s'effectuant directement sur le signal vocal comme nous le verrons dans le système MYRTILLE II.

Notons enfin, que nous ne prenons pas en compte ici les problèmes d'interactions entre les divers niveaux de traitement (syntaxique,

sémantique, lexical, acoustique...) qui, bien qu'ils ne soient qu'envisagés actuellement [HATO - 76 c], sont appelés à prendre de plus en plus de place dans les systèmes de compréhension de la parole.

On peut schématiser ainsi la stratégie choisie dans le système MYRTILLE II :



la stratégie choisie dans MYRTILLE II

Figure B.2.3.

2.2.4. Traitement "gauche-droite" ou "du milieu vers les côtés"

Ces méthodes d'organisation "verticale" sont de plus en plus combinées avec une stratégie horizontale, qui peut être essentiellement de deux types :

(i) un traitement "gauche-droite" qui, à première vue, semble bien adapté à la parole (systèmes HARPY, KEAL, LITHAN...)

Il consiste à traiter le signal suivant son ordre de production du début jusqu'à la fin. Une telle méthode permet de prendre en compte le caractère prédictif de la production de la parole ; néanmoins, sa réalisation s'avère souvent difficile pour deux raisons :

- . le début et la fin du message ne sont pas toujours faciles à détecter. Les tests parole / non parole posent des problèmes [YATS - 78], [RABI - 75] ; de plus, dans le cas de dialogue quasi-naturel, des hésitations, raclements de gorge, ou tous autres bruits de ce type précèdent souvent le message proprement dit.
- . Les parties bruitées de l'énoncé risquent de perturber fortement le traitement, et de provoquer un nombre important de fausses tentatives de reconnaissance.

(ii) un traitement du "milieu vers les côtés" à partir de mots clés ou de points d'ancrage (systèmes HEARSAY II, HWIN, SRI...).

Une telle méthode permet de prendre en compte facilement, les difficultés rencontrées dans le cas de traitement gauche-droite. Elle consiste le plus souvent à construire des représentations partielles de la phrase à partir de différents mots, bien reconnus. Les principales difficultés à traiter sont dans ce cas :

- . la nécessité de résoudre le difficile problème de fusion et d'intégration de ces diverses interprétations partielles de la phrase.
- . le choix des mots clés ou point d'ancrage qui doit se faire sur des critères très divers : rôle syntaxique, importance

sémantique, surêté de la reconnaissance phonétique...
A ma connaissance, il n'y a pas à ce jour de solutions
complètement satisfaisantes sur ce point.

Dans le cadre du système MYRTILLE II, nous privilégierons
le traitement gauche-droite, mais tenterons un traitement à partir
de mots clés, lorsque le traitement classique se sera avéré inopé-
rant, en conduisant à une impasse pour la reconnaissance.

2.3. COMPREHENSION GUIDÉE PAR LA SYNTAXE

Parmi les diverses stratégies mises en œuvre en reconnais-
sance de la parole, la compréhension guidée par la syntaxe nous paraît
avoir une place particulière essentiellement pour 2 raisons :

- (i) les informations purement syntaxiques (au sens de la théorie des
langages) furent pendant longtemps les premières, et les seules
informations contextuelles prises en compte en reconnaissance
de la parole, mais aussi de façon plus générale en reconnais-
sance des formes [FU - 76] .

Pour la parole, les premières utilisations d'informations syn-
taxiques apparurent en reconnaissance par mots isolés, et dès 1973 -
1974, un certain nombre de systèmes de ce type comportaient un analy-
seur syntaxique pour restreindre l'ensemble des mots à tester à chaque
pas de la reconnaissance [HATO - 75 a], [NEEL - 74] .

En parole continue, les premiers systèmes utilisant de telles
techniques furent présentés vers 1975 [BATE - 75], [QUIN - 77] ,

[PIER - 75] . Qu'ils utilisent une stratégie ascendante ou descendante,
ces systèmes procèdent tous de la même idée : utiliser la syntaxe pour
guider la compréhension.

- (ii) la seconde raison est d'un autre ordre : parmi les applications
possibles de la parole, certaines utilisent des langages artifi-
ciels restreints (à consonance naturelle ou non) qui peuvent être
entièrement décrits par leur syntaxe (commande de machines-
outils, par exemple). De tels langages peuvent être définis par
une grammaire (au sens de la théorie des langages) où les ter-
minaux correspondent aux mots, ou groupes de mots du langage.
On trouvera en annexe 1 une telle grammaire, qui décrit le
langage traité par le système MYRTILLE I.

Les langages de ce type peuvent être entièrement inclus
dans l'ensemble des langages à contexte libre, et dans la suite, nous
considérerons qu'ils sont décrits par une C-grammaire, même si d'
autres structures plus simples furent utilisées : matrices d'adjacence,
automates, grammaires de GREIBACH...

Les travaux qui ont conduit à de tels systèmes faisaient suite
aux études effectuées sur l'analyse syntaxique, essentiellement en com-
pilation. Notre but, n'étant pas de faire ici une étude sur les méthodes
purement syntaxiques, mais plutôt d'indiquer leur utilisation, leurs limi-
tes et leurs avantages, nous supposerons connues les définitions de base
et les techniques classiques d'analyse syntaxique, telles qu'elles sont
présentées dans [PAIR - 73], [PAIR - 74], [AHO - 73] ...

Que le lecteur non familier de ces techniques se rassure, seul
le paragraphe 2.3.2 nécessite ces connaissances pour être entièrement
compris ; il lui suffira donc d'ignorer les divers algorithmes présentés ici.

Notons enfin, que dans ce paragraphe, nous nous appuyerons essentiellement sur des exemples du système MYRTILLE I, que nous avons développé, et qui fait partie de cette classe de systèmes guidés par la syntaxe.

2.3.1. Rôle et problèmes spécifiques de l'analyse syntaxique en reconnaissance de la parole

Le rôle de l'analyse syntaxique en reconnaissance de phrase est essentiellement d'aider le passage du treillis phonétique, à la phrase reconnue. Ceci peut se faire de deux façons différentes :

- soit en limitant à chaque pas de la reconnaissance le nombre de mots à tester (processus descendant) ;
- soit en sélectionnant dans un treillis de mots préalablement obtenu, la ou les phrases syntaxiquement correctes (processus ascendant).

Comme nous l'avons déjà signalé, l'analyse syntaxique a été, initialement, développée en informatique pour guider la compilation de langages de programmation, et c'est dans ce cadre que diverses méthodes d'analyse syntaxique furent mises au point, puis formalisées. Dans un second temps, elle fut utilisée en reconnaissance automatique de textes écrits, et des méthodes spécifiques furent alors développées [VEIL - 77] .

Il est donc nécessaire de noter les différences fondamentales entre ces types de problèmes et ceux liés à la reconnaissance des formes, et plus spécialement à la reconnaissance de la parole, différences qui conduirent à la définition d'outils, et d'algorithmes spécifiques pour

la mise en œuvre de la syntaxe en reconnaissance du discours continu.

Parmi ces différences fondamentales, on peut noter essentiellement :

- l'indéterminisme sur la définition des terminaux et, par voie de conséquence :
 - la possibilité d'obtenir plusieurs résultats distincts, même dans le cas d'une grammaire non ambiguë ;
 - l'inadaptation, voire le manque d'intérêt des algorithmes permettant de lever l'indéterminisme lié à la grammaire du langage, grâce à la lecture, à l'avance de plusieurs caractères. Néanmoins, nous verrons que les méthodes utilisées en parole, s'inspire des méthodes à lecture à l'avance de 1 caractère, pour restreindre l'indéterminisme sur les mots grâce au processus d'hypothèse et test.

L'indéterminisme sur les terminaux, autrement dit le fait que la donnée à analyser n'est pas formée d'une suite d'unités non ambiguës et distinctes, résulte d'un certain nombre de caractéristiques du signal de parole :

- a) la parole est essentiellement continue, et il n'existe pas de ponctuation rigoureuse dans le message. Même si la prosodie peut fournir beaucoup d'informations, son utilisation est encore très faible car, dans ces indices à variabilité très grande, il est difficile de dégager des constantes d'un locuteur à l'autre, et même pour un seul locuteur, d'un moment à l'autre ; ils dépendent, en effet, beaucoup de paramètres psycho-physiologiques, tels que la fatigue, l'émotion, la vitesse d'élocution, etc...

Ainsi une même représentation acoustico-phonétique peut correspondre à des énoncés différents :

"le maladroit" "le mâle a droit".

- b) En plus des homographes, il existe beaucoup d'homophones dont les réalisations parlées seront identiques :

"sain" "saint" "sein" "ceint" "seing".

- c) Les mots courts tels les articles, conjonctions, prépositions, auxiliaires, sont largement utilisés en traitement des textes écrits, car ils sont porteurs de beaucoup d'informations syntaxiques. Mais leur reconnaissance acoustico-phonétique n'est pas suffisamment sûre pour qu'en compréhension de la parole l'analyse syntaxique puisse s'appuyer sur eux.

- d) Les limites du niveau de traitement acoustico-phonétique font de plus qu'il nous faudra travailler à partir d'une chaîne fortement entachée d'erreurs (de l'ordre de 30 % de phonèmes erronés).

Sans parler de la "paraphonie" telle que la définit CRESSOT dans sa Grammaire Française, et dont un exemple extrême est donné par les vers célèbres de Victor HUGO :

"Gal, amant de la reine, alla, tour magnanime,
galamment, de l'arène à la tour Magne à Nîmes"

On voit que cet indéterminisme sur les terminaux nécessite d'adapter les méthodes d'analyse syntaxique pour effectuer une reconnaissance du discours continu, guidée par la syntaxe.

Dans la suite, nous allons présenter rapidement les idées fondamentales sous-jacentes aux principaux algorithmes d'analyse

syntaxique adaptés à ce type de reconnaissance. Tous peuvent être utilisés soit dans un processus ascendant, (l'analyse sera alors guidée par les données), soit dans un processus descendant (l'analyse sera alors guidée par le contexte). Ensuite, nous présenterons quelques heuristiques permettant de prendre un peu de liberté par rapport à la grammaire du langage, car une des caractéristiques de la parole est que la syntaxe d'un message parlé est souvent moins stricte que celle d'un texte écrit (sans parler du bruit que sont les mots non significatifs, telles les interjections bon, heu, eh bien..., ajoutés par le locuteur). Enfin, nous terminerons ce paragraphe, en étudiant les limites de la reconnaissance guidée par la syntaxe, dans le cadre du traitement de langages pseudo-naturels.

2.3.2 Présentation générale des divers algorithmes

De façon générale, tous les algorithmes d'analyse syntaxique mis en œuvre dans les systèmes de reconnaissance de la parole guidés par la syntaxe, sont dérivés des algorithmes classiques avec lecture à l'avance de 1 caractère. Mais, étant donné l'indéterminisme sur les terminaux, la lecture à l'avance d'un caractère sera ici remplacée par :

- (i) dans le cas d'un processus ascendant
 - . la prise en compte du mot de meilleur score de reconnaissance, dans la portion de phrase à analyser.
- (ii) dans le cas d'un processus descendant
 - . la construction de l'ensemble des terminaux pouvant apparaître à cet endroit dans la phrase ; c'est ce que nous appellerons les hypothèses.

. Le test de ces diverses hypothèses par un analyseur lexicographique centré sur un module de reconnaissance phonémique de mots ; à chaque hypothèse testée, on fait correspondre un triplet (n° d'Hyp, score de reconnaissance, contexte d'Analyse syntaxique), et ces triplets sont rangés par ordre croissant des scores sur une pile.

. La lecture d'un caractère est enfin remplacée par la prise en compte du (des) sommet (s) de pile des hypothèses validées.

La grammaire d'un langage est définie par un quadruplet $(T, N, ::= X)$ tels que :

- T est le vocabulaire terminal (ensemble des symboles terminaux ou terminaux) ;
- N est le vocabulaire non terminal (ensemble des symboles non terminaux ou non terminaux) ;
- T et N sont des ensembles disjoints ; on notera $V = T \cup N$;
- X est l'axiome de la grammaire ($X \in N$) ;
- ::= est une relation binaire appelée relation de production entre N et V^* (ensemble des mots sur V) ;
- Un couple (A, α) tel que $A ::= \alpha$, $A \in N$ et $\alpha \in V^*$, s'appelle une règle de la grammaire.

Etant donnée une grammaire G de ce type, et une phrase α , effectuer l'analyse syntaxique de α , c'est trouver les ramifications engendrées par G, telles que α soit le mot des feuilles. La ramification correspond à l'arbre syntaxique de la phrase ; il s'agit donc de construire un tel arbre reliant l'axiome de la grammaire aux mots composant la phrase (les feuilles), et respectant les règles de la grammaire.

On distingue, de part la méthode de construction de la ramification r, trois types d'analyseurs syntaxiques :

a) Analyseur descendant

Dans cette méthode la ramification r représentant l'arbre syntaxique est définie de l'axiome (appelé aussi racine) vers les feuilles (de haut en bas).

La procédure analyse (A) pour $A \in V^*$, telle qu'elle est définie classiquement s'écrit dans le cas d'une lecture à l'avance d'un caractère pour réduire, ou lever l'indéterminisme sur la grammaire :

analyse (A) début % c correspond au mot courant dans la phrase

si $A \in T$ alors début

si $c = A$ alors écrire (A)

sinon erreur ;

lire (c) % lecture à l'avance du caractère ;

fin

sinon début

choix d'une règle $A_K ::= B_{K1} \dots B_{KN}$

tel que $c \overset{*}{I} B_{K1}$

avec $\overset{*}{I}$ étant la relation initiale ;

analyse (B_{K1}) ; ... ; analyse (B_{KN}) ;

fin

fin analyse (A)

Dans le système MYRTILLE I, nous avons adapté un tel algorithme à la parole, en remplaçant le choix d'une règle par l'émission d'hypothèses sur les terminaux possibles, et le test de ces hypothèses, au moyen d'une procédure de reconnaissance phonétique. On trouvera dans [PIER - 75], une présentation détaillée de l'algorithme ainsi obtenu.

b) Analyseur ascendant

Contrairement à la méthode précédente, l'arbre syntaxique est ici construit de bas en haut, et de la gauche vers la droite (des feuilles vers la racine).

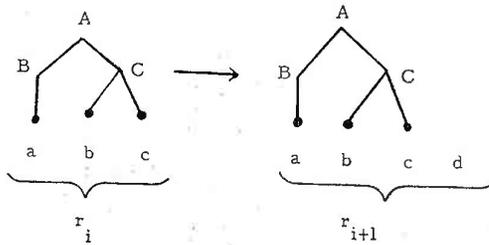
La ramification finale r représentant l'arbre syntaxique sera obtenue, comme dernier élément d'une suite de ramifications :

$$r_0 = \wedge; r_1; r_2; \dots; r_{n-1}; r_n = r.$$

Pour passer de la ramification r_i à r_{i+1} , on a le choix entre deux possibilités :

- (i) soit ajouter une feuille de r à droite de r_i ; désignons par '+' la concaténation de ramifications

$$r_{i+1} = r_i + d$$

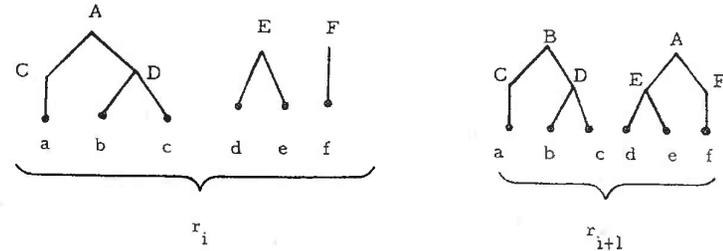


- (ii) soit faire une réduction à droite :

désignons par * l'enracinement de ramifications, on passe

$$\text{alors de } r_i = r' + r'' \quad \text{à} \quad r_{i+1} = r' + A * r''$$

avec r' et r'' sous ramifications (sous-arbres syntaxiques) de r_i



On trouvera dans [PAIR - 74], une présentation détaillée d'un tel algorithme, qui fut d'ailleurs adapté à la parole dans le système KEAL du CNET [QUIN - 77].

Notons que ces deux analyseurs, ascendant ou descendant, traitent le message de la gauche vers la droite, et donnent des résultats similaires.

c) Analyseur généralisé du milieu vers les côtés

Comme nous l'avons noté au paragraphe B.2.1.4., il n'est pas toujours possible en reconnaissance de la parole, de travailler de gauche à droite. Il était donc nécessaire de définir un algorithme d'analyse syntaxique généralisé travaillant du milieu vers les côtés.

De plus, si on souhaite reconnaître des formes non plus bi-directionnelles, mais tri-directionnelles, tels les dessins ou les images, un tel algorithme est nécessaire, car le début ou la fin d'un dessin ne correspondent à aucune réalité.

Pour ces raisons, un algorithme généralisé d'analyse syntaxique, fut mis en œuvre par notre équipe, dont on trouvera une présentation détaillée dans [MOHR - 76] et [HATO - 76 b].

Cet algorithme permet de démarrer l'analyse syntaxique en différents endroits, et procède ensuite successivement par des phrases

ascendantes ou descendantes, pour construire l'arbre syntaxique correspondant à la donnée à analyser.

Deux applications différentes ont utilisé cet algorithme :

- . le système MIRABELLE pour la reconnaissance de dessin [MASI - 78] ;
- . le système MYRTILLE I pour la reconnaissance de la parole [MARI - 79] .

Si un tel algorithme s'avère indispensable dans le cas de la reconnaissance de dessins, les résultats obtenus dans le cadre de la reconnaissance de langages artificiels guidée par la syntaxe restent du même type que ceux obtenus avec des analyseurs plus classiques. Par contre, nous verrons plus loin, que son utilisation peut être très bénéfique, voir indispensable dans le cas de reconnaissance de langages pseudo-naturels.

2.3.3. Tolérance aux erreurs

Quel que soit le type d'analyseurs syntaxiques mis en œuvre, il ne permet la reconnaissance que des phrases correspondant rigoureusement à la grammaire du langage. Or, en reconnaissance de la parole, il faut pouvoir tenir compte d'erreurs qui peuvent être de deux types :

- . adjonction de mots parasites ou de bruits
- . erreurs commises par le décodage en phonèmes, ou en mots.

Dans ces cas, si on applique une analyse syntaxique classique, on sera irrémédiablement conduit à un cas d'erreurs.

Pour augmenter les possibilités de reconnaissance, divers types d'heuristiques furent mises en œuvre ; parmi elles, on peut noter :

- (i) permettre la reconnaissance de mots à score très faible à condition qu'ils s'intègrent à une analyse partielle de score élevé. Ceci est particulièrement bien adapté au cas où l'analyse commence à partir des mots les mieux reconnus (cf. HEARSA Y II et HWIN) ;
- (ii) une autre solution que nous avons proposée dans [PIER - 75] (pp. 76 - 80), consiste à progresser d'un cran, soit dans la donnée à analyser, soit dans l'analyse syntaxique.

Si à un moment donné aucune hypothèse n'est validée par le niveau de reconnaissance de mots, on construit un ensemble d'hypothèses plus important, en adjoignant aux premières hypothèses, de nouvelles hypothèses obtenues après une analyse syntaxique d'un pas, et on teste ces hypothèses en effectuant une recherche lexicale dans un champ plus large du treillis de phonèmes de départ.

Le système MYRTILLE I réalisé avec une telle heuristique s'est avéré à l'usage assez tolérant aux erreurs, sans que pour autant ses performances s'en trouvent notablement affectées.

2.3.4. Inadaptation d'une telle stratégie à la reconnaissance de langages pseudo-naturels

Les résultats obtenus par des systèmes de reconnaissance uniquement guidés par la syntaxe, tels les systèmes KEAL du CNET

et MYRTILLE I du CRIN, ont montré qu'une telle stratégie était bien adaptée aux langages artificiels à vocabulaire restreint. Il en va tout autrement lorsqu'on aborde la reconnaissance de langages pseudo-naturels à vocabulaire étendu (plusieurs centaines de mots). Le rôle des informations sémantiques et pragmatiques devient alors fondamental, car la grammaire du langage est souvent très générale, et assez peu précise, et les énoncés à reconnaître ne sont pas toujours grammaticalement corrects.

Il faut donc pouvoir prendre en compte d'autres informations que les informations syntaxiques et les algorithmes que nous avons présentés ci-dessus, qui ne permettent pas toujours une coopération facile avec d'autres processus (sémantique, pragmatique, prosodique...). De plus, comme nous le verrons au chapitre B.3., la représentation de la structure d'un langage pseudo-naturel sous forme de grammaire à contexte libre n'est pas la seule solution et, en tous cas, nécessite un certain nombre d'adaptations pour être efficacement utilisée.

Dans la suite, nous nous intéresserons essentiellement aux langages pseudo-naturels. Il nous faut pour cela aborder dès maintenant les problèmes liés à la prise en compte simultanée des diverses sources d'informations.

2.4. PRISE EN COMPTE SIMULTANEE DES DIVERSES INFORMATIONS

Dans le cadre du traitement de langages pseudo-naturels à vocabulaire étendu (plusieurs centaines de mots); il est nécessaire de mettre en œuvre le plus grand nombre de sources d'informations possibles car, contrairement au cas de langages artificiels restreints, les informations syntaxiques ne suffisent plus pour sélectionner un ensemble pertinent d'hypothèses. Compte tenu de la classification que nous avons proposée au chapitre B.1., supposons que nous ayons à mettre en œuvre trois sources d'informations :

- . l'une liée à la structure du langage : STRUCTURE
- . l'autre, au lexique de l'application : LEXIQUE
- . la dernière aux informations plus spécifiquement parole :
PROPHON (pour prosodie, phonétique).

Outre les problèmes d'organisation interne de ces diverses sources d'informations, que nous aborderons dans les chapitres suivants, il faut étudier les différents types d'organisations possibles, pour la prise en compte de ces trois sources d'informations dans un système de reconnaissance.

On y distingue le plus souvent, les organisations dites hiérarchisées de celles qualifiées de non hiérarchisées.

2.4.1. Organisation non hiérarchisée

C'est, semble-t-il, l'organisation idéale qui devrait permettre la mise en œuvre de ces sources d'informations sans schéma pré-établi, mais uniquement au fur et à mesure des besoins du traitement.

Lorsqu'en compréhension de la parole, on parle de systèmes non hiérarchisés, on pense le plus souvent au système HEARSAY II de Carnegie Mellon University [LESS - 75], que nous avons présenté au paragraphe A.2.5. En effet, la description formelle de ce système présente diverses sources d'informations (SI) indépendantes les unes des autres, et dont toutes les interactions se font grâce à une Base de données externe (le blackboard). Chaque SI ignore donc les autres SI, et l'indépendance des diverses SI est ainsi assurée, du moins en théorie.

En fait, s'il n'existe pas de hiérarchie explicite des S.I. dans HEARSAY II on constate, à l'examen de la structure du Blackboard, que cette structure y est implicitement décrite du niveau acoustique jusqu'au niveau sémantique (cf. figure A.2.4.). On doit donc en fait parler de hiérarchie.

Cela n'a rien de surprenant. En effet, en l'état actuel de nos connaissances, il faut bien que le concepteur ait prévu les divers cas, car l'ordinateur ne peut à ce niveau prendre de lui-même des décisions. Mais, si une telle organisation n'est pas véritablement non-hiérarchisée, son avantage principal réside dans la souplesse d'utilisation des diverses S.I.

2.4.2. Organisation hiérarchisée

A l'inverse du système HEARSAY II, d'autres systèmes font apparaître une très forte hiérarchie entre les divers niveaux de traitement hiérarchie pouvant d'ailleurs être différente d'un système à l'autre. C'est en particulier le cas des systèmes MYRTILLE I [PIER - 78] et KEAL [MERC - 78], pour des langages artificiels : le premier utilise une hiérarchie de type STRUCTURE-LEXIQUE, alors que le second repose sur une hiérarchie inverse LEXIQUE-STRUCTURE.

Si l'on possède n sources d'informations, le nombre de stratégies possibles, si on accepte de ne pas prendre systématiquement en compte toutes les informations, est :

$$K = \sum_{i=1}^n A_n^i \quad \text{où } A_n^i \text{ est le nombre d'arrangements possibles de } i \text{ sources parmi } n ;$$

pour $n = 3$, on obtient $K = 15$, donc 6 stratégies utilisant 3 sources d'informations.

Dans le cas de langage pseudo-naturel, le choix d'une hiérarchie unique est impossible, car si certaines fois la structure prend le pas sur le lexique, dans d'autres contextes, il faut inverser entièrement le processus de traitement, voir même occulter entièrement l'une des sources (syntaxe par exemple).

2.4.3. Solution adoptée dans MYRTILLE II

Nous avons opté dans le système MYRTILLE II pour une solution intermédiaire, conséquence des objectifs que nous nous sommes

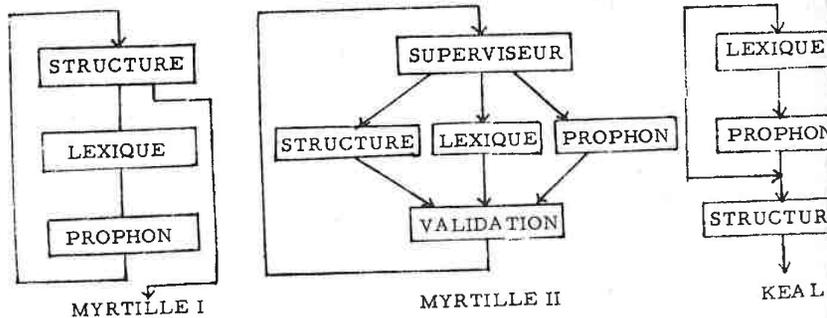
fixés : construire un système fonctionnant sur mono-processeur et traitant un langage pseudo-naturel.

L'organisation choisie sera donc de type pseudo-parallèle, entre les trois sources d'informations citées : STRUCTURE, LEXIQUE et PROPHON.

Nous avons opté pour une détermination dynamique (lors de l'exécution) de la hiérarchie de ces sources d'informations sur la base de critères qui seront eux-mêmes hiérarchisés, afin de déterminer une hiérarchie type dans les cas où le système n'a aucun critère de choix. Cette organisation nécessite de gros travaux de mise en œuvre, pour définir correctement un étage de décision, que nous appellerons "superviseur" et qui détermine les sources d'informations à prendre en compte, et leur ordre.

La figure B.2.4. présente schématiquement trois types de structures possibles :

- . à gauche à la manière de MYRTILLE I
- . à droite à la manière de KEAL
- . au centre la solution retenue dans MYRTILLE II



Quelques organisations possibles du système de compréhension

Figure B.2.4.

Parmi les conséquences de l'organisation choisie sur la définition, la représentation, et l'utilisation des diverses sources d'informations dans le système MYRTILLE II, on peut noter dès maintenant :

- (i) la nécessité de définir ces différentes sources d'informations de façon indépendante les unes des autres. En effet, compte tenu de cette organisation, il se peut qu'à un certain moment l'une des sources d'informations ne soit pas prise en compte car jugée inopérante compte tenu du contexte. Dans ce cas, il est nécessaire de rendre possible l'utilisation des autres sources, indépendamment d'elle.
- (ii) La compatibilité nécessaire entre les résultats fournis par les traitements associés à ces trois types d'informations. En effet, lorsque deux ou trois sources d'informations sont mises en œuvre dans une même phase d'émission d'hypothèses, il est souhaitable, vu l'aspect séquentiel du processus, que les résultats du traitement associé à la première source servent à la seconde, et ainsi de suite.

Pour prendre en compte ces deux aspects, nous avons été amenés à définir comme interface entre des différents traitements, un type de données que nous appellerons ensemble des Hypothèses, et dont la valeur initiale sera l'ensemble du vocabulaire. Chaque traitement T associé à l'une de ces sources d'informations consistera à restreindre cet ensemble d'hypothèses.

Le traitement associé à l'un de ces types d'informations peut donc être considéré comme une fonction T sur EH (ensemble des hypothèses) et à valeur dans EH tel que :

$$E H' = T_{\text{source d'inf}} (E H)$$

et $E H' \subset E H$.

2.5. STRATEGIE DE RECHERCHE D'UNE SOLUTION OPTIMALE

2.5.1. Position du problème

On peut considérer le problème de la compréhension de phrase comme un problème de recherche de la solution optimale dans un espace de réalisations partielles correspondant à l'ensemble des phrases et sous-phrases possibles, compte tenu de trois contraintes :

- la structure de langage
- le lexique
- la chafne ou le treillis phonétique d'entrée.

On appelle stratégie de recherche l'ensemble des règles régissant le parcours qui conduit à la solution retenue dans cet espace.

Il est quasiment impossible de décrire toutes les stratégies de recherches utilisées en reconnaissance de la parole, car on peut dire que chaque système possède sa propre stratégie.

Néanmoins, on peut tout d'abord, distinguer les stratégies totales des stratégies heuristiques [QUIN - 80], et dans cette dernière classe, nous considérons quatre sous-classes :

- le (s) meilleur (s) d'abord
- le recherche en faisceau

- le décodage séquentiel
- la recherche par "îlots de confiance"

Après une présentation rapide de ces diverses stratégies, nous présenterons les solutions adoptées dans le système MYRTILLE II, en précisant celle présentement mise en œuvre, et les extensions envisagées pour les versions ultérieures du système.

2.5.2. Stratégies totales

La caractéristique de ce type de stratégie est d'examiner tout l'espace de recherche, c'est-à-dire l'ensemble des solutions possibles. C'est la seule stratégie garantissant l'obtention d'une solution optimale.

L'un des meilleurs exemples de l'utilisation d'une telle stratégie est le système DRAGON [BAKE - 75] : il procède suivant un principe de programmation dynamique, et détermine pour l'ensemble des phrases possibles un score de reconnaissance, sous forme de probabilité.

Si une telle méthode a pu être envisagée dans le cadre d'un langage artificiel (jeux d'échec en l'occurrence), bien que sa vitesse d'exécution soit très lente, elle n'apparaît absolument pas adaptée au traitement de langage pseudo-naturel. Elle nécessite, en effet, d'examiner de façon combinatoire toutes les solutions possibles d'interprétation d'une phrase (c'est-à-dire toutes les combinaisons de mots).

Il a donc été nécessaire de définir des stratégies heuristiques qui se limiteront à l'examen des solutions les plus probables au sens des informations dont le système dispose.

2.5.3. Stratégies heuristiques

Parmi les stratégies couramment utilisées on peut noter :

(i) stratégie du "meilleur d'abord"

elle consiste à retenir à tout moment l'hypothèse de plus grande plausibilité (au sens de la mesure définie dans chaque cas particulier), et de poursuivre le traitement à partir de cette hypothèse.

En cours d'exécution, trois cas peuvent se présenter :

- un chemin conduit à une impasse : dans ce cas, il faut revenir en arrière, et choisir comme point de reprise la meilleure situation non encore explorée ;
- on obtient une situation finale (phrase syntaxiquement correcte et ensemble de la chaîne d'entrée prise en compte) : on arrête le traitement en supposant qu'il s'agit bien de la solution recherchée, mais rien n'assure que globalement on ait atteint la meilleure solution ;
- plusieurs choix locaux sont possibles : on sélectionne celui de plus grande plausibilité en conservant les autres comme points de reprise d'éventuels retours en arrière.

Les avantages d'une telle méthode sont sa simplicité de réalisation et sa rapidité d'exécution. En effet, on ne poursuit à chaque moment qu'une seule analyse, et le pourcentage de l'espace exploré est assez faible. (Beaucoup de chemins ne seront jamais explorés) [QUIN - 79] .

Par contre, son principal inconvénient est que le choix porte toujours sur un ensemble restreint de situations locales, et les risques de

se fourvoyer ne sont pas négligeables. De plus, le nombre de retours en arrière peut devenir prohibitif dans le cas d'applications complexes.

Un certain nombre de variantes ont été apportées à cette méthode de base ; parmi elles on peut citer :

- l'adjonction d'un score de rejet permettant d'arrêter un cheminement et de revenir en arrière pour tester d'autres hypothèses lorsque la plausibilité de la solution en cours devient trop faible. Le schéma de l'algorithme reste globalement le même ; seul le test d'une impasse se trouve modifié. C'est une solution de ce type, que nous avons mise en œuvre dans [PIER - 75] ; elle permet essentiellement de détecter plus rapidement les chemins erronés.

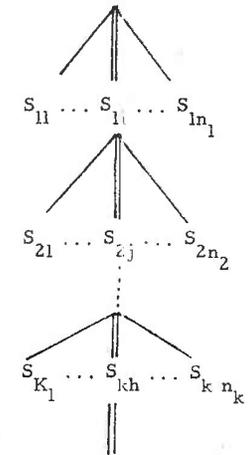


Schéma de cheminement avec une stratégie du "meilleur d'abord"

Figure B.2.5.

(ii) Recherche en faisceau

La recherche en faisceau est une forme de la stratégie des "quelques meilleurs d'abords" consistant à conserver simultanément les hypothèses les plus plausibles et à les poursuivre en parallèle et de façon "synchronisée" ; en effet, on ne comparera entre elles que des solutions partielles aboutissant au même niveau de profondeur dans l'arbre des solutions. Cette méthode peut s'avérer coûteuse en temps de calcul ; elle permet par contre d'augmenter le pourcentage de l'espace exploré, et donc de s'approcher un peu plus de la solution optimale.

Dans le système HARPY de PITTSBURG [LOWE - 76], cette stratégie est utilisée pour parcourir un énorme graphe contenant sous forme précompilée toutes les solutions permises, c'est-à-dire toutes les phrases possibles et leurs variantes jusqu'au niveau phonétique.

(iii) Décodage séquentiel

Cette stratégie de recherche est fondée sur un principe analogue aux deux précédentes mais permet d'explorer simultanément plusieurs branches de l'arbre des solutions possibles en parallèle. Moyennant certaines hypothèses, elle permet même d'explorer toutes les solutions et se rapproche alors des stratégies totales. Le système d'I. B. M. [SELI - 75] utilise une stratégie de ce type : la limitation du nombre de solutions, (c'est-à-dire de chemins) possibles se fait en assimilant à des processus markoviens les différents processus mis en œuvre dans l'élaboration d'une phrase.

La méthode de recherche proposée dans [NAKA - 79] repose elle aussi sur des principes similaires.

L'avantage de ces méthodes est de faire reposer le choix sur un grand nombre de situations. Mais son principal inconvénient est qu'il faut mener plusieurs analyses simultanément. De plus, en cas de reconnaissance impossible, elle nécessite un parcours complet de l'espace de recherche, ce qui est en général très long.

(iv) Recherche par îlots de confiance

Dans les stratégies précédentes, une phrase est supposée analysée de la gauche vers la droite en partant du début. Or, comme nous l'avons vu au paragraphe B.2.1.4 et B.2.2., il peut être intéressant, pour des raisons de reconnaissance de mots, ou de forme de la grammaire utilisée, de commencer l'analyse à partir d'un ou plusieurs mots préalablement localisés à l'intérieur de la phrase. Une solution de ce type, s'appuyant sur un certain nombre de mots "bien reconnus" et cherchant ensuite à regrouper diverses interprétations partielles, est appelée recherche par îlots de confiance. Une telle recherche a été utilisée dans le système HWIN de B. B. N. [WOLF - 77] et dans une version du système MYRTILLE I [MARI - 79].

La principale difficulté réside dans le fait de relier les diverses "théories" ou interprétations partielles ; par contre, elle semble assez bien correspondre à ce que réalise un auditeur humain, lorsqu'il se trouve affronté à une langue qu'il maîtrise mal.

2.5.4. Solution adoptée dans MYRTILLE II

Les stratégies que nous avons présentées sont très

diverses et le choix d'une stratégie dans un système de reconnaissance est très difficile à faire. Globalement, nous avons opté dans MYRTILLE II pour une solution du type "le meilleur d'abord" et pourtant, nous rapprochons à certains moments de la stratégie par îlots de confiance, par peur d'un résultat trop peu nuancé du type "échec" ou "bonne reconnaissance".

En effet, la stratégie choisie détermine essentiellement le type de retours-arrière effectués lors de la reconnaissance d'une phrase. Et il nous a semblé important, dans le cas d'un traitement d'un langage pseudo-naturel, pour lequel on ne peut raisonnablement pas envisager actuellement une reconnaissance quasi parfaite, d'appuyer la compréhension sur un certain nombre d'îlots de confiance, que l'on ne souhaite pas remettre en cause en cas d'échec partiel de la reconnaissance. Ils serviront en effet de support à la phase ultérieure de dialogue dont nous avons noté au chapitre A.1. toute l'importance.

Nous présenterons en détail cette stratégie dans la partie C, réservée à la mise en œuvre du système MYRTILLE II, et définirons alors ce que nous entendons par "îlots de confiance", que nous appellerons "éléments principaux consistants". Mais notons dès maintenant que, tout en conservant la simplicité d'utilisation de la stratégie du "meilleur d'abord", le système pourra être amené, dans une première étape avant la phase de dialogue, à arrêter ses tentatives de reconnaissance de l'ensemble de l'énoncé dans une situation de demi-échec, sans avoir épuisé toutes ses possibilités de retours en arrière. Il pourra alors transmettre à la phase de dialogue un résultat partiel correspondant à ce qu'il aura déterminé comme "éléments principaux consistants".

Notons par ailleurs que le système MYRTILLE II pourrait utiliser une autre stratégie : nous avons actuellement à l'étude une version ultérieure qui sera basée sur une recherche en faisceaux.

2.6. CONCLUSION

Au terme de ce chapitre, nous pouvons résumer les différents choix que nous avons posés dans le système MYRTILLE II, pour le traitement de langages pseudo-naturels :

- utilisation de sources d'informations les plus diverses, dont nous proposons une classification en informations liées à la structure du langage, à l'application, ou à la parole et au locuteur ;
- mise en œuvre d'une stratégie mixte regroupant des phases ascendantes et des phases descendantes ;
- prise en compte simultanée de ces diverses sources d'informations dans le processus d'émission des hypothèses grâce à une organisation hiérarchisée non figée ;
- utilisation d'une stratégie de recherche de type "meilleur d'abord" avec détermination d'îlots de confiance.

Ces divers choix impliquent des contraintes sur les modèles de représentation des différentes sources d'informations ; ce sont essentiellement :

- une séparation entre les informations liées au langage, à l'application et à la parole ou au locuteur ;

- une indépendance entre ces diverses sources d'informations permettant la mise en œuvre d'une de ces sources indépendamment des autres ;
- une compatibilité nécessaire entre le type d'Hypothèses émises par ces différentes sources d'informations.

Dans les chapitres suivants, nous allons tout d'abord confronter les différents modèles existants de représentation de ces sources d'informations à ces objectifs, et ensuite présenter les modèles que nous avons mis en œuvre dans le système MYRTILLE II.

CHAPITRE B, 3

LES MODELES COURANTS DE REPRESENTATION DE LANGAGES PSEUDO-NATURELS

3.1. INTRODUCTION

Les phrases que nous souhaitons reconnaître dans le système MYRTILLE II font partie d'un sous-ensemble assez vaste du français parlé, et leur reconnaissance s'effectue grâce à un principe général d'Hypothèse et Test, où les hypothèses sont émises, compte tenu des connaissances a priori que doit avoir le système sur le langage utilisé. Il était donc normal que, dans un premier temps, nous cherchions à définir un modèle de représentation du langage utilisé. Pour ce faire, nous nous sommes tournés tout d'abord vers les différents modèles existants, le plus souvent définis par des linguistes. Puis souhaitant profiter des recherches antérieures faites en informatique sur la représentation des langages, nous avons étudié plus en détail les modèles qui furent implantés sur ordinateur, bien qu'ils fussent en général proposés dans le cadre de la compréhension de textes écrits.

Parmi ces divers modèles, nous dégagerons une classification en trois points :

- les modèles purement syntaxiques ;
- les modèles syntaxico-sémantiques ;
- les modèles lexicaux et/ou sémantiques.

Le but de ce chapitre n'est pas de faire une étude exhaustive et complète de ces différents modèles (nous préférons renvoyer à leur concepteur), mais de faire une revue rapide des principaux modèles,

et de les confronter aux objectifs que nous avons déjà dégagés pour le système MYRTILLE II, afin de déterminer pour chacun ses avantages et ses limites.

Nous verrons ainsi qu'aucun de ces modèles ne nous satisfait pleinement, et proposerons un modèle particulier de définition du langage qui s'inspire de plusieurs de ces modèles, et qui servira de support au système MYRTILLE II dans sa phase de reconnaissance et de compréhension, à l'exclusion de la phase d'interprétation dont les objectifs sont différents.

3.2. LES MODELES PUREMENT SYNTAXIQUES

Parmi ces modèles, le plus connu est le modèle de grammaires hors contexte de N. CHOMSKY [CHOM - 59], [CHOM - 71], qui permet de décrire sous forme générative l'ensemble des phrases possibles du langage. Ce modèle correspond au modèle le plus couramment utilisé pour les langages artificiels dans le cas de reconnaissance guidée par la syntaxe. Bien que, comme nous l'avons vu au paragraphe B.2.2., nous ne pouvons nous limiter aux seules informations syntaxiques lors de la reconnaissance de langages pseudo-naturels, il est malgré tout raisonnable d'envisager un tel modèle pour la représentation de la structure du langage, même s'il faut compléter les informations qu'il fournit par d'autres informations essentiellement sémantiques.

La figure B.3.1. donne la définition d'un groupe nominal tel qu'on souhaiterait l'obtenir dans le système MYRTILLE II (nous avons

utilisé pour cela, le formalisme de BAKUS-NAUR).

```
< GN > ::= nom propre
          ::= < SN >
          ::= < SN > < PRR > < RELAT >
          ::= < SN > < PREP1 > < GN >

< PRR > ::= qui | que | ...
< SN >  ::= < DET > < NOMQ > | < NOMQ >
< NOMQ > ::= < NOMQD > | Adjectif < NOMQD >
          ::= < CHIF > < NOMQD >

< NOMQD > ::= nom | nom adjectif
< DET >  ::= < ART > | < ADJINT >
< ART >  ::= le | la | les | des | un | ...
< ADJINT > ::= quel | combien de | ...
< PREP1 > ::= de | sur | ...
< RELAT > ::= .....
```

C-grammaire du groupe nominal

Figure B.3.1.

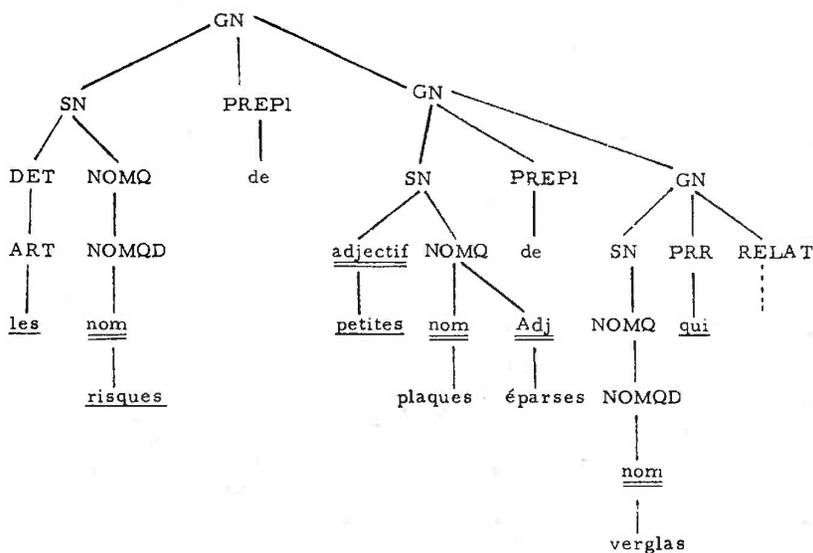
Les principaux avantages d'un tel modèle sont :

- * une bonne familiarisation du modèle ;
- * des procédures d'analyse de ce modèle bien spécifiées ;
on peut en effet utiliser telles quelles les procédures d'analyse syntaxiques que nous avons présentées en B.2.2. ;
- * la possibilité d'obtenir automatiquement la structure de la phrase analysée, grâce à l'arbre syntaxique fourni par les procédures d'analyse syntaxique ; à titre d'exemple, la

figure B.3.2. donne l'arbre syntaxique obtenu avec la grammaire de la figure B.3.1. pour la phrase :

"les risques de petites plaques éparses de verglas"

* une définition de la structure indépendante du vocabulaire utilisé.



GN : représente un nom terminal de la grammaire

nom : un terminal de type sous lexique

les : un terminal vrai

Exemple d'arbre syntaxique

Figure B.3.2.

Les inconvénients principaux sont, comme nous l'avons déjà noté au paragraphe B.2.2. ;

* la lourdeur d'une telle grammaire si l'on veut rendre compte des diverses possibilités d'un langage de type français parlé : plusieurs centaines de règles, et un très grand indéterminisme ;

* l'inadaptation d'un modèle génératif pour effectuer la reconnaissance ;

* la trop grande importance prise par des petits mots (un ou 2 phonèmes et souvent qu'une voyelle) qui servent d'appui à la structure syntaxique (prépositions, conjonctions, déterminants, ...). La reconnaissance de ces mots de liaison, risque d'être fort peu pertinente. En effet, mis à part certains mots qui peuvent être caractérisés phonétiquement (présence de plosives : car, qui, que, quand, de... ou de fricatives : si, sur, sans...), beaucoup sont sans intérêt dans la phase de reconnaissance, car on risque de les trouver à la place de n'importe quelle voyelle (et, ou, où, a, un, ...) ou syllabe (mois, l(e) (a) (s), ...);

* la difficulté de rendre compte de phénomènes contextuels par un traitement simple et rapide, ce qui empêche toute restriction locale, compte tenu du contexte ;

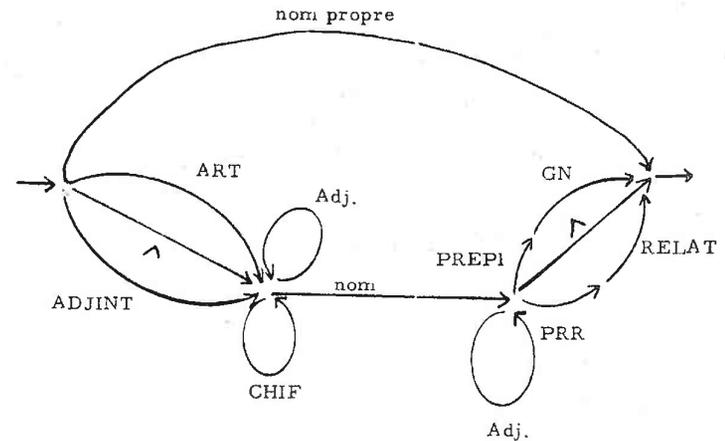
* le peu d'informations fournies dans un processus d'hypothèses par des terminaux trop généraux ex : nom, verbe, adjectif ;

* la séparation trop nette entre la syntaxe, et la sémantique alors que, comme nous l'avons vu au chapitre B.1., l'une et l'autre interviennent dans la définition de la structure du langage.

A ce modèle général, on peut rattacher l'ensemble des modèles purement syntaxiques, qu'ils soient plus simples, telles les matrices d'adjacence ou les automates d'états finis [BAHL - 78], ou plus complets, et par là même plus compliquées, telles les grammaires transformationnelles dont le but est de fournir un même arbre syntaxique, pour des phrases de structures différentes, mais de même signification par transformations de ces structures.

Citons, aussi parmi ces modèles, les grammaires en chaîne proposées par HARRIS [HARR - 71], qui furent utilisées par SALKOFF [SALK - 73], pour proposer une grammaire du français dont un sous-ensemble fut implanté sur machine par CASTANET [CAST - 76]. Ce modèle, qui s'apparente au modèle transformationnel de CHOMSKY, bien que le rôle des règles génératives soit plus limité, et les transformations reversibles, est lui aussi très lourd à mettre en œuvre, et garde la plupart des inconvénients du modèle de CHOMSKY.

Notons enfin, pour ce qui concerne les modèles de CHOMSKY, et ceux qui en découlent, qu'une présentation visuelle sous forme de réseau (cela correspond à ce que WOODS appelle R. T. N., à ne pas confondre avec les A. T. N., que nous présenterons plus tard), permet souvent de rendre plus explicite de telles grammaires. La figure B.3.3. donne un résultat équivalent à la grammaire fournie en B.3.1.



Réseau représentant la grammaire du groupe nominal

Figure B.3.3.

Ce type de réseau visuel est plus facile à exposer, à comprendre, et par suite à construire qu'une grammaire classique, mais ne fournit pas plus d'informations, bien au contraire : dans le réseau B.3.3., un certain flou subsiste car les boucles Adj. permettent d'engendrer un nombre quelconque d'adjectifs.

3.3. LES MODELES SYNTAXICO-SEMANTIQUES

Ces modèles sont tous apparus postérieurement au modèle de CHOMSKY, et ils furent le plus souvent le fruit d'études menées aux U.S.A., dans des instituts de "Computational Linguistics" dont nous n'avons hélas pas l'équivalent en FRANCE. Tous procèdent du même

principe de base ; faire intervenir le plus possible la sémantique en lien avec la syntaxe pour définir le langage naturel. Ce lien très fort entre syntaxe et sémantique nous semble être le point essentiel des recherches faites actuellement sur la définition des langages naturels, ou pseudo-naturels [WINO - 76] .

Pour la présentation de ces divers modèles, nous n'avons pas choisi une classification chronologique, mais plutôt une classification suivant des axes syntaxe-sémantique d'une part, et modèle-réalisation d'autre part.

a) Les grammaires sémantiques

Le nom de ce modèle est assez révélateur : c'est avant tout une grammaire du même type que celles utilisées par CHOMSKY, mais où l'on fait intervenir des informations sémantiques. En fait, on peut définir une grammaire sémantique en disant que les terminaux apparaissant dans la partie droite des règles (si le formalisme utilisé est celui de BACKUS-NAUR), ou sur les arcs (dans le cas de réseau) désignent des classes sémantiques telles que < perturbation >, < mesure >, < verbes de tel type >, ... et non plus des catégories syntaxiques, telles que < nom >, < verbe >, < adjectif > ... Lors de la définition de la grammaire pour une application donnée, le concepteur a tout loisir de définir les catégories sémantiques qu'il veut pour leur permettre d'avoir un sens précis dans le contexte étudié [BURT - 76], [BONN - 76] .

Les avantages et les inconvénients de ce type de modèles sont comparables à ceux des grammaires hors contexte générales, mis à part le fait que :

* on obtient alors une intégration maximale des traits syntaxiques et sémantiques ;

* mais on arrive très vite à définir des grammaires "ad hoc" pour une application donnée, et en ce sens les grammaires sémantiques vont à l'encontre d'un objectif, que nous nous sommes fixés dans le système MYRTILLE II (paragraphe B. 1.5.), à savoir dissocier le niveau application du niveau définition des structures du langage.

b) Les grammaires par cas

FILLMORE [FILL - 67] en proposant ce modèle remet en cause la nécessité de développer un arbre syntaxique complet de la phrase pour la compréhension. Son modèle se limite à rechercher les composants principaux de la phrase (argument) qui s'articulent autour de l'élément principal de l'énoncé, et à déterminer un certain nombre d'attributs syntaxico-sémantiques. La figure B.3.4. schématise l'organisation du modèle des grammaires par cas :

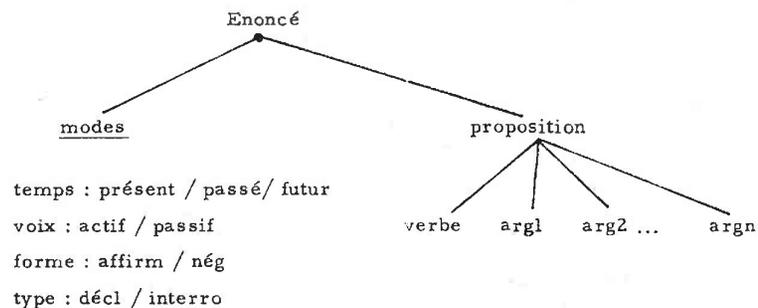


Schéma de base avec un modèle de grammaire par cas

Figure B.3.4.

A chaque verbe est associé ainsi un "frame" dans lequel sont prévues les variables liées aux arguments à remplir (acteur, agent, instrument...) grâce à des marqueurs sémantiques. Cette organisation autour du verbe ou de son remplaçant, et de ses arguments semble bien adaptée à une reconnaissance commençant par le verbe. Les faiblesses essentielles de ce modèle, compte tenu des objectifs que nous nous sommes fixés dans MYRTILLE II sont :

- une place trop importante donnée aux mots grammaticaux pour différencier les divers arguments du verbe ;
- le manque d'information positionnelle sur les mots, ce qui est pourtant essentiel pour pouvoir émettre des hypothèses sur les mots à reconnaître dans une partie du treillis phonétique d'entrée. Un tel système est sûrement plus adapté à une méthode ascendante où les mots sont déjà reconnus et on aborde là la différence essentielle entre le traitement des textes écrits, et celui de la parole ;
- un nombre trop important de "frames" à définir pour les verbes en français : chaque verbe est pour ainsi dire un cas particulier [GROS - 68] .

Pour ces raisons, nous avons écarté ce modèle dans la phrase de reconnaissance bien que, comme nous le verrons en partie C, nous utiliserons un tel modèle dans la phrase d'interprétation des énoncés.

c) Les grammaires systémiques

Proposé par HALLIDAY, ce modèle fait apparaître dans une sorte de graphe les différents cas possibles (les "systèmes"), les décisions à prendre lors de l'analyse d'une phrase. Ce modèle fut particulièrement

mis en valeur par les travaux de WINOGRAD [WINO - 72], qui associait une procédure du langage PROGRAMMAR à chaque élément du graphe.

Dans le cadre de la reconnaissance de la parole, ses avantages et inconvénients sont assez similaires à ceux des grammaires par cas.

Avoir des modèles ainsi définis est une chose ; encore faut-il aussi disposer de procédures de traitement de ces modèles efficaces, et bien adaptées au type d'analyse à effectuer. En effet, au stade actuel des connaissances linguistiques, "la valeur théorique d'un modèle ne va pas forcément de pair avec son efficacité" [COUL - 74]. Réciproquement, un algorithme trop "ad hoc", sans études suffisamment élaborées sur la structure du langage, peut s'avérer inexploitable même si, comme le programme ELIZA [WEIZ - 66], il fournit des résultats spectaculaires pour une application donnée. C'est pourquoi, nous adjoignons aux modèles cités précédemment deux réalisations particulières qui sont suffisamment générales pour fonctionner avec des modèles linguistiques différents :

- les réseaux de transitions de WOODS [WOOD - 70]
- les procédures de WINOGRAD [WINO - 72] .

Le but essentiel de ces réalisations est de permettre l'analyse d'une phrase en réduisant au maximum le temps perdu en retours-arrière (Back-tracking) en construisant des analyses partielles que l'on conserve, et qui peuvent être réutilisées ultérieurement.

Nous insisterons davantage sur le modèle de WOODS que sur celui de WINOGRAD, car il est plus proche de nos préoccupations. Il fut en effet à l'origine des traitements que WOODS mit en œuvre ensuite dans le système HWIN de B. B. N. [B. B. N. - 76] .

(i) les réseaux de transitions de WOODS

L'analyseur syntaxique mis en œuvre par WOODS correspond à un ensemble de procédures représenté sous forme de réseau, car cette description lui apparut plus facile à exposer, à comprendre et à réaliser (cf. paragraphe B.3.3.). Il appela son réseau A. T. N. (Augmented Transition Network) car, par rapport aux réseaux de transitions qui peuvent être utilisés pour représenter une C-grammaire, il ajoute, associées à chaque arc, des procédures permettant de construire la structure de la phrase, et prenant en compte le côté transformationnel des grammaires proposées par CHOMSKY.

Cette adjonction de procédures à un réseau syntaxique, que nous retrouverons aussi dans le modèle que nous proposons dans le système MYRTILLE II correspond à ce qui fut fait en compilation, par l'adjonction d'actions sémantiques sur un automate [GRIE - 71] .

De tels A. T. N. furent utilisés pour gérer des grammaires transformationnelles, et des grammaires par cas, puis pour permettre une meilleure prise en compte des informations sémantiques, des grammaires sémantiques (c'est une grammaire de ce dernier type qui est utilisée dans le système HWIN). Un A. T. N. est composé de nœuds et d'arcs représentant les états et les transitions. A chaque arc est associée une condition qui détermine s'il convient de l'emprunter, et, dans l'affirmative, une série d'actions à effectuer : ces actions ont pour but essentiel de construire la structure de la phrase.

Ainsi, comme le montre WOODS dans [WOOD - 70] , on construit la structure de la phrase anglaise :

"Does John like Mary ?"

à partir du réseau partiel que l'on trouvera en figure B.3.5., en exécutant les étapes suivantes :

* initialisation

- Registre * ← 1er mot soit Registre * ← "Does" pendant toute l'analyse le Registre * contient le mot en cours d'analyse ;
- on se positionne sur l'état de départ S ;

* à partir de l'état S, il y a deux possibilités : les arcs 1 et 2.

Seule la condition liée à l'arc 2 est vérifiée ("Does" = Auxiliaire ; on fait donc :

- AUX ← Registre * ("Does") ;
- TYPE ← "Q" c'est-à-dire type : interrogatif ;
- Registre * ← "John" ;
- on se positionne sur l'état Q2 ;

* à partir de Q2, le seul arc possible est l'arc 5

il vérifie son test : "John" = Nom Propre, on fait donc :

- SUBJ ← "John" "John" est donc considéré comme sujet
- Registre * ← "like"
- on se positionne sur l'état Q3 ;

* à partir de Q3, le seul arc possible est l'arc 6

il vérifie sa condition ("like" = Verbe) on fait donc

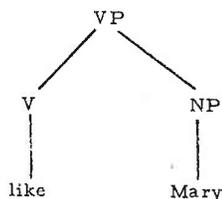
- V ← "like"
- Registre * ← Mary
- on se positionne sur l'état 4

* à partir de l'état Q4, 2 transitions sont possibles : 7 et 8

la condition de l'arc 7 : POP consiste à vérifier la fin de

l'analyse (Registre * = Λ) ; elle n'est pas vérifiée dans cet exemple, par contre, la condition liée à l'arc 8 est vérifiée ("Mary" = Nom-propre) ; on fait donc :

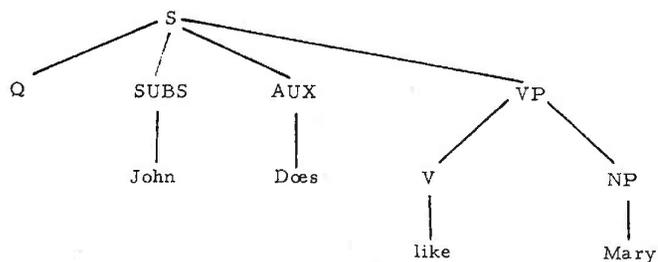
- construction de VP par V (+) Registre *
- où (+) correspond à la fonction d'enracinement telle que nous l'avons définie au chapitre B. 2. soit :



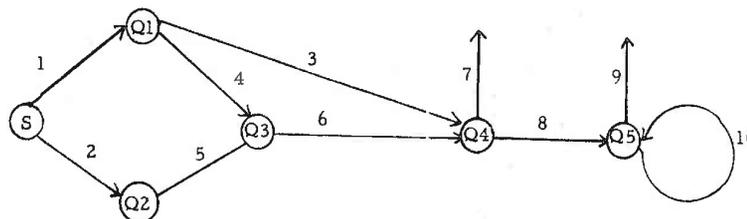
- Registre * ← Λ
- on se positionne sur l'état Q 5

* à partir de Q 5, les transitions 9 et 10 sont possibles, mais mais seul le test lié à l'arc 9 est réalisé (Registre * = Λ).

- On construit alors S en enracinant à la fois TYPE SUBJ AUX et VP ; on obtient donc :



- on passe à l'état END qui indique que l'analyse est terminée.



état de départ	arc	état d'arrivée	Test	Actions
S	1	Q1	NP	SETR SUBJ * SETR TYPE (QUOTE DCL)
	2	Q2	AUX	SETR AUX * SETR TYPE (QUOTE Q)
Q1	3	Q4	V	SETR AUX NIL SETR V *
	4	Q3	AUX	SETR AUX *
Q2	5	Q3	NP	SETR SUBJ *
Q3	6	Q4	V	SETR V *
Q4	7	END	POP	BUILDQ (S+++ (VP +)) TYPE SUBJ AUX V
	8	Q5	NP	SETR VP (BUILDQ (VP (V+)*V))
Q5	9	END	POP	BUILDQ (S++++) TYPE SUBJ AUX VP
	10	Q5	PP	SETR VP (APPEND (GETR VP) (LIST *)))

Exemple d'A. T. N. tiré de WOODS

Figure B. 3. 5.

Cet exemple est particulièrement simple, mais l'efficacité des A. T. N. est réelle, même pour des phrases nettement plus compliquées. Dans le système HWIN, WOODS a quelque peu modifié le fonctionnement des A. T. N., de façon à les rendre compatibles avec l'ensemble du système de reconnaissance.

Les principaux avantages des A. T. N. sont :

- la prise en compte des transformations de façon dynamique lors de l'exécution de l'analyse. Dans l'exemple fourni plus haut, l'interrogative a été implicitement transformée en déclarative. Dans le cas d'une phrase passive, l'énoncé sera d'abord analysé comme étant à l'actif, puis à la rencontre de la forme passive, il y a transformation de la phrase en affectant le sujet au complément, et en indiquant un sujet provisoire indéterminé ;
- la possibilité d'analyser séparément différents fragments de la phrase grâce à l'utilisation de réseaux partiels. C'est en particulier cette possibilité qui est utilisée dans le système HWIN, pour construire la structure des "théories" partielles lors de la reconnaissance par îlots de confiance ;
- liée au point précédent, la possibilité d'interrompre une analyse et de ne la reprendre que lorsqu'apparaissent les informations la concernant ;
- de plus, notons que l'adjonction de procédures liées à chaque arc permet d'effectuer à ce niveau des traitements très divers et, en particulier, de prendre en compte toutes sortes d'informations contextuelles.

Les inconvénients découlent essentiellement des limites des modèles linguistiques sous-jacents : grammaire de CHOMSKY, grammaire par cas. C'est d'ailleurs, sans doute, pour dépasser ces limites dans le cadre de la reconnaissance de la parole que WOODS, et son équipe ont utilisé un A. T. N. traitant une grammaire sémantique dans le système HWIN. Mais dans ce cas, les inconvénients de leur système recouvrent entièrement ceux des grammaires sémantiques : les réseaux ainsi créés, et les procédures associées deviennent très spécifiques de l'application choisie [BBN - 76] . En ce sens, ils sont en contradiction avec les objectifs de paramétrisation que nous nous sommes fixés, pour le système MYRTILLE II.

En conclusion, on peut dire que le principal avantage des A. T. N. est de pouvoir prendre en compte des informations contextuelles dans les procédures et tests associés à chaque arc du réseau, ce que ne pouvait faire les C-grammaires, et les analyseurs associés. Nous verrons que les structures adoptées dans le système MYRTILLE II sont inspirées en partie de ce modèle.

(ii) Les procédures de WINOGRAD [WINO - 72]

L'approche de WINOGRAD est assez semblable à celle de WOODS, même si elle en diffère fortement au niveau de la réalisation. Elle repose sur une grammaire systémique, et associe à chaque cas possible une procédure particulière.

WINOGRAD s'est situé par rapport à WOODS en lui reprochant d'avoir un modèle non déterministe, et de construire une structure dont on ne voit pas l'utilité. Pour notre part, nous ne suivrons pas WINOGRAD à ce niveau car, comme nous l'avons déjà dit, l'indéterminisme ne peut être supprimé dans le cas du traitement de la parole, et la

structure syntaxique de la phrase peut fournir de nombreuses informations tant dans la phase d'émission des hypothèses que dans la phase d'interprétation des énoncés. Pour ces raisons, notre démarche est plus proche de celle de WOODS, que de celle de WINOGRAD.

Pour supprimer l'indéterminisme, WINOGRAD indique toujours une voie unique, et ce n'est qu'en cas d'impasse, qu'il effectue des retours en arrière, pour lesquels il utilise au maximum l'information déjà recueillie par les traitements précédents.

D'autre part, il remplace la construction de l'arbre syntaxique par l'élaboration directe des commandes qu'exécutera le robot.

Le système de WINOGRAD fut l'un des seuls entièrement réalisé et que l'on peut voir fonctionner en lien direct avec le robot, qui manipulait cubes et pyramides. Il est à noter à ce propos qu'une grosse partie de son travail fut de modéliser les connaissances qu'avait le robot de son environnement. De plus, avant que WOODS utilise pour ses A. T. N. des grammaires sémantiques, WINOGRAD réalisait son système de robot, où il menait entièrement de front les analyses syntaxiques et sémantiques.

Notons enfin que comme pour les A. T. N. sémantiques, l'inconvénient essentiel des procédures est de ne pouvoir être transportées d'une application à une autre qu'après une réécriture complète de l'ensemble des procédures.

A la suite des travaux de WINOGRAD, de nombreuses autres études utilisèrent une représentation procédurale des connaissances, et en FRANCE, on peut noter que COULON et KAYSER, après avoir utilisé une représentation par triplets de sens qui s'approchent plus des

modèles lexicaux que nous allons aborder maintenant, ont aussi travaillé à la compréhension de textes écrits à l'aide d'un réseau sémantique de procédures [COUL - 76], [COUL - 78].

3.4. LES MODELES LEXICAUX ET/OU SEMANTIQUES

Ce troisième type de modèles, contrairement aux deux précédents, qui cherchent à définir la structure du langage ou utiliser un modèle de structure du langage, s'appuient essentiellement sur la définition des mots et de leur contexte pour représenter l'ensemble des informations nécessaires à la reconnaissance, et à la compréhension de phrases. On peut y distinguer deux sous-types, suivant que l'information est fournie par des transitions entre les mots, ou par des fonctions associées à chaque mot.

Après une présentation rapide de ces deux types de modèles lexicaux, nous présenterons un aperçu sur un modèle lexical particulier mis en œuvre en reconnaissance de la parole, et prévu pour coopérer avec d'autres sources d'informations (grammaire du langage en particulier).

3.4.1. Modèles lexicaux s'appuyant sur la définition de transition entre les mots

Leur but est de déterminer l'ensemble des transitions possibles entre les mots du langage à reconnaître. Ces transitions recouvrent à la fois des informations syntaxiques et sémantiques. On peut citer comme exemples de systèmes utilisant de telles représentations :

- a) le système DRAGON réalisé par BAKER [BAKE - 75], qui est tout entier fondé sur un processus de MARKOV. Tous les niveaux d'informations sont fondus, et pris en compte dans un réseau unique de transition qui est parcouru au fur et à mesure de la reconnaissance des données acoustico-phonétiques ;
- b) le système HARPY [LOWE - 76], conçu à la suite de DRAGON, utilise un réseau de même type, mais cette fois-ci, les probabilités de transitions sont remplacées par une valuation particulière très liée à l'application mise en œuvre ;
- c) le système de JELINEK [JELI - 75] utilise aussi de telles méthodes. Le langage est défini par un automate d'états finis au niveau des mots dont chaque arc porte une probabilité. La reconnaissance s'effectue au moyen d'un algorithme de décodage séquentiel, qui analyse la phrase en recherchant d'abord le chemin le plus probable, compte tenu du modèle.

Les avantages de ces modèles de représentation des connaissances sont liés essentiellement à la rapidité d'exécution obtenue grâce aux réseaux précompilés, mais leur principal inconvénient réside dans le fait que les réseaux ainsi obtenus sont très spécifiques d'une application. A chaque changement d'application, il faut donc réécrire entièrement le réseau. Une fois de plus, nous obtenons ici une caractérisation contraire aux objectifs de paramétrisation, que nous nous sommes fixés pour le système MYRTILLE II.

3.4.2. Modèles lexicaux s'appuyant sur des fonctions liées aux mots

A l'inverse des modèles à transitions, on ne cherche pas dans ce cas à fournir une description de l'ensemble des phrases possibles, mais plutôt à définir chaque mot en y associant des attributs syntaxiques, sémantiques etc... Nous allons présenter 2 modèles se rattachant à cette classe et qui furent développés pour la compréhension de texte écrit :

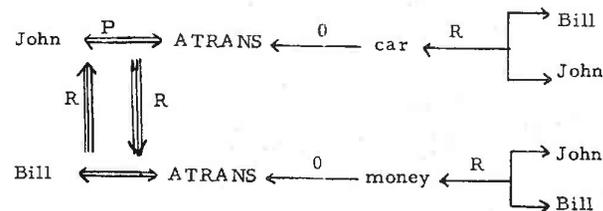
- les dépendances conceptuelles
- les triplets de sens ;

a) les dépendances conceptuelles de SCHANK [SCHA - 75]

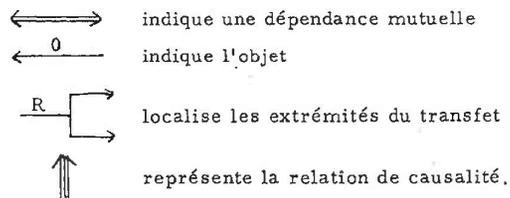
Dans ses travaux R. C. SCHANK a défini un modèle dont les éléments de base sont les concepts élémentaires : un même mot peut recouvrir plusieurs concepts élémentaires. Il n'attache qu'une importance relative à l'analyse syntaxique et cherche avant tout à représenter la signification des phrases grâce à des relations conceptuelles, et des actions élémentaires qui relient entre eux les différents concepts élémentaires.

Voici à titre d'exemple le réseau sémantique construit pour la phrase :

"John sold his car to Bill"



ATRANS représente le transfert abstrait (ici transfert de propriété)



Cette représentation a l'avantage de représenter par un même réseau deux énoncés différents de même signification. Par contre, il ne prend pas en compte les informations liées à la position relative des mots dans la phrase. S'il est donc bien adapté à l'interprétation, il semble particulièrement mal adapté à un processus prédictif de reconnaissance ;

b) les triplets de sens

Dans ce modèle, il s'agit de représenter l'ensemble des connaissances par des triplets du type : (e^t₁, e^t₂) fonction.

C'est ce qu'utilisent COULON et KAYSER [COUL - 76], qui à partir d'un énoncé tel que

"Jacques observe Paul boire son chocolat"

déterminent un certain nombre de triplets parmi lesquels :

(Jacques, A) voir

A : (Paul, chocolat) boire

et pour expliciter les termes :

(Paul, personne) sorte de

(Chocolat, boisson) sorte de

Ce type de représentation semble lui aussi bien adapté à l'interprétation, mais apporte peu d'informations lors de l'émission des hypothèses, car il élimine toutes les informations de positionnement nécessaire pour déterminer quels mots peuvent apparaître dans une partie du treillis phonétique.

3.4.3. Composante lexicale en reconnaissance de la parole

Dans le cadre de la reconnaissance automatique de la parole, dès que l'on dépasse le stade de langages artificiels décrits par une C-grammaire, dont les terminaux sont les mots du langage, il est nécessaire de prévoir un lexique dont le rôle très important est de définir les différents mots utilisés grâce à diverses composantes : phonologique, syntaxique, sémantique... Contrairement aux modèles présentés précédemment, un tel lexique n'a pas comme objet de définir l'ensemble des informations liées au langage, mais de compléter au niveau des mots les informations fournies par d'autres sources (grammaire du langage par exemple).

L'un des principaux lexiques de ce type est développé par l'équipe de G. PERENNOU dans le projet ARIAL [PERE - 79 b], [GOUA - 79]. Ce projet ARIAL II de reconnaissance de la parole est centré sur le décodage lexical, et de fait le lexique a une place particulière dans ce système [PERE - 80 b]. Le réseau lexical propre à une application donnée est dérivé d'un lexique général intégrant plus de 5 000 racines, et associant à chaque mot, outre sa représentation phonétique des composantes

- phonologique (numéro de règle d'altération par exemple)
- syntaxique par attribut, telle que codes ou fonctions syntaxiques
- sémantique par attribut ou par découpage en sous-classes sémantiques

Bien que le système MYRTILLE II repose sur une organisation différente du système ARIAL II, nous serons amenés à définir aussi une composante lexicale, assez comparable à celle développée au CERFIA.

3.5. CONCLUSION

Nous arrêterons là cette revue des différents modèles, qui est loin d'être complète ; il faudrait encore citer les modèles liés à la logique floue, dont des applications à la parole sont en cours d'étude [SAIT - 78], les travaux de CHARNIAK [CHAR - 76], ainsi que les modèles liés à la logique du 1er ordre [COLM - 77].

En résumé, on peut dire que la séparation entre syntaxe et sémantique est une séparation très artificielle, et que le courant actuel est de lier le plus possible syntaxe et sémantique, tant en traitement de textes écrits [WINO - 76], qu'en compréhension de la parole [PAXT - 76], [HEND - 75]. En effet, les modèles purement syntaxiques sont essentiellement de type génératif, les modèles purement sémantiques sont le plus souvent très "lourds" à mettre en œuvre, et les uns comme les autres semblent mal adaptés à la reconnaissance de langages parlés pseudo-naturels.

De plus, aucun des modèles présentés (exception faite des réseaux lexicaux) ne prend en compte les aspects spécifiques de la parole, et la plupart des modèles s'appuie énormément sur les mots courts de liaison (mots grammaticaux). Néanmoins, tous représentent des acquis indéniables dont il faut tenir compte lors de l'élaboration d'un nouveau modèle.

Les objectifs que nous nous sommes fixés pour le système MYRTILLE II, nous font distinguer structure et lexique, plutôt que syntaxe et sémantique. Nous allons maintenant présenter les modèles que nous avons mis en œuvre pour l'un et l'autre de ces aspects à savoir :

- les réseaux syntaxico-sémantiques à nœuds procéduraux
 - et
 - un lexique à hiérarchies multiples.
-

CHAPITRE B.4

DEFINITION SYNTAXICO-SEMANTIQUE DES STRUCTURES DANS LE SYSTEME MYRTILLE II

4.1. OBJECTIFS ET PRINCIPAUX CHOIX DE REALISATION

4.1.1. Objectifs

Suite à l'étude des divers modèles de représentation du langage, et à l'inadaptation de chacun de ces modèles au problème que nous souhaitons résoudre, nous avons été amenés à définir un modèle particulier pour rendre compte de la structure syntaxico-sémantique du langage. Les principaux objectifs de ce modèle sont de décrire une structure du langage :

- (i) indépendante de l'application et décrivant un sous-ensemble assez vaste du Français parlé. Ceci est la conséquence logique du choix que nous avons fait de dissocier nettement la définition de la structure du langage, et celle des mots de l'application.

Le type de langage que nous souhaitons traiter dans le système MYRTILLE II correspond à un sous-ensemble assez vaste du français parlé ; il nous a fallu, dans un premier temps définir une grammaire suffisamment générale permettant de prendre en compte la plupart des constructions du français parlé. Les principales restrictions syntaxiques que nous avons

introduites sont :

- la non prise en compte des références pronominales, à l'exclusion de références implicites pour les pronoms personnels telles que

1ère personne → locuteur
2ème personne → système
3ème personne → pronom impersonnel ou indéfini ;

- la prise en compte de subordinées circonstancielles uniquement en début et en fin d'énoncé ;
- la limitation des relatives aux seules relatives commençant par "qui" et "que" ;
- la suppression des incisives, exclamatives et impératives ;
- et dans un premier temps, la suppression de la plupart des coordinations.

Nous donnerons au chapitre 3 de la partie C une présentation détaillée de la structure du langage telle qu'elle est actuellement mise en œuvre dans la première version du système MYRTILLE II.

- (ii) porteuse d'informations sur la position relative entre les mots d'un type comparable à celles que peut fournir une matrice d'adjacence pour une C-grammaire.

Ceci nous paraît primordial pour pouvoir restreindre au maximum le nombre d'hypothèses de type mot pour lesquelles sera tentée une reconnaissance acoustico-phonétique sur une partie limitée du treillis phonétique d'entrée.

- (iii) permettant de construire en cours de reconnaissance un arbre

syntaxico-sémantique, représentant la structure de surface de la partie d'énoncé déjà traitée et de même type que ceux obtenus avec des C-grammaires, ou des A. T. N. Les réalisations partielles de cet arbre syntaxique seront utilisées pour décrire le contexte nécessaire lors de la phase d'émission des hypothèses. La représentation finale de l'énoncé après compréhension de la phrase doit de plus permettre de paraphraser facilement l'énoncé reconnu et il est nécessaire pour cela d'avoir une bonne reconnaissance de sa structure syntaxico-sémantique.

- (iv) adaptée au traitement de la parole continue c'est-à-dire :

- intégrant des traitements particuliers pour les mots courts de liaison et ne permettant en aucun cas à l'analyse de trop s'appuyer sur eux ;
- limitant ou plutôt gérant le mieux possible l'indéterminisme dû à la définition syntaxique, et aux limites de la reconnaissance des terminaux.

4.1.2. Choix de réalisation de ces objectifs

Chacun des objectifs précédemment cités a guidé les choix de réalisation que nous avons faits.

Très schématiquement on peut dire que

les objectifs (ii) et (iii) nous ont orientés vers un modèle de type grammaire hors contexte ou R. T. N., tel que nous l'avons défini en figure B.3.3.

l'objectif (i) nous a conduits à limiter la description syntaxique aux classes grammaticales classiques : NOM, VERBE,

ADJECTIF, CONJONCTION... et donc à la définition d'un niveau de détail comparable aux grammaires de CHOMSKY.

La structure syntaxique ainsi obtenue étant très générale, nous avons choisi de permettre des restrictions syntaxiques locales (i. e. : guider les choix de structure syntaxique) compte tenu de l'ensemble du contexte déjà analysé. Pour cela, afin de rester dans le cadre des grammaires hors contexte, nous avons opté pour l'adjonction de procédures de traitement syntaxico-sémantique assez comparables aux actions sémantiques utilisées en compilation [GRIE - 71].

Enfin, nous avons choisi d'intégrer à ces procédures des traitements particuliers permettant de rendre compte des particularités liées à la parole notées dans l'objectifs (iv) à savoir :

- traitement des mots courts de liaison
- gestion de l'indéterminisme par détermination dynamique de plausibilité sur les divers choix syntaxiques

Le modèle ainsi obtenu correspond à un réseau de transition, représentant une grammaire hors contexte à terminaux de type classes syntaxiques, auquel nous avons ajouté une procédure à chaque nœud pour :

- effectuer des restrictions syntaxiques locales grâce à des tests de validité syntaxico-sémantique ;
- traiter les mots courts de liaisons ;
- et pondérer la plausibilité des sorties compte-tenu des entrées et du contexte déjà défini.

Nous avons appelé ce modèle "réseau syntaxico-sémantique à nœuds procéduraux" ou R. N. P. Assez proches des A. T. N. de WOODS,

les R. N. P. s'en distinguent essentiellement par le rôle des procédures.

Dans la suite de ce chapitre, après avoir donné une définition plus précise des R. N. P., et des exemples précis, nous effectuerons au paragraphe B. 4. 3. une comparaison avec d'autres types de représentation (et en particulier les A. T. N.) avant de présenter les procédures de traitements associées, et des exemples d'analyse de phrase avec des R. N. P.

4.2. PRESENTATION DES RESEAUX SYNTAXICO-SEMANTIQUES

A NOEUDS PROCEDURAUX (R. N. P.)

4.2.1. Définition des R. N. P.

La figure B. 4. 1. fournit un schéma de principe d'un tel réseau. Il se présente sous la forme de :

- . un réseau dans lequel interviennent des informations syntaxiques et sémantiques mais aussi, comme nous le verrons, des informations plus spécifiques à la parole : prosodiques et phonétiques ;
- . des procédures attachées à chaque nœud.

L'entrée dans un réseau ou sous un réseau s'effectue par l'activation d'une procédure unique appelée "procédure d'entrée" ; la sortie est fournie comme résultat d'une procédure particulière appelée "procédure de sortie".

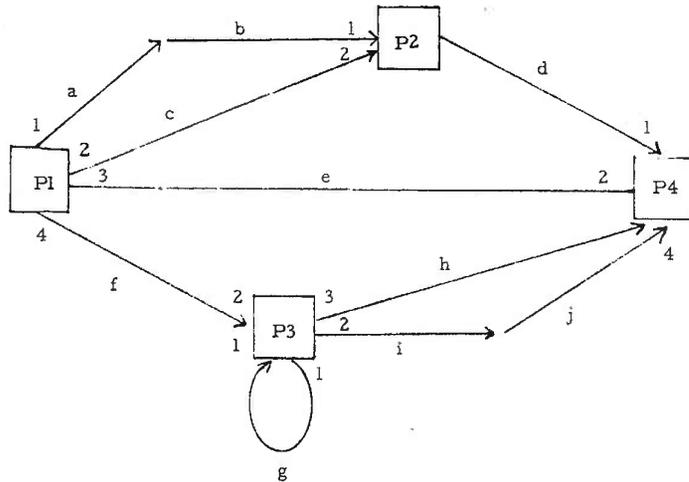


schéma d'un réseau à nœuds procéduraux

Figure B.4.1.

Dans un tel réseau, on distingue donc :

- (i) les nœuds procéduraux correspondant aux procédures associées à chaque nœud du réseau. On les identifiera par un triplet :

- identifiant P_x
- nombre d'entrées E_n
- nombre de sorties E_s

par définition, les procédures d'entrées auront $E_n = 0$ (P1)
 les procédures de sorties auront $E_s = 0$ (P4)
 les autres procédures seront appelées procédures internes (P2, P3) et auront, en règle générale, plusieurs entrées et plusieurs sorties.

Le rôle des procédures est triple :

- * prendre en compte les phénomènes de type contextuel
- * traiter les mots courts de liaison
- * réduire en grande partie l'indéterminisme apparaissant lors du parcours d'un tel réseau en ordonnant les sorties possibles d'une procédure, compte tenu des entrées, du contexte déjà traité, et des résultats de la procédure en cours.

- (ii) Les branches linéaires, définies comme une suite d'arcs du réseau sont composées soit de mots du lexique (terminaux de la grammaire), soit d'étiquette de référence à un autre sous-réseau (non terminal).

Cette structure peut être récursive, car il est possible dans un réseau de faire appel à ce même réseau, ou à l'un de ses réseaux appelant.

Les informations fournies par ces branches linéaires sont du même type que celles que peut fournir localement une matrice d'adjacence obtenue à partir d'une C-grammaire.

4.2.2. Exemple de réseau

- a) réseau GN (groupe nominal) figure B.4.2.
(cf. figure B.3.1. et B.3.3.)

Ce réseau rend compte de la structure d'une version simplifiée du groupe nominal telle qu'elle est utilisée dans le système MYRTILLE II. Les principales restrictions résident dans l'impossibilité

- de combiner entre eux des déterminants, ce qui exclut par exemple :

"ces quelques nuages..."

ou des adjectifs, comme par exemple :

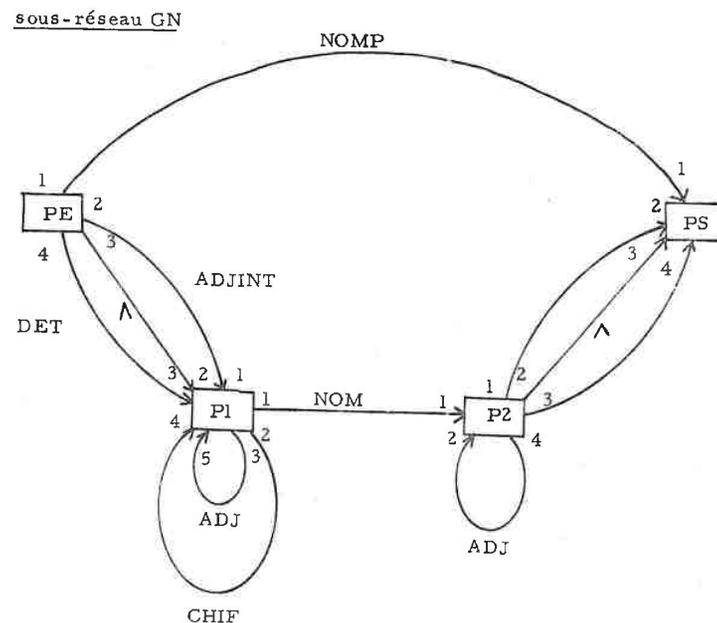
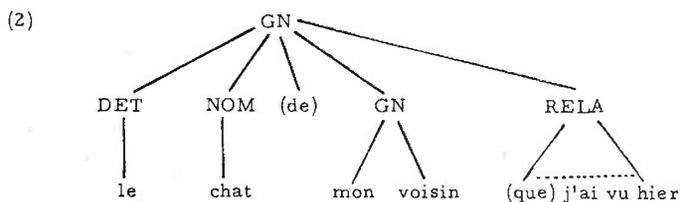
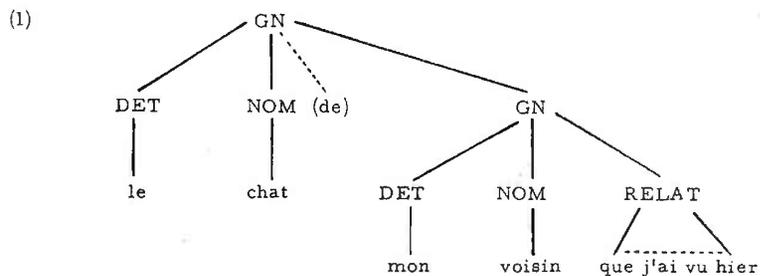
"ces différentes autres conditions..." ;

- d'utiliser des comparatifs ou des superlatifs ;

- d'adjoindre à un nom à la fois un groupe complément du nom et une relative. Notons, au passage, qu'on élimine ainsi des ambiguïtés syntaxico-sémantiques difficiles à lever ; ainsi la phrase

"le chat de mon voisin que j'ai vu hier"

peut avoir en français deux interprétations :



- PE : Procédure d'entrée
- PS : Procédure de sortie
- P1 : } Procédures internes
- P2 : }
- ADJINT : Adjectif interrogatif (accès au lexique)
- ADJ : Adjectif (accès au lexique)
- CHIF : Chiffre (référence à un sous réseau)
- DET : Déterminant (accès au lexique)
- GN : Groupe nominal (référence à un sous-réseau)
- NOM : nom (accès au lexique)
- NOMP : nom-propre (accès au lexique)
- RELA : proposition relative (référence à un sous réseau)
- Λ : branche vide

sous-réseau groupe nominal Figure B. 4.2.

Seule l'interprétation (1) sera prise en compte dans le système MYRTILLE II, vue la restriction précédemment évoquée. Nous étudions plus en détail les diverses restrictions apportées au langage du chapitre C.3. Notons néanmoins dès maintenant qu'un groupe nominal tel que :

"de gros risques de formation rapide de petites plaques éparses de verglas"
pourra être traité par ce réseau.

b) Présentation des nœuds procéduraux

Le but des procédures est de déterminer une hiérarchie pour la prise en compte des sorties possibles du nœud, compte tenu des entrées et du contexte syntactico-sémantique déjà reconnu. Nous utilisons pour cela une pile sur laquelle nous rangerons les sorties par ordre de plausibilité croissante, grâce à une procédure EMPILER (numéro de sortie).

Les tests effectués dans ces procédures seront essentiellement de 3 types :

(i) tests prosodiques

par exemple : - distinction entre énoncés interrogatifs et énonciatifs au vu de la mélodie générale de la phrase,
- test de fin d'énoncé ;

(ii) tests phonétiques

essentiellement grâce à une procédure PRESENCE (phonème ou classe de phonèmes) qui teste la plausibilité de présence de ce phonème ou cette classe de phonèmes directement sur le signal de parole, et dont la réponse sera

VRAI si cette plausibilité est supérieure à un certain seuil

FAUX dans le cas contraire.

Ce sont ces tests phonétiques qui nous permettront de prendre en compte dans ces procédures les mots grammaticaux monosyllabiques pour lesquels une reconnaissance classique s'avère inopérante ;

(iii) tests sur la représentation syntactico-sémantique de la partie d'énoncé déjà traitée que nous schématiserons ici, par une procédure POSSIBILITE (argument) qui testera la plausibilité d'une construction, et rendra un résultat booléen qui sera :

VRAI si la plausibilité est non nulle

FAUX dans le cas contraire.

Ainsi, nous ne rejeterons jamais une construction syntactico-sémantique sans s'être assuré au préalable que, vu le contexte déjà reconnu, son apparition est impossible.

La plupart de ces procédures de test sont indépendantes de l'application choisie et seront donc définies une fois pour toutes. Seules les procédures faisant intervenir des fonctions sémantiques peuvent être considérées comme propres à chaque application, bien que le plus souvent on puisse les paramétrer par les divers accès au lexique. Notre principal souci a été constamment de délimiter au mieux et restreindre au maximum les procédures à redéfinir, lors de chaque changement de contexte d'application.

Voici à titre d'exemple ce que fait la procédure P2 du réseau GN :

les tests mis en œuvre ont pour but ici de déterminer s'il y a plausibilité de rencontrer après un nom, un groupe nominal complément du

nom ou une relative, sachant qu'a priori tous noms (autres que les noms propres) peuvent être qualifiés par un adjectif. De plus, nous considérerons que le complément du nom peut être introduit, suivant le type du nom qualifié, par deux prépositions : "de" et "sur"

ex : "risque de verglas"
"informations sur le temps"

Procédure P2 de GN

début P2

empiler (sortie 2) ;

si \neg fin de treillis alors début

si entrée = 1 alors empiler (sortie 4) ;

si POSSIB (complément avec sur) et PRESENCE (sifflante)

alors empiler (sortie 3)

sinon début

si PRESENCE (Plosive) alors

si sonore alors début

empiler (sortie 2)

empiler (sortie 3)

fin

sinon début

empiler (sortie 3) ;

empiler (sortie 2) ;

fin ;

fin ;

fin ;

fin P2

Remarque : on suppose, compte tenu des performances du niveau acoustico-phonétique que :

- . les tests plosive/sifflante ne peuvent être validés simultanément
- . le test plosive sonore se limite à classer suivant leur plausibilité d'apparition les plosives sonores (/b/, /d/, /g/), et les plosives sourdes (/p/, /t/, /k/).

4.2.3. Remarques sur le traitement des mots courts de liaison

Parmi les mots grammaticaux, un certain nombre sont des mots courts monosyllabiques dont la reconnaissance est fort peu pertinente. Lorsqu'ils ont une importance syntaxique primordiale (choix entre différentes branches du réseau) la prise en compte de ces mots courts de liaison se fait essentiellement dans les nœuds procéduraux, par l'activation d'un certain nombre de procédures de test du signal acoustico-phonétique (dans ce cas ils n'apparaissent pas dans les branches du réseau ; ex : qui, que, de, sur, dans le réseau GN de la figure B.4.2.).

Dans la version actuelle du système MYRTILLE II, le niveau acoustico-phonétique est nettement séparé de la phrase de compréhension, et les seuls tests mis en œuvre sont des tests grossiers tels que :

- . présence de plosives avec classement entre sourdes et sonores pour rendre compte de mots tels que : qui, que, de...
- . présence de fricatives ou sifflantes : sur, sous ...

. présence de voyelles et d'indice de nasalité : à, ou, et, en...

Compte tenu des résultats des traitements acoustico-phonétiques, ces tests peuvent être considérés comme assez sûrs et pertinents ; néanmoins, ils ne permettent pas de lever un certain nombre d'ambiguïtés qui doivent être traitées ultérieurement en fonction du contexte (ex : qui et que en début de relative). On peut certes envisager des procédures particulières de traitement acoustico-phonétique pour lever de telles ambiguïtés ; ainsi [ALIN - 78] reconnaît différentes classes de plosives sourdes ou sonores, mais notre objectif actuel dans le système MYRTILLE II est, justement de déterminer dans quelle mesure on peut traiter de telles ambiguïtés par des tests contextuels, afin de pallier les limites de la plupart des niveaux acoustico-phonétiques.

Par contre, un certain nombre de ces mots monosyllabiques peuvent apparaître dans des classes lexicales référencées au niveau des arcs du réseau (ex : préposition de lieu, de temps...) ; dans ce cas, leur test s'effectue grâce à une procédure classique de reconnaissance qui engendre le plus souvent de nombreuses ambiguïtés dues aux limites de la reconnaissance phonétique. Nous envisageons pour cela la mise en œuvre d'une procédure de reconnaissance particulière qui devra être plus "fine" pour les mots courts en prenant en compte le signal à un niveau plus bas que le treillis phonétique. Il est en effet important de lever de telles ambiguïtés lexicales, même si cette reconnaissance n'apporte que peu d'informations contextuelles pour émettre ultérieurement des hypothèses, car très souvent ces mots grammaticaux sont importants au niveau sémantique ou interprétatif. Ainsi dans la phrase :

"quelle est la température vers NANCY"

une confusion entre "dans" et "vers" est peu significative dans la phrase de reconnaissance, mais très porteuse d'informations dans la phase d'interprétation, car la variation de température entre le centre-ville et la campagne environnante est souvent de plus de 3 degrés.

Signalons enfin trois problèmes importants, tant par leur difficulté que par leur fréquence d'apparition en français parlé : ils ont trait à la reconnaissance

- . des pronoms personnels et impersonnels et spécialement le pronom "il"
- . du verbe avoir dans ses formes du présent : "a (s)"
- . du verbe "être" : "es (t)".

Nous n'avons pas trouvé de solution entièrement satisfaisante pour traiter ces trois cas :

pour les pronoms, nous les testerons systématiquement lors de la recherche d'un sujet, quitte à provoquer ensuite de nombreux retours en arrière ;

quant aux deux autres cas, nous ne les testerons pas dans une première étape de la reconnaissance, et essaierons de les introduire lorsque la reconnaissance se termine sur une phrase sans verbe.

Pour conclure ce paragraphe, signalons dès maintenant que l'utilisateur d'un tel système de reconnaissance devra veiller à éviter le plus possible ces mots courts, source de beaucoup d'erreurs de reconnaissance.

4.3. COMPARAISON AVEC D'AUTRES TYPES DE REPRESENTATION

Les réseaux syntaxico-sémantiques à nœuds procéduraux, tels que nous les avons définis précédemment sont une possibilité de représentation de la structure d'un langage. Comme nous l'avons vu au chapitre B.3., il existe bien d'autres représentations de la structure (syntaxe) d'un langage. L'objectif de ce paragraphe est d'effectuer une comparaison entre cette représentation choisie dans le système MYRTILLE II, et d'autres types de représentations. Pour cela, nous aborderons successivement :

- les problèmes liés à la puissance de description de ces modèles
- et une comparaison plus précise avec les A.T.N., tels que WOODS les mit en œuvre dans le système de compréhension de la parole HWIM [B.B.N. - 76].

4.3.1. Puissance de description des réseaux à nœuds procéduraux

a) Tout C-Langage peut être décrit par un réseau à nœuds procéduraux

Un des modèles les plus courants de la représentation syntaxique d'un langage correspond aux grammaires hors contexte (Context free) qui permettent d'engendrer l'ensemble des langages à contexte libre, qui sont les langages de CHOMSKY et leur réunion avec le mot vide (C-Langages).

Rappelons qu'une grammaire hors contexte est définie par un quadruplet $G = (T, N, ::=, X)$ tel que :

- T est un ensemble fini appelé alphabet terminal ;
- N est un ensemble fini disjoint de T appelé alphabet non terminal, on posera $V = T \cup N$;
- $::=$ est une relation binaire entre N et V^* , appelée relation de production telle que le nombre de couple en relation soit fini ; un couple en relation $A ::= \varphi$ est appelé règle de la grammaire ;
- X est un élément de N : l'axiome de la grammaire.

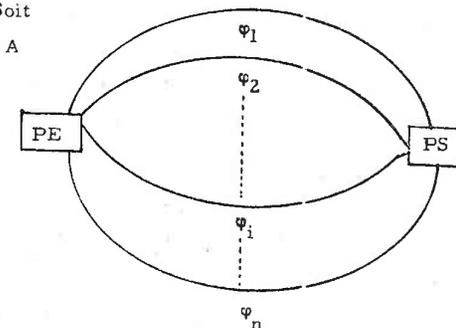
Pour montrer que tout C-langage peut être décrit par un réseau à nœuds procéduraux, il suffit de déterminer un algorithme de construction automatique d'un réseau ou d'un ensemble de réseaux (un réseau par nom terminal à partir d'une grammaire).

Pour un nom terminal, le nombre de couple $A ::= \varphi$ est fini ; on peut donc noter $A ::= \varphi_1 / \varphi_2 / \dots / \varphi_n$

l'ensemble des relations de production issues de A.

Pour construire un réseau à nœuds procéduraux correspondant à une telle grammaire, il suffit de construire un sous-réseau dégénéré pour chaque non terminal, sous réseau ne contenant qu'une procédure d'entrée PE, et une procédure de sortie PS, et possédant autant de branches linéaires reliant PE à PS que de φ_i .

Soit
réseau A



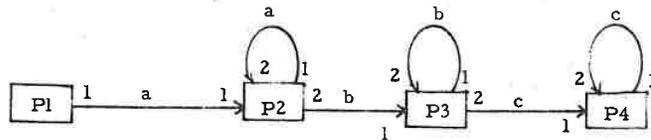
On en déduit donc que tout C-langage peut être décrit par un réseau à nœuds procéduraux.

b) Les réseaux à nœuds procéduraux permettent de décrire des langages qui ne sont pas à contexte libre

Un des contre-exemples classiques des langages à contexte libre est le langage :

$$L = \{ a^n b^n c^n / \forall n > 0 \}$$

Un tel langage peut être décrit par un réseau à nœuds procéduraux :



avec les procédures

P1 : début

empiler (sortie 1)

fin

P2 : début

si entrée 1 alors CA = 0 ;

si entrée 2 alors CA = CA + 1 ;

empiler (sortie 1, sortie 2)

fin

P3 : début

si entrée 1 alors CB = 0 ;

si entrée 2 alors CB = CB + 1 ;

si CB = CA alors empiler (sortie 2)

sinon empiler (sortie 1)

fin

P4 : début

si entrée 1 alors CC = 0

si entrée 2 alors CC = CC + 1

si CC = CA alors fin analyse

sinon empiler (sortie 1)

fin

Il est donc possible de représenter des langages autres que des langages à contexte à l'aide de réseaux à nœuds procéduraux : on pouvait d'ailleurs intuitivement arriver à cette conclusion en remarquant que :

- la structure de réseau est comparable à un graphe général et permet donc de représenter l'ensemble des C-langages ;
- les procédures internes permettent de plus de prendre en compte toutes sortes d'informations et donnent donc aux R. N. P. une puissance de description identique aux langages de programmation.

En fait, la puissance d'un tel modèle est directement liée aux actions que l'on accepte d'introduire dans les procédures.

Dans le système MYRTILLE II l'utilisation que nous en ferons consiste essentiellement à limiter les possibilités de parcours du réseau grâce à des tests portant sur la structure du contexte déjà reconnu et sur des caractéristiques de la chaîne de pseudo-phonèmes à traiter.

4.3.2. Comparaison des réseaux à nœuds procéduraux et des A. T. N. mis en œuvre par WOODS dans le système HWIM

La description que nous avons donnée des réseaux à nœuds procéduraux, s'apparente beaucoup aux A. T. N. tels que les a définis WOODS [WOOD - 70]. Il existe, néanmoins, un certain nombre de différences fondamentales que nous allons étudier en comparant :

- la définition générale des A. T. N. , telle que nous l'avons rap pelée par un exemple au paragraphe B.3.3., et celles des réseaux à nœuds procéduraux ;

- la solution mise en œuvre dans le système MYRTILLE II à celles mise en œuvre à partir des A. T. N. par WOODS dans le système B. B. N. [BBN - 76] .

a) A. T. N. et réseaux à nœuds procéduraux (R. N. P.)

La différence essentielle provient du rôle associé aux procédures dans chacun de ces modèles. Les procédures des A. T. N. ont pour rôle essentiel de gérer la représentation syntaxico-sémantique de l'énoncé traité, alors que dans les R. N. P. l'obtention et la gestion de cette structure syntaxico-sémantique ne se font pas dans ces procédures, mais sont prises en charge par une procédure d'analyse (de parcours) du réseau que nous présenterons au paragraphe B. 4. 3. En ce sens, modèle et procédure de parcours sont nettement dissociés dans les R. N. P. , contrairement à ce qui se passe dans les A. T. N.

Le rôle des procédures internes des R. N. P. , associées à chaque nœud du réseau, et non aux arcs comme dans les A. T. N. est essentiellement de déterminer dynamiquement lors du parcours du réseau l'ordre de prise en compte des diverses "branches linéaires" (arcs des A. T. N.) en supprimant éventuellement un certain nombre de possibilités, compte-tenu du contexte déjà analysé. Le choix des sorties des procédures des R. N. P. se fait suivant des considérations de plausibilité de construction, et en ce sens, on peut dire que les R. N. P. s'apparentent aux grammaires probabilistes.

Notons enfin que les R. N. P. , définis spécialement dans le cadre de la reconnaissance et de la compréhension de la parole, ont un caractère prédictif plus accentué que les A. T. N. : le test d'un terminal sert dans un cas à valider le parcours d'une branche linéaire, alors que dans l'autre, il sert de pré-condition au parcours d'un arc.

b) Le modèle de représentation du langage dans HWIM et celui de MYRTILLE II

Après avoir défini les A. T. N. dans le cadre du traitement de textes écrits, WOODS fut amené à utiliser cette représentation pour la reconnaissance de la parole dans le système HWIN de B. B. N. [BBN - 76]. La différence essentielle entre la réalisation mise en œuvre dans HWIM, et ce que nous proposons dans MYRTILLE II, provient du fait que le modèle de représentation sous-jacent dans HWIN est un A. T. N. sémantique (représentant une grammaire sémantique) alors que, pour dissocier structure du langage et vocabulaire de l'application (cf. paragraphe B. 3. 3.), nous nous sommes limités volontairement à la représentation d'un modèle Chomskien dont le niveau de détail s'arrête aux grandes classes grammaticales, les niveaux inférieurs étant pris en charge par le lexique.

La conséquence première qui en découle est que, alors que le l'A. T. N. sémantique de HWIM doit être redéfini entièrement pour passer d'une application à une autre, le réseau à nœuds procéduraux de MYRTILLE II peut, à juste titre, être considéré comme stable pour une large famille d'applications. Le changement d'application ne nécessite aucune remise en cause du réseau à nœuds procéduraux ainsi mis en œuvre.

4. 4. PROCEDURES DE TRAITEMENT ASSOCIEES AUX RESEAUX A NOEUDS PROCEDURAUX

Jusqu' alors nous nous sommes intéressés essentiellement à la

définition du modèle correspondant aux réseaux à nœuds procéduraux ; dans ce paragraphe, nous allons maintenant étudier sa mise en œuvre en abordant successivement :

- la représentation interne des R. N. P.
- la procédure de création et de modification du réseau
- la procédure d'analyse
- puis enfin quelques exemples d'analyse de phrases.

4.4.1. Représentation interne des R. N. P.

Nous avons choisi une représentation interne des réseaux à nœuds procéduraux permettant un traitement de gauche à droite et du milieu vers les côtés. Cela nous a amenés à mettre en œuvre des doubles chaînages permettant de parcourir de tels réseaux dans les deux sens. Ainsi, même si actuellement la seule version opérationnelle de MYRTILLE II est une version gauche droite, une version du milieu vers les côtés, comme celle que nous envisageons maintenant, peut être réalisée sans remettre en cause la structure interne du réseau. Bien entendu, il est alors nécessaire d'avoir une double version des procédures internes du réseau permettant un parcours gauche-droite, ou droite-gauche.

Pour des raisons de portabilité du système, et compte tenu des limites actuelles des logiciels existant d'une machine à l'autre, et d'un constructeur à l'autre, l'ensemble de la programmation fut réalisé en FORTRAN IV de Base : la structure de base utilisée est donc une structure de tableaux.

La représentation interne des réseaux à nœuds procéduraux distingue :

a) La représentation des nœuds procéduraux NP :

(liste d'entrée | NOM | liste de sortie)*

dans laquelle :

- liste d'entrée : correspond à une liste de pointeurs vers la fin des "branches linéaires" arrivant à ce nœud ; il y a autant de pointeurs que d'entrées possibles dans la procédure ;
- NOM : codification du numéro de la procédure par un entier < 0 ;
- liste de sortie : correspond à une liste de pointeurs vers le début des "branches linéaires" issues de ce nœud ; il y a autant de pointeurs que de sorties possibles de la procédure.

b) Représentation des "branches linéaires" BL

(-PS | listes des noms | -PE)*

dans laquelle :

- PS : est un pointeur vers une sortie d'un nœud procédural
- listes des noms : donne de façon séquentielle et ordonnée la liste des non-terminaux formant la "branche-linéaire"
- PE : est un pointeur vers une entrée d'un nœud procédural.

c) Représentation du début et de la fin des réseaux

DEB(NTER) : élément d'un tableau pointant vers le nœud correspondant à la procédure d'entrée du réseau qui décrit le non terminal NTER ;

FIN(NTER) : élément d'un tableau pointant vers le nœud correspondant à la procédure de sortie du réseau qui décrit le non terminal NTER.

Remarque : une codification particulière permet de distinguer dans les "branches linéaires"

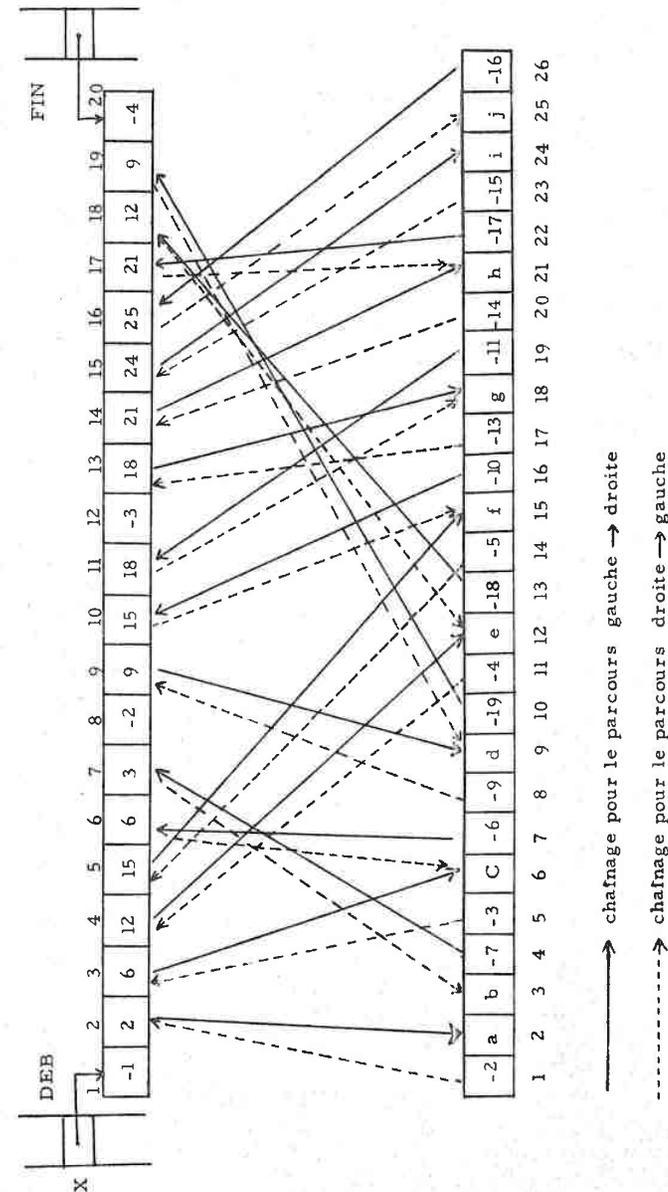
- les non terminaux
- les accès au lexique
- l'élément vide Λ .

La figure B.4.3. schématise la représentation interne du réseau de la figure B.4.1.

4.4.2 Procédure de création et de modification d'un réseau

La représentation interne d'un réseau à nœuds procéduraux est assez complexe (figure B.4.3.) ; or, un des avantages des R.N.P. réside dans le fait qu'étant visuels, ils sont faciles à comprendre et à définir (figure B.4.2.). Il était donc normal de vouloir automatiser le passage de la représentation externe à la représentation interne. Pour cela, nous avons mis en œuvre une procédure CRERES, qui crée la représentation interne à partir de donnée introduite par un programme conversationnel. Un tel programme peut être entièrement spécifié par la représentation interne déjà fournie et le dialogue mis en œuvre. Nous nous limiterons donc ici à la présentation de ce dialogue (dialogue écrit à partir d'un téléimprimeur).

Voici le dialogue nécessaire pour obtenir à partir du réseau de la figure B.4.1., la représentation interne de la figure B.4.3.



représentation interne d'un réseau

Figure B.4.3.

Les phrases soulignées correspondent aux demandes de la machine.

début GENRES

début d'un sous réseau (\emptyset , N) : \emptyset

NOM : ESSAI

NB de PROCEDURES : 4

liste des nœuds procéduraux : n° de procédure, nb d'entrée, nb de sortie

Nœud P 01 00 04

Nœud P 02 02 01

Nœud P 03 02 03

Nœud P 04 04 00

Procédure d'entrée P 01

Procédure de sortie P 04

Branches linéaires

1. sortie 01 de P 01

contenu : a b

entrée dans P 02 : 01

2. sortie 02 de P 01

contenu : c

entrée dans P 02 : 02

3. sortie 03 de P 02

contenu : e

entrée dans P 04 : 02

4. sortie 04 de P 02

contenu : f

entrée dans P 03 : 02

5. sortie 01 de P2

:

8 sortie 03 de P03

contenu : h

entrée dans P 04 : 03

FIN DU RESEAU ESSAI

Les procédures, quant à elles, doivent être créées séparément. Pour effectuer une modification d'un sous-réseau, il suffit de le recréer sous le même nom par la procédure CRERES.

4.4.3. Analyse d'une phrase à l'aide d'un réseau à nœud
procéduraux

Sans tenir compte de la gestion de la représentation syntaxico-sémantique complète de l'énoncé que nous aborderons au chapitre B.6. après avoir présenté le lexique, l'objectif de la procédure d'analyse d'un tel réseau est double :

- (i) parcourir le réseau pas à pas pour rendre cette analyse compatible avec un processus général d'Hypothèse et Test : entre chaque pas de l'analyse, le test éventuel des hypothèses émises lors du parcours de ce réseau ;
- (ii) créer et gérer en même temps une structure de liste parenthésée représentant la structure syntaxico-sémantique de la phrase analysée.

La procédure d'analyse d'un tel réseau est assez comparable aux procédures d'analyse syntaxique utilisée avec une C-grammaire. Deux versions de cette procédure sont en cours d'étude :

- une analyse gauche - droite
- une analyse du milieu vers les côtés.

Seule la première version est actuellement opérationnelle et c'est elle que nous allons détailler maintenant.

Pour la gestion des retours-arrière dus à l'indéterminisme de la reconnaissance, et la prise en compte des points de reprise de l'analyse, nous avons défini une procédure DEPILSUIT qui, au début de chaque pas d'analyse, fournit le contexte de reprise défini par :

IND : indice de point de reprise dans la représentation interne du réseau ; le signe de IND nous permet de distinguer si la reprise se fait au niveau d'un nœud procédural (NP) ou d'une branche linéaire (B. L.)

si $IND < 0 \Rightarrow$ N. P.
 $> 0 \Rightarrow$ B. L.

TROUVE : Booleen indiquant si une hypothèse a été validée

N : nom de l'hypothèse validée

IR : indice dans le tableau représentant la structure de liste parenthésée résultat.

Lors d'une telle analyse pas à pas, différents cas sont à considérer ; nous les avons regroupés dans la table de décision ci-après.

L'analyse détaillée de cette procédure d'analyse d'un réseau correspond alors, (compte tenu de la représentation interne du réseau donné au paragraphe 4.3.1.) à :

Type du point de reprise	Condition déterminant ce type	action à effectuer
<u>fin d'analyse</u> <u>d'un sous</u> <u>réseau</u>	sortie d'une procédure de sortie d'un sous réseau	- terminer la représentation de la structure engendrée par ce réseau - si \exists réseau appelant alors reprendre au niveau de ce réseau sinon tester fin de reconnaissance
<u>Traitement</u> <u>d'une procé-</u> <u>dure interne</u>	le contexte pointe vers l'entrée d'une procédure	- déterminer le numéro d'entrée (ENTREE) activé pour cette procédure, et le numéro de la procédure (K) - activer la procédure (K, ENTREE)
<u>Traitement</u> <u>d'une</u> <u>Branche</u> <u>linéaire</u>	le contexte pointe vers : . l'élément vide - un non terminal (référence à un sous-réseau) - un terminal (accès au lexique)	- enchaînement immédiat du pas suivant. - commencer la représentation de la structure engendrée par ce réseau - début de l'analyse de ce réseau par activation de la procédure d'entrée PE (numéro d'entrée = 0) - si la dernière hypothèse validée n'a pas été prise en compte alors : - tester l'égalité entre ce terminal et l'hypothèse validée - si égalité alors enchaînement du pas suivant sinon erreur sinon émettre ce terminal comme hypothèse.

→ analyse d'un réseau début (non compte tenu des initialisations)

IND, TROUVE, N, IR : DEPILSUIT (SP) ;

si IND < 0 alors début

K = - IND

I = NP (K)

si I < 0 alors FIN : FINANALYSE (I, IR)

fin

sinon I = IND

si ¬ FIN alors début

reco : si BL (I) < 0 alors TPROC (traitement d'un
nœud)

= 0 alors I = I + 1 (traitement d'une
branche allera reco vide)

≤ 1000 alors TNT (traitement d'un non
terminal)

sinon TTER (traitement d'un
terminal)

fin

fin analyse d'un réseau

avec les sous-modules suivants :

* traitement d'un nœud procédural

→ TPROC début

K = - BL (I)

*** recherche du numéro d'entrée

ENTREE = 0 ; Jusqu'à NP (K) < 0 répéter

ENTREE = ENTREE + 1

K = K + 1

Appel de la procédure n° : - NP (K)

entrée : ENTREE

fin TPROC

* traitement d'un non terminal

→ TNT début

** initialisation du traitement d'un réseau

DEBANALYSE (IR, I, BL (I))

K = DEB (BL (I))

** activation de la procédure d'entrée

Appel de la procédure n° : - NP (K)

entrée : 0

fin TNT

* traitement d'un terminal

TTER début

si TROUVE alors

si N = BL (I) alors début

** création du résultat

IR = IR + 1 ;

SORTIE (IR) = N ;

** enchaînement du pas suivant

TROUVE = Faux

I = I + 1

aller à Reco

fin

sinon erreur

sinon émettre BL (I) comme hypothèse à tester

fin TTER

Quant à DEBANALYSE et FINANALYSE, leur but est double :

- créer la structure syntaxico-sémantique de la phrase
- gérer une pile RECUR traitant l'aspect récursif des réseaux : un sous-réseau en appelle un autre.

→ DEBANALYSE début

IR = IR + 1
SORTIE (IR) = '('
empiler (BL (I))
empiler (I + 1)

fin DEBANALYSE

→ FINANALYSE début

si Pile vide alors FIN = VRAI
sinon début
dépiler (I)
dépiler (Réseau)
IR = IR + 1
SORTIE (IR) = '
SORTIE (IR+1) = réseau
IR = IR + 1
fin

fin FINANALYSE

4.4.4. Exemple d'analyse de phrases

Une première version du système MYRTILLE II fut réalisée début 1979 [PIER - 79 c] : dans cette version les niveaux lexicaux et phonétiques étaient simulés à l'aide d'un programme conversationnel permettant de valider pas à pas des hypothèses de type Nom, adjectif, verbe, préposition... Ceci nous a permis de tester, séparément du reste, les réseaux syntaxico-sémantiques et les procédures associées.

Voici à titre d'exemple quelques résultats significatifs d'analyse des structures de phrase obtenues au cours de ces tests (on trouvera au tableau B.4.4. la liste des identificateurs utilisés dans le réseau, cf. annexe 2) :

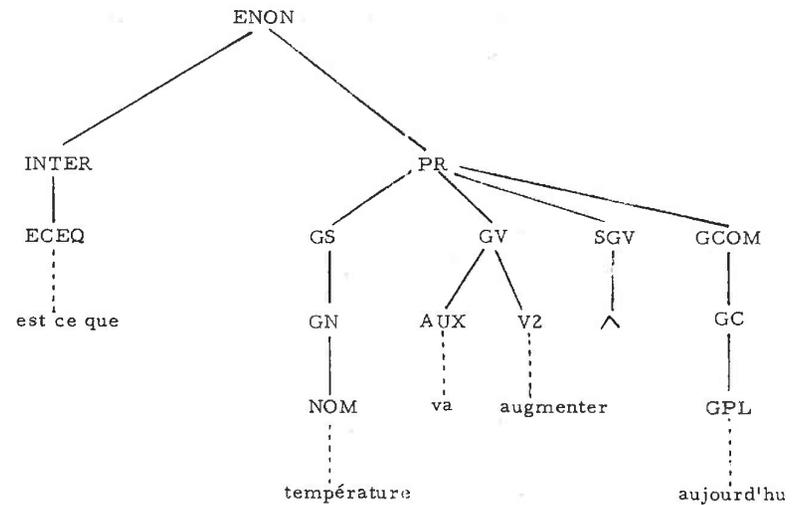
A) - phrase support :

est ce que la température va augmenter aujourd'hui ?

- résultat : (liste parenthésée)

((ECEQ) * INTER (((NOM) * GN) * GS (AUX V2) * GV () * SGV ((GPL) * GC) * GCOM) * PR) * ENON

- représentation du résultat sous forme d'arbre syntaxique



- Remarque : dans cet exemple le groupe sujet GS est composé d'un nom sans déterminant, ce qui est souvent le cas en

Liste des identificateurs utilisés dans les exemples

a) non terminal

* ENON	énoncé global
* GC	groupe circonstanciel de temps
* GCOM	groupe complément
* GL	groupe circonstanciel de lieu
* GN	groupe nominal
* GS	groupe sujet
* INDI	interrogative indirecte
* INF	infinitive
* INTE	groupe interrogatif
* PR	proposition
* RELA	relative
* SGV	suite verbale.

b) terminaux

ADJ	Adjectif
AUX	auxiliaires
COS	conjonction de subordination
DET	Déterminant
ECEQ	"est ce que"
GPL	groupe locution circonstancielle
NOM	nom
PRL	préposition de lieu
PRNI	pronom sujet
SAVO	"savoir"
VDI	verbes de demande : "je voudrais, je désirerais..."
V -	verbe.

Tableau B.4.4.

reconnaissance de la parole ; en effet la reconnaissance d'article tel le, la, les, est le plus souvent non pertinente.

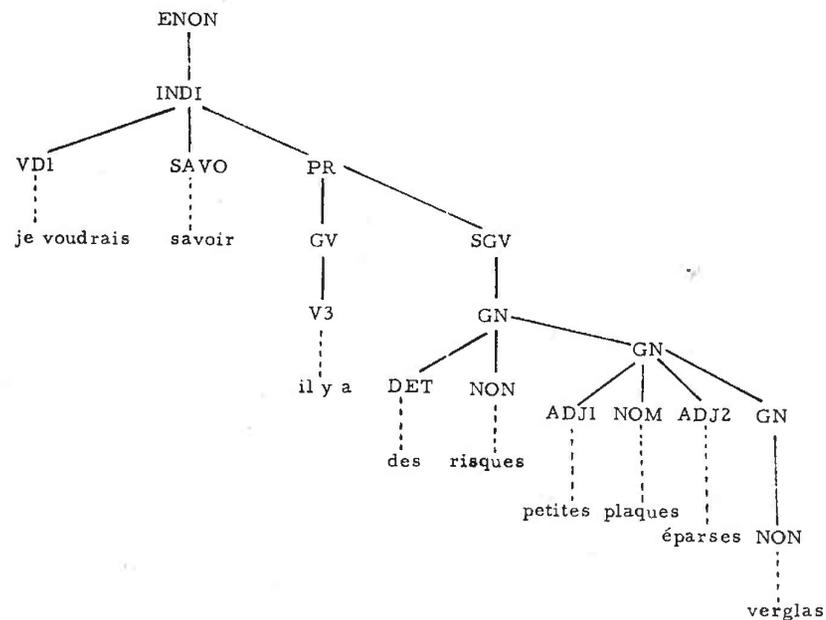
B) - Phrase support

"Je voudrais savoir s'il y a des risques de petites plaques éparses de verglas"

- résultat

((VDI SAVO ((V3) * GV ((DET NOM (ADJ2 NOM ADJ1 (NOM) * GN) * GN) * GN) * SGV) ; PR) * INDI) * ENON

- représentation du résultat sous forme d'arbre syntaxique



- Remarque : Les points particuliers de cet exemple sont :

- le traitement des interrogatives indirectes
- la locution "il y a" considérée comme un verbe sans sujet
- un groupe nominal avec complément du nom en cascade : pour des raisons analogues à l'exemple a), la préposition "de" n'apparaît pas ici.

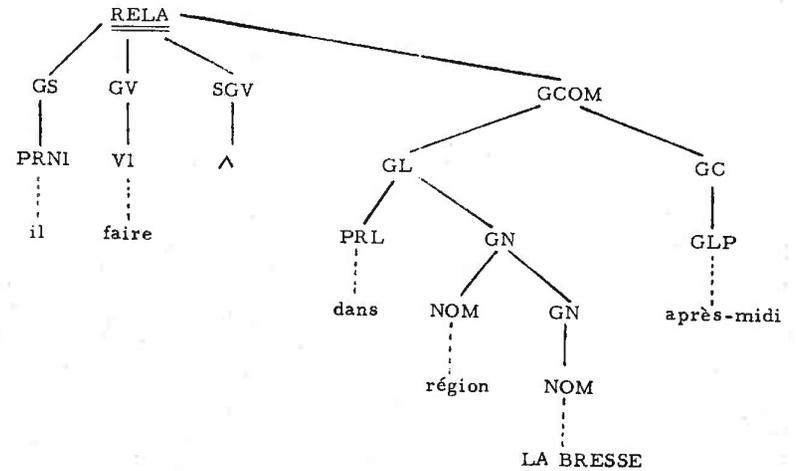
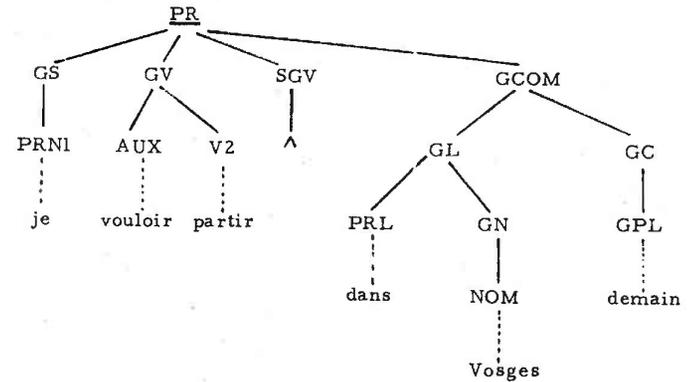
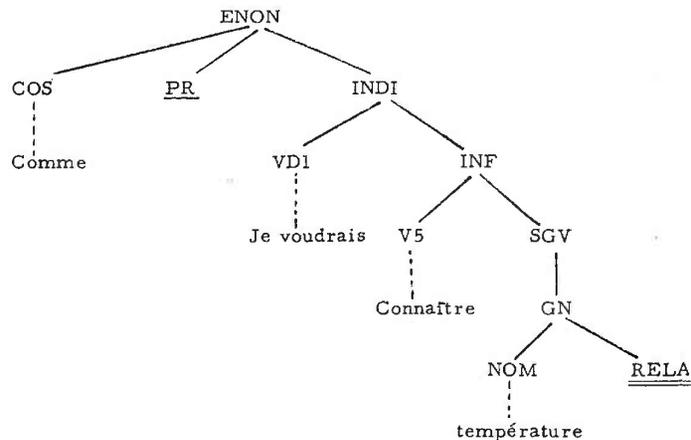
C) - Phrase support

"Comme je veux partir dans les Vosges demain, je voudrais connaître la température qu'il fera dans la région de LA BRESSE l'après-midi"

- résultat :

(COS (PRN1) * GS (AUX V2) * GV () * SGV ((PRL (NOM) * GN) * GL (GPL) * GC) * GCOM) * PR (VD1 (V5 (NOM ((PRN1) * GS (V1) * GV () * SGV (PRL (NOM (NOM) * GN) * GN) * GL (GLP) * GC) * GCOM) * RELA) * GN) * SGV) * INF) * INDI) * ENON

- représentation du résultat sous forme d'arbre syntaxique



Nous n'avons donné ci-dessus que les résultats bruts de la procédure d'analyse de structure du système MYRTILLE II, et présentons en annexe IV des résultats détaillés du système complet permettant de suivre pas à pas le déroulement de telles analyses et de la

construction de la structure des phrases. Néanmoins, nous ne retrouverons pas dans cette annexe d'exemple de même type que l'exemple C, car nous n'envisageons pas actuellement la reconnaissance d'énoncés oraux aussi complexes (la version complète du système MYRTILLE II n'accepte pas actuellement les subordonnées circonstancielles). Si nous avons présenté ici cet exemple obtenu lors du test de la procédure d'analyse de structure (sans mise en œuvre des autres traitements), c'est pour montrer que les possibilités des réseaux à nœuds procéduraux que nous avons définis dépassent largement celles utilisées actuellement lors du test du système complet.

CHAPITRE B.5

DEFINITION SYNTAXICO-SEMANTIQUE

DES MOTS : LE LEXIQUE

5.1. OBJECTIFS ET INFORMATIONS PRISES EN COMPTE

5.1.1. Objectifs

Avant de présenter en détail la structure du lexique, et les procédures associées dans le système MYRTILLE II, il est nécessaire de rappeler les objectifs qui ont guidé la définition de ce lexique. Ces objectifs découlent essentiellement pour nous de deux types de considérations :

- des considérations d'ordre général touchant à la philosophie du système,
- des considérations opératoires très liées aux divers traitements que l'on souhaite effectuer avec ce lexique.

a) Considérations générales

Comme nous l'avons souligné au paragraphe B.1.5., nous avons voulu nettement dissocier, dans MYRTILLE II, l'aspect définition du langage des aspects, application et informations propres à la parole. Le chapitre précédent a montré comment était prise en compte dans notre système la structure syntaxico-sémantique du langage. Les informations concernant les mots seront quant à elles prises en compte au niveau du lexique, bien qu'elles puissent être de natures très diverses.

On peut en effet faire une double classification en distinguant :

d'une part

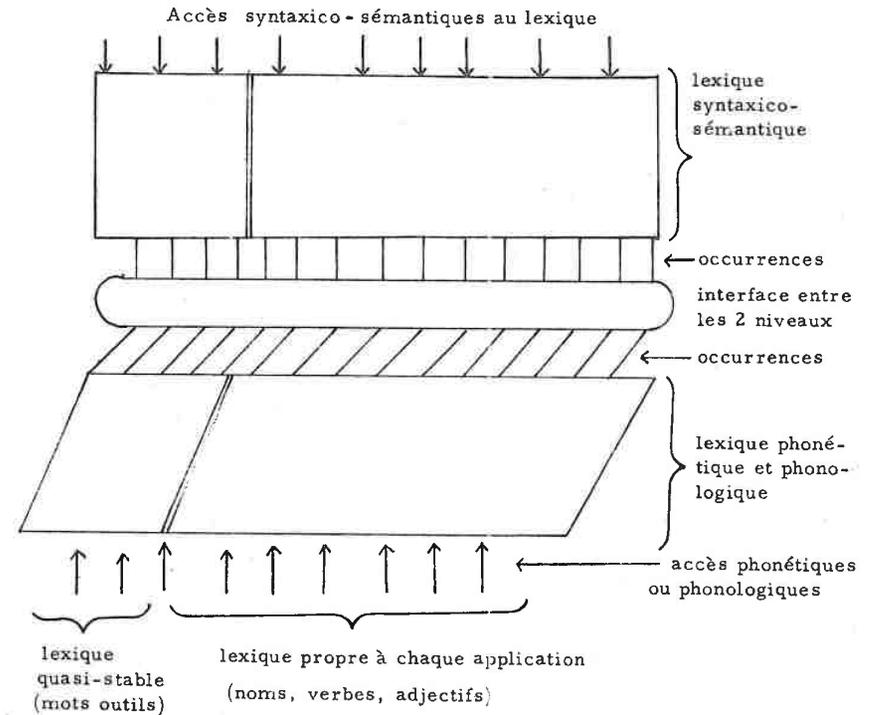
- les mots outils utilisés dans la définition du langage et qui recouvrent essentiellement les mots grammaticaux (ou sous-classes fermées des linguistes) ;
- et les mots propres à chaque application (sous classes ouvertes) : Noms, verbes, adjectifs ;

d'autre part

- la définition syntaxico-sémantique des mots ;
- et leur définition phonétique et phonologique.

Cela nous a conduits à définir un lexique dont la structure en première approximation peut être schématisée par la figure B. 5.1. Dans un premier temps, l'interface entre le lexique syntaxico-sémantique, et le lexique phonétique sera réduite au minimum par l'établissement des relations biunivoques entre occurrences (même numéro de référence) ; on peut envisager ultérieurement une interface plus complexe permettant de rendre compte de façon plus efficace des synonymes et des homophones : ainsi une entité syntaxico-sémantique pourra correspondre à plusieurs entités phonétiques (cas des synonymes) et réciproquement (cas des homophones).

Nous aborderons dans ce paragraphe ces deux aspects du lexique, puis nous nous limiterons ensuite dans le reste de ce chapitre au lexique syntaxico-sémantique, pour n'aborder le lexique phonétique et phonologique que dans le chapitre B.6., où nous présenterons les idées fondamentales qui guident actuellement nos études sur la mise en œuvre de ce niveau lexical, et la version provisoire du lexique phonétique que nous avons mis en œuvre pour les tests du système MYRTILLE II.



Organisation schématique du lexique

Figure B. 5.1.

b) Considérations opératoires

On peut considérer, outre le niveau interprétatif, trois grands types de traitements à effectuer à partir du lexique :

- (i) prendre en compte et restreindre les hypothèses émises grâce à l'analyse du réseau syntaxico-sémantique.

Cela nécessite :

- une correspondance entre terminaux du réseau et accès au lexique syntaxico-sémantique ;
- un découpage plus fin au niveau du lexique propre à chaque application (Noms, verbes, adjectifs) afin de pouvoir restreindre ces hypothèses sur critères syntaxico-sémantiques, compte tenu du contexte déjà analysé.

(ii) Permettre une reconnaissance et une compréhension de phrases non grammaticales lorsque l'analyse des réseaux devient inopérante. Cela nécessite de pouvoir émettre des hypothèses uniquement au vu des mots reconnus, et du treillis de phonèmes d'entrée et donc :

- d'introduire dans le lexique des informations sémantiques (dans le sens de liaisons sémantiques entre mots) suffisamment précises pour permettre des émissions d'hypothèses en dehors de considérations de structures de phrases ;
- de permettre des accès au lexique compte tenu de la forme générale du treillis d'entrée à traiter grâce par exemple à des patrons phonétiques de mots (ne faisant apparaître que les phonèmes ou sous classes de phonèmes dont la reconnaissance acoustique est quasi-certaine) ou des tests sur la présence de telle ou telle caractéristique : présence ou absence de fricatives, présence ou absence de plosive etc. . .

(iii) Fournir les informations nécessaires à la reconnaissance phonétique des mots, et donc avoir des informations précises pour chaque mot sur :

- sa représentation phonétique,
- ses altérations phonologiques possibles,
- sa longueur phonétique.

5.1.2. Informations prises en compte dans le lexique

Compte tenu des objectifs précités, on peut regrouper sous trois rubriques les informations nécessaires dans un tel lexique :

a) Informations syntaxiques

On peut y distinguer :

- des restrictions syntaxiques sur l'usage d'un mot dans le contexte d'une application particulière. Il est nécessaire pour cela de donner la liste des fonctions syntaxiques possibles pour un mot ;
- des précisions sur les constructions permises autour d'un mot telles que :
 - . possibilité ou non d'avoir un complément du nom après tel nom ;
 - . type des structures verbales acceptées après tel verbe ;
 - . particularisation des verbes impersonnels ;
 - . etc. . .

b) Informations syntaxico-sémantiques

Leur but essentiel doit être de préciser les liaisons syntaxico-sémantiques possibles entre les mots ou classes de mots comme par exemple :

- . sujets possibles d'un verbe
- . compléments possibles d'un verbe
- . adjectifs pouvant qualifier tel nom
- . compléments possibles de tel nom
- . etc...

c) Informations phonétiques et phonologiques

On regroupera sous ce nom :

- . la représentation phonétique d'un mot,
- . sa longueur phonétique,
- . ses patrons phonétiques,
- . des indications sur les altérations phonologiques possibles,
- . etc...

Dans la suite de ce chapitre, nous limiterons notre étude au seul lexique syntaxico-sémantique, et donc uniquement aux informations de type (a) et (b).

5.2. STRUCTURE DU LEXIQUE SYNTAXICO-SEMANTIQUE

5.2.1. Structure logique

Afin de rendre compte des liaisons possibles entre les mots, sans aller directement jusqu'à la définition de concepts élémentaires et de dépendances conceptuelles telle que l'a présentée SCHANK [SCHA - 75], nous avons opté pour une définition hiérar-

chisée des traits sémantiques à travers la notion de sous-classes sémantiques : une sous-classe sémantique correspondra pour nous à un ensemble de mots possédant des caractéristiques syntaxico-sémantiques identiques.

Le but du lexique étant ici de fournir les informations nécessaires à l'émission des hypothèses, les sous-classes sémantiques seront définies de façon assez grossières ; l'objectif essentiel est, en effet, de permettre la restriction des hypothèses émises à quelques dizaines de mots même si, parmi celles-ci, certains mots conservés comme hypothèses sont tout à fait improbables au vu du contexte sémantique déjà reconnu. En effet se pose ici, une fois de plus, le difficile problème de choix entre :

- l'efficacité et la rapidité du traitement qui nécessitent la définition d'un nombre restreint de sous classes,
- la précision de la description sémantique des mots qui conduit à la définition d'un grand nombre de sous-classes.

Le choix effectué dans MYRTILLE II est un compromis entre ces deux impératifs permettant d'obtenir des sous-classes contenant en moyenne moins d'une dizaine de mots.

Ce choix nous a conduits à définir une représentation arborescente du vocabulaire bien adaptée aux processus d'hypothèses et tests et décrivant les diverses dépendances liées à chaque mot. Une représentation un peu analogue a d'ailleurs été utilisée dans le système du S.R.I. [WALK - 78]. Voici, rapidement présentés, les divers niveaux d'arborescence que nous utilisons :

(i) le premier niveau provoque une partition entre :

- * le lexique indépendant de l'application qui regroupe

l'ensemble des mots outils, et des mots grammaticaux.

On y distinguera de plus :

- les "terminaux vrais" qui correspondent aux mots de liaisons qui apparaissent de manière explicite dans la définition des réseaux syntaxico-sémantiques,
- les terminaux "lexiques figés" qui correspondent aux sous classes grammaticales de type prépositions, pronoms, conjonctions etc...

* le lexique propre à chaque application qui regroupe sous le terme de "terminaux généraux" les noms, verbes et adjectifs.

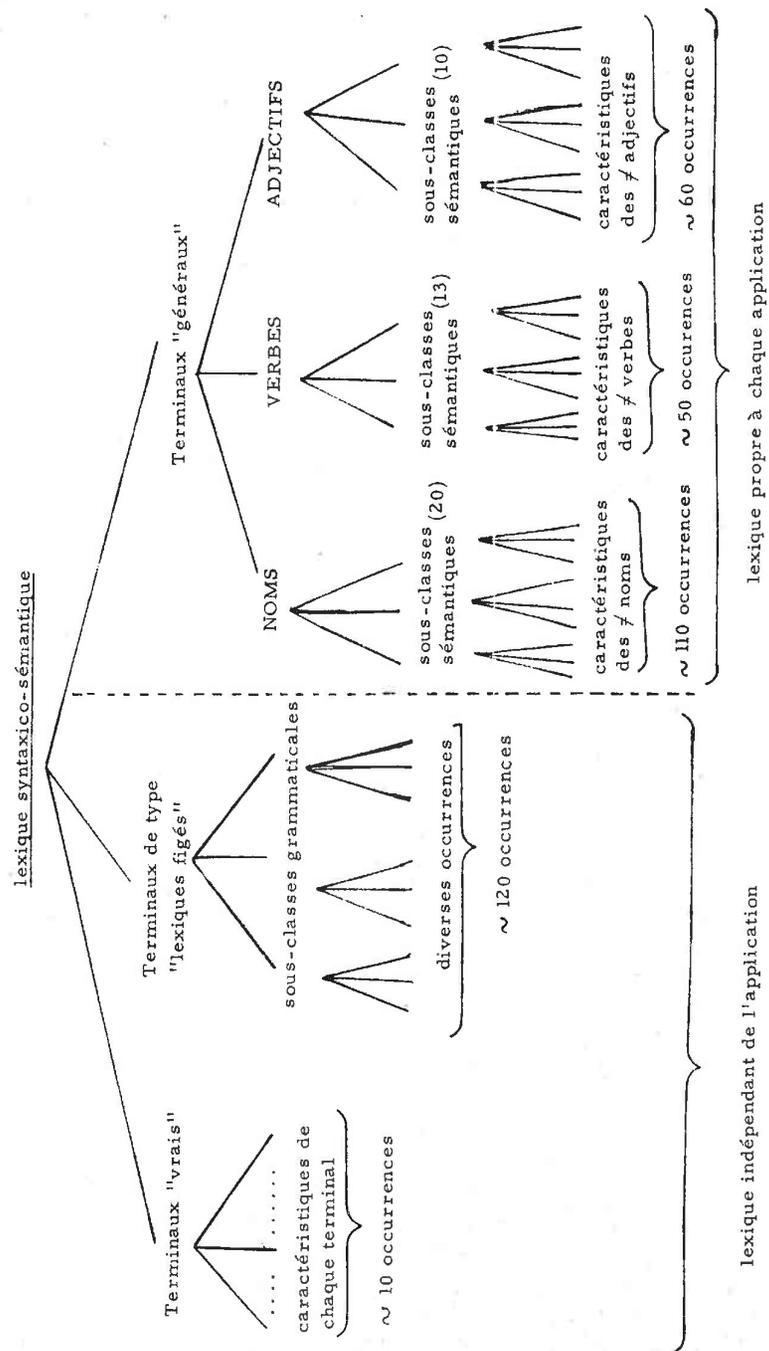
Dans la suite, nous allons surtout détailler l'organisation logique du lexique propre à chaque application. Pour le lexique indépendant de l'application, notons néanmoins que

- dans le cas de terminaux vrais, un second niveau fournit les différentes occurrences de ces terminaux,
- dans le cas de terminaux "lexiques figés" le second niveau donne l'accès à chaque classe grammaticale particulière ; chacune d'elle est ensuite redéfinie par ses diverses occurrences dans un troisième niveau.

La figure B. 5. 2. schématise l'organisation générale du lexique syntaxico-sémantique (les chiffres indiqués donne une idée de l'étendue du lexique de l'application test choisie : renseignements météorologiques).

Pour les terminaux généraux on distingue comme autres niveaux :

- (ii) le second niveau qui provoque une partition suivant les grandes classes grammaticales : NOM, VERBE, ADJECTIF ;



Structure logique du lexique syntaxico-sémantique
Figure B. 5. 2.

(iii) le troisième niveau qui met en évidence les sous-classes sémantiques, et les dépendances et liaisons possibles pour chaque sous-classe. Chaque sous-classe permet l'accès aux caractéristiques des différents mots de cette sous-classe, et fournit les caractéristiques communes aux diverses occurrences qui la composent, à savoir :

a) pour les noms

- la liste des types de noms (sous-classes) pouvant être complètement des noms de cette sous-classe ;
- la liste des types d'adjectifs (sous-classes) pouvant qualifier les noms de cette sous-classe ;
- la liste des fonctions syntaxiques possibles des noms de cette sous-classe ;

b) pour les verbes :

- la liste des types de noms (sous-classe) pouvant dominer le groupe sujet des verbes de cette sous-classe ;
- un indicateur permettant de distinguer les sous-classes de verbes impersonnels des autres sous-classes ;
- la liste des types de noms (sous-classes) pouvant dominer la suite verbale (complément) régie par les verbes de cette sous-classe ;
- la liste des dépendances conceptuelles liées aux verbes de cette sous-classe (type de compléments circonstanciels possibles) ;
- éventuellement, la liste des types de constructions des suites verbales régies par les verbes de la sous-classe

si toutefois, ils sont les mêmes pour l'ensemble des verbes de cette sous-classe ;

c) pour les adjectifs

- la liste des types de noms (sous-classes) pouvant être qualifiés par les adjectifs de cette sous-classe.

(iv) Le quatrième niveau qui correspond aux différents mots ou entités de chaque sous-classe et détaille les propriétés propres à chacun. On y trouve, outre le numéro de référence de chaque mot, un pointeur vers sa représentation orthographique.

De plus, on y indique :

pour les verbes :

- la liste des types de construction des suites verbales possibles, si elle n'a pas été fournie au niveau supérieur
- le type des auxiliaires possibles ;

pour les adjectifs :

- les caractéristiques d'utilisation possible de chaque adjectif (épithète devant le nom, épithète après le nom, attribut avec être, attribut avec faire...).

5.2.2. Représentation interne du lexique

a) Principaux choix effectués

La mise en œuvre effective du lexique et les choix de représentations internes furent guidés par diverses considérations que l'on peut regrouper ainsi :

- (i) respect de la structure logique de la figure B. 5. 2. ,
- (ii) possibilité de modification et d'extension aisées du lexique,
- (iii) prise en compte de contraintes dues à la programmation en FORTRAN de base.

Cela nous a conduits à représenter l'ensemble du lexique sous forme de listes chaînées, sauf pour ce qui concerne les terminaux "vrais", en nombre très restreint, pour lesquels une structure simple de tableau convient tout à fait.

De plus, afin d'unifier à tous les stades de définitions et de traitements les numéros de référence aux diverses entités lexicales, nous avons opté pour une codification de ces numéros de références du type :

"T SS NNN"

ou T indique le type de terminal :

- T = 0 \longleftrightarrow terminaux "vrais"
- T = 2 \longleftrightarrow terminaux "de type lexiques figés"
- T = 3 \longleftrightarrow terminaux "généraux" : noms
- T = 4 \longleftrightarrow terminaux "généraux" : Adjectifs
- T = 5 \longleftrightarrow terminaux "généraux" : Verbes

SS indique le numéro de la sous-classe,

NNN indique le numéro d'occurrence dans la sous-classe.

Toute hypothèse émise par le niveau lexical sera ainsi codifiée et représentera une entité lexicale dont le type sera déterminé par :

si NNN \neq 0 alors occurrence NNN dans la sous classe SS des terminaux de type T
sinon ensemble des terminaux de type T.

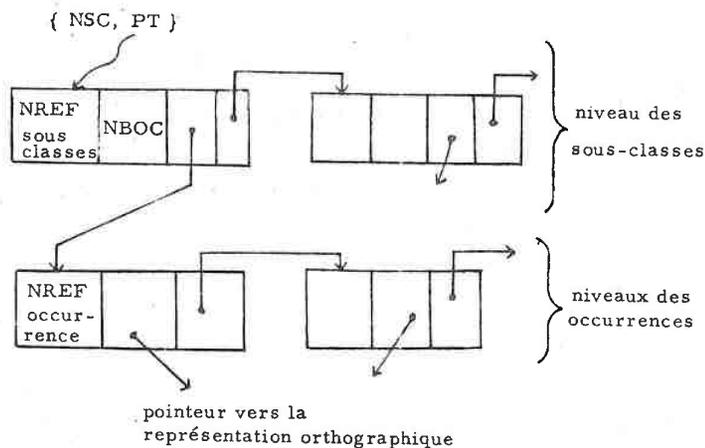
Ainsi dans MYRTILLE II une entité lexicale pourra être indifféremment

- un mot
- une sous-classe de mots
- un ensemble de sous-classes de mots.

b) Représentation interne du lexique

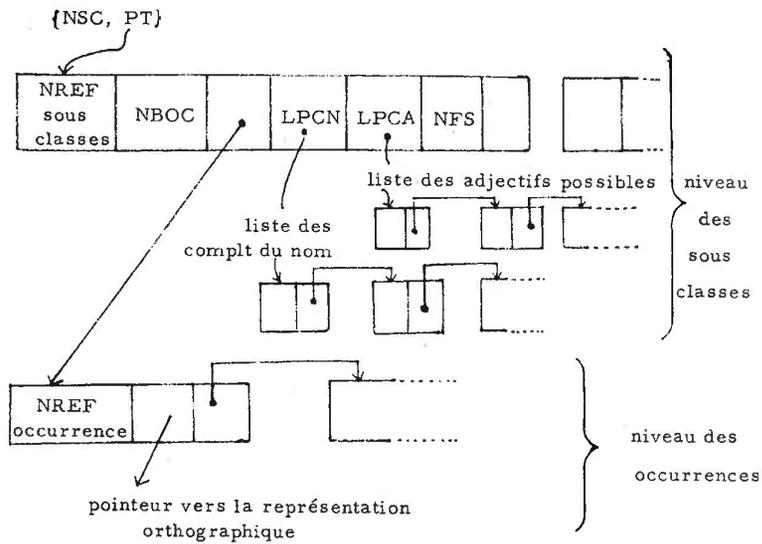
Afin de présenter cette représentation interne de façon simple et rapide, nous avons choisi de nous limiter ici à la présentation de schémas commentés des structures utilisées. Nous distinguerons, non compte tenu des terminaux "vrais", quatre types de terminaux : "lexiques figés (T = 2), noms (T = 3), Adjectifs (T = 4), verbes (T = 5) ; pour chaque type de terminaux, un premier niveau de description fournit un couple (nombre de sous-classes NSC, adresse de la première sous-classe PT).

b - 1 Terminaux lexiques figés (mots grammaticaux)



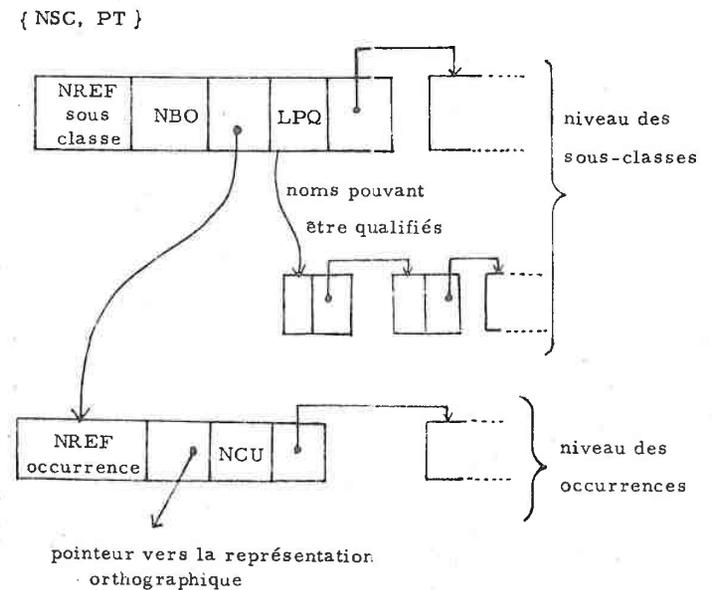
avec NREF : numéro de référence (TSSNNN)
 NBOC : nombre d'occurrences.

b - 2 Terminaux de type NOMS



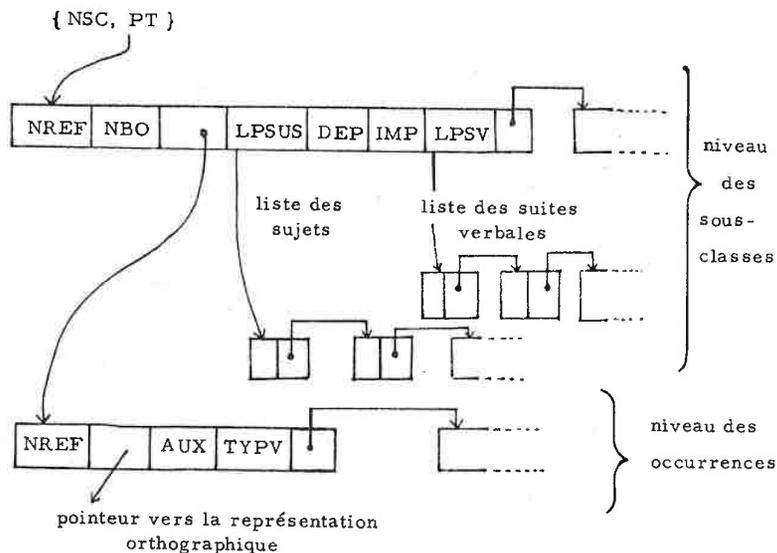
- avec NREF : numéro de référence (TSSNNN)
 NBOC : nombre d'occurrences
 LPCN : pointeur vers la liste des sous-classes de noms compléments possibles des noms de cette sous-classe
 LPCA : pointeur vers la liste des sous-classes d'adjectifs possibles avec les noms de cette sous-classe
 NFS : fonctions syntaxiques possibles de ce nom (codification binaire)

b - 3 Terminaux de type ADJECTIFS



- avec LPQ : Pointeur vers la liste des sous-classes de noms pouvant être qualifiés par des adjectifs de cette sous-classe ;
 NCU : Caractéristiques d'utilisation : épithète devant ou après le nom, attribut... (codification binaire).

b - 4 Terminaux de type VERBES



- avec LPSUS : pointeur vers la liste des sous-classes de noms pouvant être sujets des verbes de cette sous-classe
- LPSV : pointeur vers la liste des sous-classes de noms pouvant dominer la suite verbale
- IMP : indicateur pour les verbes impersonnels
- DEF : dépendances conceptuelles demandées (codification binaire)
- AUX : auxiliaires possibles (codification binaire)
- TYPV : type des suites verbales possibles

5.3. LES DIVERS ACCES AU LEXIQUE

5.3.1. Définition des procédures d'accès

Afin de rendre transparente l'organisation interne du lexique à l'ensemble des traitements mis en œuvre dans le système MYRTILLE II, nous avons défini un ensemble de procédures d'accès qui effectuent entièrement la liaison entre le lexique et le reste du système.

Outre les procédures d'accès aux diverses entités du lexique (type de terminal, sous-classe, occurrence), en fonction d'un numéro de référence (T SS NNN), on distinguera treize procédures élémentaires d'accès sur critères syntaxico-sémantiques. Ce sont :

a) sélection des adjectifs pouvant qualifier un nom : SELECT 1

donnée LSCN liste de sous-classes de noms

résultat LSCA liste de sous-classes d'adjectifs

objet sélection de la liste des sous-classes d'adjectifs (LSCA) pouvant qualifier des noms dont la sous-classe est indiquée dans LSCN.

b) Sélection d'adjectifs dans une sous-classe : SELECT 2

données NSCA numéro de sous-classe d'adjectif

C numéro de caractéristique d'utilisation

résultat LADS liste d'adjectifs

objet sélection dans la sous-classe NSCA les adjectifs ayant comme caractéristique d'utilisation, caractéristique C.

c) Sélection des noms qualifiés par un adjectif : SELECT 3

donnée NSCA numéro de sous-classe d'adjectifs
résultat LSCN liste de sous-classes de noms
objet sélection de la liste des sous-classes de noms pouvant être qualifiés par un adjectif de la sous-classe NSCA (inverse de SELECT 1)

d) Sélection des noms compléments d'un nom : SELECT 4

donnée NSCN numéro de sous-classe de noms
résultat LSCN liste de sous-classes de noms
objet sélection de la liste des sous-classes de noms pouvant être complément d'un nom de la sous-classe NSCN.

e) Test de compléments du nom possibles : COMPN

donnée NOM numéro de nom
résultat COMPN boolean
objet teste si le nom NOM accepte un complément du nom.

f) Sélection des verbes compte tenu du sujet : SELECT 5

donnée NSCS numéro de sous-classe du nom sujet ou indication du pronom
résultat LSCV liste de sous-classes de verbes
objet sélection de la liste des sous-classes de verbes LSCV pouvant avoir un sujet de type NSCS.

g) Sélection des verbes compte tenu de la suite verbale : SELECT 6

donnée NSCSGV numéro de sous-classe de nom
résultat LSCV liste de sous-classes de verbes

objet sélection de la liste des sous-classes de verbes pouvant avoir comme nom dominant la suite verbale un nom de la sous-classe NSCSGV.

h) Sélection des sujets d'un verbe : SELECT 7

donnée NSCV numéro de sous-classe de verbes
résultat LSCNS liste de sous-classes de noms
objet sélection de la liste des sous-classes de noms pouvant être sujet d'un verbe de la sous-classe NSCV.

i) Sélection des compléments d'un verbe : SELECT 8

donnée NSCV numéro de sous-classe de verbes
résultat LSCN liste des sous-classes de noms
objet sélectionne la liste des sous-classes de noms pouvant dominer la suite verbale d'un verbe de la sous-classe NSCV.

j) Sélection de verbes dans une sous-classe : SELECT 9

données NSCV numéro de sous-classe de verbe
TAUX type de l'auxiliaire
TYPV type de la structure de la suite verbale
résultat LVERB liste de verbe
objet sélection dans la sous-classe NSCV de la liste des verbes LVERB qui accepte un auxiliaire de type TAUX et une structure de la suite verbale de type TYPV.

k) Sélection de noms compte tenu de leur fonction syntaxique : SELECT 10

donnée FS numéro de fonction syntaxique

résultat LSCN liste de sous-classes de noms
objet sélection de la liste des sous-classes de noms
pouvant avoir comme fonction syntaxique FS.

1) Sélection des verbes impersonnels : VERIMPERS

donnée /
résultat LSCV liste de sous-classes de verbes
objet sélection de la liste des sous-classes de verbes
impersonnels.

m) Type de la suite verbale d'un verbe : VALEURTYPV

donnée NVERB numéro de référence d'une verbe
résultat TYPV ensemble de types possibles de suite verbale
objet détermine l'ensemble des types possibles pour la
suite verbale du verbe NVERB.

5.2.2. Exemple d'utilisation

Le but de ces procédures d'accès est de restreindre les hypothèses de type noms, adjectifs ou verbes, compte tenu du contexte syntaxico-sémantique déjà reconnu. Ces procédures élémentaires, grâce à de multiples combinaisons permettent de tester des relations beaucoup plus élaborées que celles existant de façon explicite dans le lexique.

Ainsi, par exemple, il est possible de sélectionner l'ensemble des adjectifs qui peuvent apparaître devant un nom complément du verbe NV ; il suffit pour cela de déterminer :

- LSCN liste des sous-classes de nom suite verbale possible du verbe NV (grâce à la procédure (i))
- LSCA liste des sous-classes d'adjectifs pouvant qualifier les noms de la sous-classe LSCN (procédure (a))
- pour chaque numéro de sous-classe NSCA de la liste LSCA, sélection des adjectifs qui peuvent être épithètes devant le nom (procédure (b)).

On trouvera en annexe 4 divers exemples de traitement de phrases qui font intervenir de telles procédures.

Ainsi, dans l'exemple 1 de l'annexe 4, on peut remarquer que, pour le groupe nominal "risques de petites plaques de verglas", après la reconnaissance de "risques de" on a restreint à 31 le nombre de noms possibles comme complément du nom (31 sur plus de 150 noms possibles) à savoir :

1 PLUIE	2 NEIGE	3 GRELE	4 NUAGE
5 BROUILLARD	6 GELEE	7 VERGLAS	8 PLAQUE
9 ORAGE	10 TEMPETE	11 CHUTE	12 SECHERESSE
13 REDOUX	14 HUMIDITE	15 RECHAUFFEMEN	16 REFROIDISSEM
17 AMELIORATION	18 DETERIORATIO	19 CHANGEMENT	20 HAUSSE
21 BAISSSE	22 DIMINUTION	23 AUGMENTATION	24 VARIATION
25 APPARITION	26 DISPARITION	27 RECU	28 PROGRESSION
29 FORMATION	30 PASSAGE	31 FORMATION	

à 13 le nombre d'adjectifs devant ce complément du nom (13 sur plus de 70 adjectifs possibles) :

1 PETIT	2 FAIBLE	3 LEGER	4 FORT
5 IMPORTANT	6 BRUSQUE	7 FREQUENT	8 RARE
9 SERIEUX	10 NOTABLE	11 GROS	12 POSSIBLE
13 PROCHAIN			

et enfin à 7 le nombre de noms possibles comme complément du groupe "risque de petites plaques de..." (7 sur plus de 150 noms).

1 PLUIE	2 NEIGE	3 GRELE	4 NUAGE
5 BROUILLARD	6 GELEE	7 VERGLAS	

Nous aborderons plus en détail dans la partie C les procédures de mise en œuvre de ces contraintes lexicales, mais on peut noter dès maintenant qu'un lexique avec de telles procédures d'accès permet d'obtenir un modèle de l'ensemble des phrases possibles du langage aussi précis, quant à l'émission d'hypothèses sur les mots, qu'une grammaire sémantique.

5.4. CREATION - MISE A JOUR ET INFERENCE DU LEXIQUE PROPRE A CHAQUE APPLICATION

5.4.1. Importance des procédures de création et de gestion du lexique

Le rôle du lexique est particulièrement important car c'est lui qui permet de prendre en compte l'essentiel des informations liées à une application donnée. Nous avons vu au chapitre A.1. que, compte tenu de nos connaissances actuelles, seuls des dialogues-experts (limités à un domaine d'application restreint) peuvent être traités automatiquement et, étant donnés les choix posés dans MYRTILLE II (cf. chapitre B.1.), définir une application revient à définir le lexique ; par conséquent, tout changement d'application doit nécessairement se traduire par un changement et une redéfinition complète du lexique.

Il est donc naturel qu'après avoir validé une telle approche, et nous pensons que les résultats obtenus que nous présenterons dans la partie C et l'annexe 4 ont atteint ce but, nous étudions maintenant les moyens de faciliter au maximum la création et la mise à jour d'un tel lexique.

Lors de la création du lexique, il est nécessaire que le concepteur connaisse parfaitement l'application qu'il souhaite mettre en œuvre : d'ailleurs les quelques incohérences qui subsistent actuellement dans le lexique de l'application météorologique proviennent précisément du fait que nous ne sommes en rien spécialistes de renseignements météorologiques. Il est donc souhaitable d'aider au maximum ce spécialiste dans son travail de définition du lexique pour au moins deux raisons :

- ne pas "abuser" de son temps et donc lui permettre de définir entièrement un tel lexique (quelques centaines de mots) dans un temps raisonnable ; cela est primordial si on veut effectivement avoir un système paramétrable ;
- lui permettre de concevoir ce lexique en restant à un niveau logique sans qu'il ait à étudier, préalablement, son fonctionnement interne ; en effet dans la plupart des cas cet utilisateur ne sera pas informaticien, encore moins spécialiste de reconnaissance de la parole.

Or la création et la mise au point du lexique recouvrent un certain nombre de difficultés parmi lesquels on peut noter entre autres :

- le choix des sous-classes sémantiques qu'il n'est pas toujours naturel de déterminer a priori de manière efficace ;

- le nombre de tâches répétitives, fort peu motivantes et pourtant très importantes, nécessaires pour définir l'ensemble des caractéristiques et des liaisons syntaxico-sémantiques associées à chaque mot ;
- la difficulté de vérification de la cohérence et de l'efficacité du lexique qui le plus souvent ne peut se faire que par approximations successives grâce à un processus itératif de tests, et de mises à jour successives.

Pour aider au maximum à la gestion du lexique, nous avons donc été amenés dans un premier temps à mettre en œuvre un logiciel conversationnel de création et de mise à jour permettant d'engendrer la structure interne à partir d'une structure logique entièrement définie. Accentuant cet effort d'aide à la gestion du lexique, nous travaillons actuellement à la définition de procédure d'inférence, et d'apprentissage automatique du lexique.

5.4.2. Logiciel conversationnel de mise en œuvre du lexique

Ce logiciel nécessite au préalable d'avoir entièrement défini sur papier la structure logique du lexique, telle qu'elle est présentée au paragraphe 5.2.1. ; il se décompose en une partie de création du lexique, et une partie modification et mise à jour. Ce logiciel n'aide en rien à définir les sous-classes sémantiques, ni les diverses caractéristiques de ces sous-classes, mais permet simplement d'effectuer le passage de la structure logique à la représentation interne du lexique.

→ 1. Création du lexique

Le programme acquiert par un dialogue l'ensemble des informations nécessaires au lexique. Voici à titre d'exemple le dialogue engendré par ce programme pour la création d'une sous-classe de nom (les parties soulignées correspondent aux questions de la machine) :

type du terminal à créer (NOM, VERBE, ADJECTIF) : NOM

nom de la sous classe : numéro ou mnémonique

occurrences : Hausse

Baisse

Variation

⋮

Fonctions syntaxiques possibles ?

_____ }
 _____ } numéro ou mnémoniques
 - - - - - }
 _____ }

liste des sous-classes complément du nom ?

_____ }
 _____ } numéros ou mnémoniques
 _____ }

liste des adjectifs pouvant qualifier les noms de cette sous-classe ?

_____ }
 _____ } numéros ou mnémoniques

type du terminal à créer (NOM, VERBE, ADJECTIF) :

→ 2. Mise à jour du lexique

Grâce à un dialogue de même type, le module de mise à jour détermine l'objet de la modification qui peut porter sur n'importe quelle information du lexique. Le schéma général du dialogue est donc de ce type :

- . choix du type de terminal à modifier
- . choix du type de la modification : modification, création ou suppression d'une sous-classe, ou d'une occurrence, et dans le cas d'une modification :
- . caractéristiques de cette modification.

La figure B. 5. 3. fournit une partie du menu du programme de mise à jour du lexique pour les verbes et les noms.

La présentation détaillée de ce logiciel n'apporterait rien de plus ! il est pourtant indispensable pour permettre une maintenance aisée du lexique : il serait, en effet, illusoire de vouloir figer un tel lexique car à quoi peut donc servir un système paramétré si on fige les paramètres une fois pour toutes ?

5.4.3. Inférence et apprentissage automatique du lexique

Le logiciel actuel de mise en œuvre reste très limité car il nécessite au préalable de définir entièrement et point par point l'ensemble de la structure logique du lexique (sous-classes, occurrences et caractéristiques comprises) et, par conséquent, ne répond que très peu aux objectifs que nous avons notés au paragraphe B. 5. 4. 1. C'est pourquoi toute cette partie d'aide à la création et à la mise à jour du lexique dans le système MYRTILLE II reste pour nous un pôle essentiel de recherche, et nous nous orientons maintenant vers la mise en œuvre de procédures d'inférence et d'apprentissage automatique du lexique. En fait, plutôt que d'inférence et d'apprentissage il conviendrait mieux de parler d'aide "intelligente" à la construction du lexique qui, à notre avis, doit intégrer divers aspects parmi lesquels on peut noter :

- la prise en compte des diverses occurrences du lexique à partir d'un corpus de phrases d'apprentissage (phrases écrites) ;
- la création automatique ou semi automatique des sous-classes sémantiques à partir des caractéristiques déterminées par l'analyse des phrases d'apprentissage et de celles précisées par le concepteur ;
- la possibilité d'étendre le lexique par l'adjonction de mots aux diverses sous-classes sémantiques ;
- le contrôle de la cohérence du lexique grâce à un processus de génération automatique de phrases.

Ce ne sont là qu'un certain nombre d'idées guidant actuellement notre réflexion et nos recherches ; ce domaine touchant à l'apprentissage du lexique reste largement ouvert et personne actuellement ne peut proposer de solutions entièrement satisfaisantes.

MAJLEX
EXECUTION F4L1B VERSION V11-02 19*42*26*

VOULEZ-VOUS CONTINUER LA MISE A JOUR(OUI, NON)?

?OUI

TYPE DE TERMINAL A METTRE A JOUR(TTG,TTL,TTV)?

?TTG

VOULEZ-VOUS TRAVAILLER SUR
TVER : LES VERBES
TNOM : LES NOMS
TADJ : LES ADJECTIFS

?TVER

QUE VOULEZ-VOUS FAIRE?

- 1 : MODIFIER UNE SSC
- 2 : MODIFIER UNE OCC
- 3 : CREER UNE SSC
- 4 : CREER UNE OCC
- 5 : SUPPRIMER UNE SSC
- 6 : SUPPRIMER UNE OCC
- 7 : TRAVAILLER AILLEURS

?1

QUELLE SSC VOULEZ-VOUS MODIFIER? NO :

?01

QUE VOULEZ-VOUS FAIRE?

- 1 : AJOUTER UNE UNE SSC SUJET
- 2 : SUPPRIMER UNE SSC SUJET
- 3 : MODIFIER LES DEPENDANCES
- 4 : AJOUTER UNE SSC DE SUITE VERBALE
- 5 : SUPPRIMER UNE SSC DE SUITE VERBALE
- 6 : CHANGER LA FORME (PERSONNEL OU IMPERSONNEL) DU VERBE
- 7 : FAIRE AUTRE CHOSE

?1

?04

QUE VOULEZ-VOUS FAIRE?

- 1 : AJOUTER UNE UNE SSC SUJET
- 2 : SUPPRIMER UNE SSC SUJET
- 3 : MODIFIER LES DEPENDANCES
- 4 : AJOUTER UNE SSC DE SUITE VERBALE
- 5 : SUPPRIMER UNE SSC DE SUITE VERBALE
- 6 : CHANGER LA FORME (PERSONNEL OU IMPERSONNEL) DU VERBE
- 7 : FAIRE AUTRE CHOSE

?7

QUE VOULEZ-VOUS FAIRE?

- 1 : MODIFIER UNE SSC
- 2 : MODIFIER UNE OCC
- 3 : CREER UNE SSC
- 4 : CREER UNE OCC
- 5 : SUPPRIMER UNE SSC
- 6 : SUPPRIMER UNE OCC
- 7 : TRAVAILLER AILLEURS

?2

Menu du programme de
mise à jour du lexique

Figure B. 5. 3.

DE QUELLE SSC VOULEZ-VOUS MODIFIER UNE OCC? NO :

?01

QUELLE OCC VOULEZ-VOUS MODIFIER? NO :

?01

QUE VOULEZ-VOUS FAIRE ?

- 1 : MODIFIER LE NO DE REGLE D ALTARATION PHONOLOGIQUE
- 2 : MODIFIER LE TYPE D AUXILIAIRE
- 3 : MODIFIER LE TYPE DE SUITE VERBALE 1
- 4 : MODIFIER LE TYPE DE SUITE VERBALE 2
- 5 : MODIFIER LE TYPE DE SUITE VERBALE 3
- 6 : FAIRE AUTRE CHOSE

?4

TYPE DE SUITE VERBALE :

?07

QUELLE OCC VOULEZ-VOUS MODIFIER? NO :

?

... et dans le cas de mise à jour des terminaux de type NOM (TNOM)

QUE VOULEZ-VOUS FAIRE?

- 1 : MODIFIER UNE SSC
- 2 : MODIFIER UNE OCC
- 3 : CREER UNE SSC
- 4 : CREER UNE OCC
- 5 : SUPPRIMER UNE SSC
- 6 : SUPPRIMER UNE OCC
- 7 : TRAVAILLER AILLEURS

?1

QUELLE SSC VOULEZ-VOUS MODIFIER? NO :

?01

QUE VOULEZ-VOUS FAIRE

- 1 : AJOUTER UNE SSC COMPLEMENT DU NOM
- 2 : SUPPRIMER UNE SSC COMPLEMENT DU NOM
- 3 : AJOUTER UNE SSC ADJECTIFS
- 4 : SUPPRIMER UNE SSC ADJECTIFS
- 5 : CHANGER LA FONCTION SYNTAXIQUE
- 6 : FAIRE AUTRE CHOSE

?1

?03

QUE VOULEZ-VOUS FAIRE

Menu du programme de mise à jour du lexique

Figure B. 5. 3. (suite)

5.5. CONCLUSION ET COMPARAISON AVEC D'AUTRES
REALISATIONS DU NIVEAU LEXICAL

La mise en œuvre de contraintes syntaxico-sémantiques au niveau lexical est un point important du système MYRTILLE II car dans le cadre de la reconnaissance de la parole, il est nécessaire d'utiliser au maximum les différentes informations linguistiques disponibles. Tous les systèmes de reconnaissance et/ou de compréhension de langages pseudo-naturels mettent en œuvre de tels traitements. La solution que nous avons adoptée est une solution moyenne entre :

(i) l'intégration de ces traits dans la définition syntaxique du langage

C'est en particulier le cas lorsque, comme dans le système HWIN [BBN - 76], la définition du langage se fait grâce à une grammaire sémantique, ou, comme dans le système d'IBM ou dans HARPY, l'ensemble des informations sont introduites dans un vaste réseau de transitions (cf. paragraphe 3.4.1.). Dans les deux cas, le changement d'application nécessite la redéfinition de l'ensemble des informations linguistiques ;

(ii) la définition des mots grâce à des fonctions sémantiques élémentaires (cf. paragraphe B.3.4.2.)

On trouve une telle réalisation du niveau lexical en particulier chez MELONI [MELO - 80] qui représente chaque mot du langage par une clause unaire du langage PROLOG utilisant des traits sémantiques tels que humain - non humain etc...

Le choix que nous avons fait est assez proche dans sa réalisation de ce qui est fait dans le système du S.R.I. [WALK - 78], et, dans son esprit, des recherches et études effectuées par l'équipe de G. PERENNOU dans le projet ARIAL (cf. paragraphe B.3.4.).

Ayant adopté une solution moyenne nous savons qu'elle peut être critiquée au niveau théorique, car elle se rattache à aucun modèle linguistique. Les résultats que nous présenterons dans la partie C montrent néanmoins que dans le cadre de la reconnaissance de langages pseudo-naturels, ce modèle répond pleinement aux buts que nous nous étions fixés : limiter au mieux les hypothèses émises sans pour autant trop alourdir les traitements mis en œuvre.

CHAPITRE B.6.

LES AUTRES INFORMATIONS MISES EN ŒUVRE

Pour terminer la présentation des diverses informations mises en œuvre dans le système MYRTILLE II, et après avoir vu dans les chapitres précédents les informations liées à la structure du langage (réseaux à nœuds procéduraux), et les informations syntaxico-sémantiques sur les mots (lexique syntaxico-sémantique), nous allons maintenant aborder successivement :

- la représentation syntaxico-sémantique de l'énoncé traité
- le lexique phonétique et phonologique
- les informations acoustico-phonétiques représentant l'énoncé oral de départ.

Seul le premier type d'information est opérationnel dans la version actuelle du système MYRTILLE II, qui simule entièrement les niveaux phonétique, phonologique et prosodique. Néanmoins, la mise en œuvre de ces autres informations est en cours, et nous présenterons ici les idées directrices qui président à leur étude.

6.1. REPRESENTATION DE L'ENONCE TRAITE

6.1.1. Objectifs

Le rôle d'une telle représentation est multiple, son but est certes de conserver l'ensemble des informations obtenues au

cours du traitement de reconnaissance, mais avec des objectifs particuliers, qui seront pour nous :

- (i) fournir l'ensemble du contexte syntaxico-sémantique déjà traité nécessaire lors de l'émission des hypothèses ; l'émission des hypothèses étant de loin la phase la plus répétitive du processus de reconnaissance, il sera nécessaire que la structure adoptée pour la représentation de ce contexte soit bien adaptée aux procédures utilisées lors de l'émission des hypothèses. Ainsi, il sera nécessaire de fournir un accès le plus rapide possible aux paramètres des diverses procédures d'accès au lexique que nous avons présentées au chapitre précédent.
- (ii) Obtenir une représentation normalisée des phrases reconnues pour faciliter au maximum les divers traitements les concernant et spécialement la phase d'interprétation de l'énoncé, suite logique de la compréhension ; dans ce cas, le sens est plus important que la forme ; cela nous a donc conduits à définir une représentation de la phrase plus proche de la structure profonde que de la structure de surface. Autrement dit, elle rendra compte des liaisons logiques entre les mots plutôt que de leur ordre d'apparition qui ne sera d'ailleurs pas mentionné. A ce propos, on peut noter que les informations de positions relatives des mots ne sont utilisées que localement dans le processus de reconnaissance, essentiellement d'ailleurs lors de l'analyse des structures.
- (iii) Gérer le contexte syntaxico-sémantique en vue des retours en arrière possibles, d'où la nécessité, outre de garder les informations représentant la phrase, d'y adjoindre des informations

permettant de restructurer le bon contexte en cas de retours en arrière.

- (iv) Faciliter le traitement des groupes interrogatifs ; dans le cadre du traitement de langages d'interrogation de centre de renseignements, objectif du système MYRTILLE II, le rôle du groupe interrogatif est primordial. Les interrogatives peuvent être de deux types : soit totales, soit partielles. Si dans le cas d'une interrogative totale le traitement est simple (il suffit de positionner un indicateur), il n'en est pas de même dans le cas d'une interrogative partielle. Elle porte le plus souvent sur un syntagme qu'il convient de préciser et de prendre en compte pour la suite du traitement. Or dans le cas d'un groupe nominal interrogatif, il n'est pas toujours aisé de déterminer a priori sa fonction syntaxique ; on sera donc amené à effectuer un traitement particulier permettant de déterminer cette fonction au vu du contexte reconnu ultérieurement. Ainsi dans les phrases :

- (1) "Combien d'orages prévoit-on sur NANCY"
- (2) "Combien d'orages éclateront sur NANCY" ;

la fonction du groupe interrogatif "combien d'orages" ne peut être déterminée qu'après traitement du verbe ; on ne pourra pas intégrer immédiatement ce groupe nominal interrogatif dans la représentation de la phrase ; il faudra donc passer par une représentation intermédiaire du groupe interrogatif en temps que tel.

6.1.2. Structure et représentation de l'énoncé traité

Compte tenu des objectifs cités ci-dessus, nous avons été amenés à représenter la phrase sous forme de vecteurs hiérarchisés de renseignements. On y distinguera deux grands types : la proposition et le groupe nominal, auquel s'ajoutera une représentation particulière pour le groupe interrogatif.

Etudions maintenant l'organisation logique des informations à conserver pour chaque type.

a) Proposition

Ce niveau de description sera essentiellement centré sur le verbe ; on y trouvera donc, outre le type de la proposition, le squelette de la phrase sous forme (sujet, verbe, suite verbale), suivi éventuellement de références aux compléments circonstanciels éventuels. S'il est nécessaire d'y conserver l'ensemble des informations sur le verbe, on se limitera pour le sujet et la suite verbale à son type et dans le cas de groupe nominal au numéro de référence du nom dominant ce syntagme.

La figure B. 6.1. donne le schéma du vecteur de renseignements d'une proposition ; la structure interne choisie est la structure de tableau permettant ainsi un accès direct aux différentes informations conservées. Quant aux diverses entités lexicales, elles sont conservées sous la forme de leur numéro de référence (T SS NNN) permettant de déterminer pour chacune d'elles leur type (T), leur numéro de sous-classe SS, leur numéro d'occurrence NNN.

On y trouve :

- son type : principale, subordonnée ou relative
dans les deux derniers cas, ce type fournit en outre le pointeur vers la proposition principale ou vers le groupe nominal qualifié ;
- la description du sujet : - numéro de référence de l'entité dominant le groupe sujet et éventuellement pointeur vers le groupe nominal sujet ;
- la description du verbe : numéro de référence du verbe et éventuellement de son auxiliaire ;
- la description de la suite verbale :
 - type de la suite verbale et suivant ce type une représentation particulière de chaque suite verbale :
 - . numéro de nom, pointeur vers le groupe nominal pour un complément d'objet direct
 - . numéro d'adjectif pour un attribut
 - . préposition, numéro de nom, pointeur vers le groupe nominal pour un complément indirect
 - . etc...
- la description des groupes compléments circonstanciels avec particularisation de la date et du lieu.

b) Groupe nominal

Centré sur le nom ce niveau de représentation indique :

- une référence à la proposition de rattachement ou au groupe nominal complété (cas du complément du nom) ;
- la fonction syntaxique de ce groupe nominal ;
- le numéro de référence du déterminant éventuel ;

- le numéro de référence au nom ;
- les numéros des adjectifs qualificatifs ;
- un pointeur vers les éventuels compléments du nom ;
- un pointeur vers une éventuelle relative ;
- enfin un chaînage prévu vers le groupe nominal relié à ce groupe nominal par une conjonction de coordination, bien qu'actuellement les coordinations ne soient pas traitées.

La figure B.6.2. donne le schéma du vecteur de renseignements d'un groupe nominal

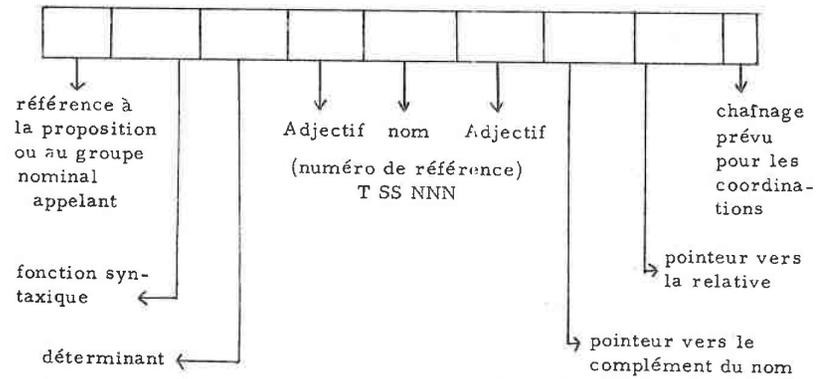


Schéma du vecteur de renseignements d'un groupe nominal

Figure B.6.2.

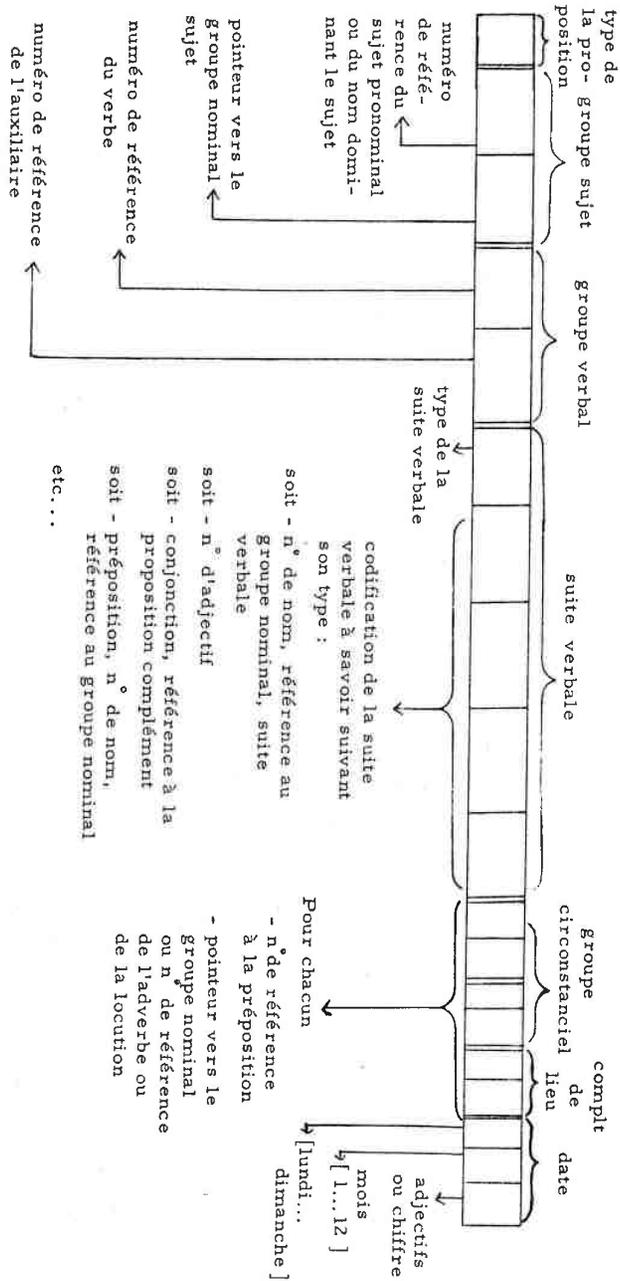


Schéma du vecteur de renseignements d'une proposition

Figure B.6.1.

c) Groupe interrogatif

Sa structure est très simple, il indique

- le type de l'interrogation

- et dans le cas d'une interrogation partielle

soit un pointeur vers le groupe nominal interrogatif,

soit la référence au pronom ou à l'adverbe interrogatif

utilisé.

De plus, afin de permettre la gestion de cette représentation syntaxico-sémantique en cas de retours en arrière, chaque information est complétée par une référence au contexte d'analyse l'ayant déterminée. Nous aborderons plus en détail au cours de la partie C, consacrée aux problèmes de mise en œuvre, le rôle de cette représentation, en étudiant les procédures de traitements associées.

6.2. LEXIQUE PHONETIQUE ET PHONOLOGIQUE

Ce niveau lexical est le complément indispensable du lexique syntaxico-sémantique que nous avons présenté au chapitre précédent (cf. figure B.5.1.). Bien que seule une version simplifiée de ce lexique soit opérationnelle dans la version actuelle du système MYRTILLE II, les spécifications essentielles de la version future sont fixées et leurs mises en œuvre sont en cours [HATO - 79], [PIER - 79 a]. Nous allons donc préciser dans ce paragraphe les lignes directrices de nos recherches en ce domaine dans le cadre du projet MYRTILLE II en abordant successivement le rôle d'un tel niveau lexical, les informations à prendre en compte, les accès à mettre en œuvre, et terminerons

en présentant quelques objectifs peut être plus lointains, mais aussi fondamentaux concernant la création d'un tel lexique.

6.2.1. Rôle de ce niveau lexical

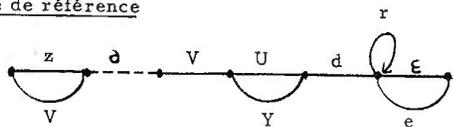
Le rôle de niveau phonétique et phonologique du lexique est double :

- permettre la reconnaissance phonétique des mots,
- permettre l'émission d'hypothèses sur critères phonétiques.

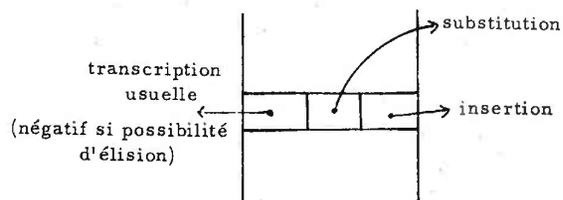
Le premier aspect est le plus évident : nous nous proposons de reconnaître une phrase à partir d'un treillis de phonèmes ; il est donc nécessaire pour cela d'avoir la représentation phonétique de référence de chaque mot pour pouvoir comparer cette représentation à un sous chemin du treillis d'entrée. Mais une représentation phonétique de référence unique pour chaque mot ne suffit pas, car, dans une phrase parlée, un mot s'insère dans un certain contexte, et subit de ce fait diverses altérations (cf. paragraphe B.1.1.), dont il faut pouvoir rendre compte dès que l'on dépasse le stade de la reconnaissance par mots. Il faudra donc, outre la représentation phonétique de chaque mot, fournir toutes informations utiles sur les altérations phonologiques possibles.

Le second aspect est lui aussi essentiel si l'on souhaite traiter des vocabulaires importants (plusieurs centaines de mots). Avant de procéder à une véritable reconnaissance phonétique (ou recherche lexicale), il est alors nécessaire de restreindre les hypothèses à tester compte tenu de la structure et de la longueur du treillis phonétique d'entrée à prendre en compte.

Graphe de référence



structure de donnée associée



Représentation lexicale du mot

"je voudrais" (/zəvudrɛ/) dans MYRTILLE I

Figure B.6.3.

Condition d'application		désinence
infinitif		e
participe passé (après auxiliaire)		
Présent	2ème personne	pluriel
		singulier
	3ème personne	
Imparfait	1ère personne	singulier
		pluriel
	3ème personne	pluriel
		singulier

Règle phonologique pour la conjugaison
des verbes du 1er groupe

Figure B.6.4.

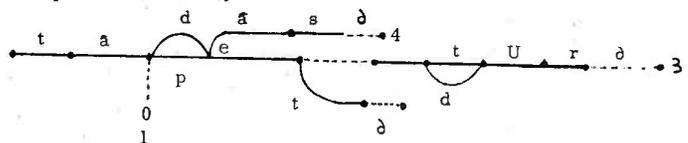
b) Organisation générale du lexique

Le problème de l'organisation du lexique phonétique est assez comparable à celui de l'organisation du dictionnaire rencontré en traitement de langue naturelle écrite. Un certain nombre de solutions proposées dans ce cadre, comme par exemple [COUR - 77] peuvent être adaptées au lexique phonétique. Le problème essentiel pouvant être énoncé en ces termes :

faut-il dissocier les représentations phonétiques de chaque mot

ou les regrouper dans un vaste réseau général. La seconde solution permet de factoriser considérablement les éléments communs (par exemple : radical commun) et aussi d'accélérer le processus de reconnaissance lorsqu'on veut tester l'ensemble des occurrences représentées par un même réseau. En effet, dans ce cas, la reconnaissance des diverses occurrences peut s'effectuer en parallèle. Par contre cette représentation pénalise la recherche lexicale lorsqu'on ne souhaite tester qu'une proposition faible des mots représentés par un tel réseau.

Dans le système MYRTILLE I, nous avons proposé une telle structure phonétique pour représenter les non-terminaux qui correspondaient à différents mots, et que nous appelions "terminaux de type lexicale" [PIER - 75]. Nous pensons mettre en œuvre une telle représentation dans le système MYRTILLE II pour décrire l'ensemble des mots d'une sous-classe syntaxico-sémantique ayant une partie commune au début de leur représentation phonétique. La figure B. 6. 5. schématise une telle représentation pour les mots temps, tempête, température, tendance. Mais nous pensons nous limiter à des graphes représentant un nombre d'occurrences restreint. Une fois de plus, nous choisissons une solution moyenne, conséquence de deux objectifs apparemment contradictoires : avoir une représentation concise pour permettre la mise en œuvre de grands vocabulaires et efficace au niveau temps de traitement.



- 1 temps
- 2 tempête
- 3 température
- 4 tendance

graphe phonétique recouvrant plusieurs mots

Figure B. 6. 5.

6.2.3. Procédures d'accès au lexique phonétique

Parallèlement à la définition de la structure de ce lexique phonétique, nous travaillons à la mise en œuvre d'un certain nombre de procédures d'accès permettant de répondre aux objectifs que nous nous sommes fixés. Parmi ces fonctions d'accès, on peut noter :

- accès aux diverses entités lexicales (référencées par un numéro de type T SS NNN) à savoir :
 - . ensemble des représentations des mots d'une sous-classe
 - . représentation d'un mot d'une sous-classe ;
- accès suivant la longueur phonétique des mots ;
- accès sélectif compte tenu d'un patron phonétique ;
- accès sélectif par test d'une ou plusieurs caractéristiques phonétiques telles que :
 - . présence ou non de plosives
 - . présence ou non de fricatives
 - . etc...

Dans la version actuelle du système MYRTILLE II seul le premier type d'accès est mis en œuvre ; les autres accès sont en cours d'étude pour une version ultérieure.

6.2.4. Création et inférence du lexique phonétique

Nous avons vu au paragraphe B. 5. 4. l'importance des procédures de création et de modification du lexique syntaxico-sémantique

pour permettre une paramétrisation aisée du système MYRTILLE II. Il en va de même pour le lexique phonétique. Même si dans un premier temps, nous envisageons de créer manuellement ce lexique, nous souhaitons obtenir à moyen terme une procédure de création et d'inférence automatique de ce niveau lexical.

Des travaux ont déjà été réalisés sur l'inférence automatique d'un tel lexique [FOX - 76], [DILL - 77] ; pour notre part nous limiterons cette création automatique du lexique à deux aspects :

(i) gestion automatique des représentations phonologiques des mots ; il s'agit là d'automatiser le passage entre une description logique et une représentation interne du lexique ;

(ii) passage automatique d'une référence phonétique de base à la représentation phonologique sous forme de graphe de référence.

Pour ce faire nous travaillons à un processus similaire à celui utilisé dans le système B.B.N. qui engendre automatiquement toutes les prononciations possibles des mots en appliquant des règles d'altérations phonologiques aux formes phonétiques de base du lexique [WOOD - 76]. Un tel procédé permet d'engendrer automatiquement les graphes phonétiques des différents mots à partir de leur représentation orthographique utilisant successivement :

- un programme de traduction graphème-phonème
- une batterie de règles d'altérations phonologiques.

Il suffira alors au concepteur du lexique d'indiquer pour chaque mot, outre ses caractéristiques syntaxico-sémantiques et sa représentation orthographique, les références aux procédures d'altérations phonologiques en fin de mot (qui en français sont en nombre très limités), pour obtenir une création automatique du lexique.

Actuellement seule la gestion automatique des représentations phonologiques est opérationnelle, et la figure B.6.7. fournit un listing d'une séance de mise à jour du lexique phonétique.

Phonème	Mot clé	Code externe	Code interne
silence			1
a	plat	A	2
r	rue	R	3
ʁ	ʁent	L	4
e	blé)	5
s	sous	S	6
i	il	I	7
ɛ	lait	(8
ø	le, peu	E	9
k	cou	K	10
t	tas	T	11
p	pas	P	12
d	dans	D	13
m	ma	M	14
ɑ	an	*	15
n	nous	N	16
u	ou	W	17
v	vie	V	18
y	nu	U	19
o	on	/	20
ø	eau	O	21
ʒ	je	J	22
ɔ	bol	+	23
ɛ	lin	>	24
f	feu	F	25
b	bon	B	26
w	voir	-	27
u	huit	#	28
œ	heure	E	29
z	zéro	Z	30
j	bailler	Y	31
ʃ	chat	X	32
g	gare	G	33
œ	un	<	34

Codification interne et externe des phonèmes

Figure B.6.6.

!LEXPHO
V1502 U62P03 10/046/134
STEP 01 TERMINATED
V1502 U62P03 10/046/134
STEP 02 TERMINATED
V1502 U62P03 10/046/134
STEP 03 TERMINATED

EXECUTION F4LIB VERSION V10-05 Z0*02*34*

*
* ATTENTION : SI VOUS VENEZ DE MODIFIER LE LEXIQUE *
* SYNTAXICO-SEMANTIQUE IL FAUT AVANT *
* TOUT FAIRE UNE REORGANISATION *
* SSP REORG APPELE SOUS *
* TS PAR !REORGLX *
*

LOGICIEL DE GESTION DU LEXIQUE PHONETIQUE

VOULEZ VOUS FAIRE UNE CREATION (O,N)?
?NON

VOULEZ-VOUS MODIFIER LE LEXIQUE PHONETIQUE (O,N)?
?OUI

ETAPE DE MODIFICATION DU LEXIQUE

PHONEME, MARQUE D ELISION, SUBSTITUTION, INSERTION
SUR 1 CARACTERE SANS SEPARATEUR
EN CAS D ERREUR SUR UN CODE
SIGNEE PAR : (ERREUR CODE : X)
RETAPER LA LIGNE APRES CORRECTION

QUEL EST LE MOT DONT VOUS VOULEZ MODIFIER LA REFERENCE PHONETIQUE ?
?TEMPERATURE

FORME DE REFERENCE DU MOT : TEMPERATURE

?T*
?+ A
?P B
?i j
?R+
?A
?T D
?U
?E+ R
?

Exemple d'utilisation du logiciel de gestion
du lexique phonétique

Figure B. 6. 7.

VOULEZ VOUS FAIRE D AUTRES MODIFICATIONS (O,N)?
?NON

VOULEZ-VOUS RESTRUCTURER LE LEXIQUE (O,N)?
?OUI

L ANCIENNE VERSION EST SUR LE FICHIER MYRT2D-APHON
LA NOUVELLE VERSION EST SUR LE FICHIER MYRT2D-PHON

ESPACE PHONETIQUE UTILISE : 1871
VOULEZ-VOUS IMPRIMER LE LEXIQUE PHONETIQUE?

?OUI
VOULEZ-VOUS L ENSEMBLE?

?NON
DE QUEL MOT VOULEZ-VOUS LA REPRESENTATION?
?TEMPERATURE

MARQUE D ELISION * * *
T * P (R A T U E
A B) D
R

DE QUEL MOT VOULEZ-VOUS LA REPRESENTATION?
?EST-CE-QUE

MARQUE D ELISION * *
(S K E
F P
E

DE QUEL MOT VOULEZ-VOUS LA REPRESENTATION?
?PROCHAIN

MARQUE D ELISION * *
P R O X > E
+ < S
N

DE QUEL MOT VOULEZ-VOUS LA REPRESENTATION?
?

BYE-BYE JMP
STOP 0
IN STEP 04. COMMAND TERMINATED
!H

Exemple d'utilisation du logiciel de gestion
du lexique phonétique

Figure B. 6. 7. (suite)

6.3. INFORMATIONS ACOUSTICO-PHONÉTIQUES LIÉES A L'
ÉNONCÉ DE DÉPART

Le dernier type d'informations à prendre en compte dans un tel système de reconnaissance concerne l'énoncé de départ. On peut scinder les informations fournies après le traitement acoustico-phonétique sur la phrase orale en deux grands types :

- les informations phonétiques
- les informations prosodiques.

6.3.1. Informations phonétiques

Ces informations sont représentées par un treillis valué (cf. paragraphe A.2.4.), où les nœuds correspondent aux diverses marques de segmentation et les arcs aux segments minimum étiquetés et valués. La valuation sur les arcs est une fonction à valeur dans une partie d'ensemble (nom de phonèmes, score d'identification).

Pour les divers traitements à réaliser, ce treillis sera utilisé soit directement, soit sous sa forme discrétisée, représentée par une pseudo-chaîne de phonèmes.

6.3.2. Informations prosodiques

Nous avons défini au paragraphe B.1.1. la prosodie comme étant la ponctuation du message parlé. Son rôle dans les systèmes de reconnaissance et de compréhension de la parole, bien que

relativement minime actuellement, ne devrait cesser de croître. Des études fondamentales sont actuellement en cours sur ce point dans les diverses équipes travaillant au traitement automatique de la parole et pour notre part, nous menons aussi de telles recherches dans le cadre du projet MYRTILLE II. La structure prosodique des phrases parlées peut en effet fournir d'importantes informations en vue de la reconnaissance telles que distinction entre phrases interrogatives et énonciatives au vu de l'intonation générale de l'énoncé, marqueurs prosodiques de début et de fin de mots ou de syntagme, patrons prosodiques de mots, etc... [CRIS - 75], [MART - 75], [GRUN - 70], [CAEL - 80'] ...

Nous prévoyons l'adjonction de ces informations sous forme d'attributs associés au treillis phonétique d'entrée... Actuellement nous n'avons pas mis en œuvre de traitements liés à la prosodie dans l'étape de compréhension de phrase excepté un test particulier sur l'intonation générale de l'énoncé ; intonation montante ou non en fin de phrase, permettant de privilégier ou non les constructions interrogatives directes lors du parcours du réseau syntaxico-sémantique. L'application que nous avons choisie nous a conduits à donner par défaut la valeur correspondant à l'intonation montante (interrogative).

CONCLUSION DE LA PARTIE B

Après une première partie qui nous a permis de préciser ce qu'est actuellement la reconnaissance de la parole, et au terme de cette seconde partie consacrée à l'étude des diverses sources d'informations et de leurs stratégies d'utilisation, nous avons maintenant une vue d'ensemble des diverses informations à mettre en œuvre et des choix effectués dans le projet MYRTILLE qu'on peut résumer ainsi :

Tout d'abord nous avons distingué les traitements associés aux langages artificiels et ceux correspondant aux langages pseudo-naturels. Les premiers conduisent à des systèmes guidés par la syntaxe, et c'est dans ce cadre que s'inscrit le système MYRTILLE I [PIER - 75] ; les seconds nécessitent la mise en œuvre, et la coopération de diverses sources d'informations et c'est l'objet du système MYRTILLE II.

Ensuite, dans le cadre de l'étude de la compréhension orale de langages pseudo-naturels, nous avons rejeté la dichotomie syntaxe-sémantique au profit d'une classification s'appuyant sur :

- la définition syntaxico-sémantique des structures de la langue qui fournit les informations liées à la langue, et indépendantes de l'application mise en œuvre ;
- la définition syntaxico-sémantique des mots qui prend en compte l'ensemble des informations propre à une application donnée.

A ces deux types d'informations il nous a fallu ajouter de plus les informations acoustico-phonétiques propres à la parole.

Puis, pour chacune de ces sources d'informations, nous avons défini des structures de données particulières et bien adaptées au

traitement que nous souhaitons réaliser :

- réseaux à nœuds procéduraux
- lexique.

A chaque fois, nous nous sommes efforcés de dissocier ces données de l'ensemble des traitements nécessaires à la mise en œuvre de systèmes de compréhension, en définissant des procédures de parcours dans le cas des réseaux à nœuds procéduraux, et des procédures d'accès pour le lexique qui prennent en charge entièrement la liaison entre ces sources d'informations et le reste du système.

Ce faisant, nous avons posé les bases de système de compréhension paramétré par l'application

grâce à la grammaire dans MYRTILLE I

grâce au lexique dans MYRTILLE II.

Ayant par ailleurs présenté les diverses stratégies possibles en reconnaissance, et en compréhension de la parole, et les principaux choix et solutions retenues dans le système MYRTILLE, il ne nous reste plus maintenant qu'à aborder les problèmes de mise en œuvre et de réalisation intégrant l'ensemble de ces choix et mettant en œuvre les structures d'informations ci-dessus présentées. Ce sera l'objet de la troisième et dernière partie qui sera entièrement consacrée à ces problèmes de mise en œuvre.

PARTIE C

LES PROBLEMES DE MISE EN ŒUVRE

Chapitres

1. MYRTILLE I : UN ACQUIS RICHE D'ENSEIGNEMENTS
2. MYRTILLE II - RAPPEL DES OBJECTIFS ET PRINCIPES GENERAUX
3. LE LANGAGE TRAITÉ PAR LE SYSTEME MYRTILLE II
4. FONCTIONNEMENT GENERAL DU SYSTEME
5. LE POINT SUR LA REALISATION EN COURS.

INTRODUCTION A LA PARTIE C

Après avoir étudié au cours de la partie B les diverses sources d'informations à prendre en compte dans un système de reconnaissance et de compréhension de la parole continue, nous allons consacrer cette troisième et dernière partie aux problèmes de mise en œuvre de ces différents types d'informations, et de réalisation de systèmes de compréhension de phrases. L'objectif principal de cette partie sera donc double :

- (i) présenter les réalisations que nous avons construites et pour lesquelles, sans aller jusqu'au niveau de programmation, nous détaillerons les principes généraux et schéma de fonctionnement des systèmes ainsi obtenus ;
- (ii) discuter les résultats actuels de façon à dégager les enseignements, et les apports mais aussi les limites de nos études.

L'essentiel de cette partie de mise en œuvre sera consacré au système MYRTILLE II de compréhension de phrases de langage pseudo-naturels. Néanmoins, nous consacrerons le premier chapitre au système MYRTILLE I qui fut l'objet de nos premières recherches sur la compréhension de phrases dans le cadre de langages artificiels, et dont les résultats nous conduisent naturellement vers l'étude d'un système adapté aux langages pseudo-naturels : le système MYRTILLE II.

Ensuite, après une présentation des objectifs, de la stratégie et de l'organisation générale du système MYRTILLE II (chapitre C.2.), nous présenterons au chapitre 3 la structure et le vocabulaire du langage traité et, au chapitre 4 le fonctionnement général du système. Nous terminerons enfin cette partie consacrée à la mise en œuvre en faisant

le point sur la réalisation en cours à travers les résultats obtenus, leurs apports mais aussi leurs limites, et concluerons en présentant les améliorations en cours d'étude et prévues pour le système MYRTILLE II.

CHAPITRE C.1

MYRTILLE I : UN ACQUIS RICHE

D'ENSEIGNEMENTS

1.1. RAPPEL SUR L'ORGANISATION GENERALE DE
MYRTILLE I

1.1.1. Objectifs de départ

Lorsqu'en 1974 nous avons commencé nos études sur la reconnaissance de la parole la plupart des systèmes de reconnaissance existants étaient encore des systèmes de traitement par mots, et l'utilisation des informations contextuelles, restreinte aux informations syntagmatiques, ne faisaient que commencer. En effet, comme nous l'avons vu au chapitre A.2., mis à part les premières études de VICENS aux U.S.A. et de TUBACH en FRANCE, il fallut attendre les années 73 et 74 pour voir se généraliser les études sur les contraintes contextuelles et celles sur la reconnaissance de la parole continue.

Dès 1974, la ligne directrice de nos recherches était fixée : étudier les apports possibles de l'utilisation d'informations contextuelles en reconnaissance et compréhension de la parole continue. Notre premier travail fut d'effectuer cette étude à travers la mise en œuvre d'un système de reconnaissance de phrases d'un langage artificiel : le système MYRTILLE I [PIER - 75]. La réalisation de ce système fut guidée par divers objectifs dont voici les principaux :

- (i) fortement influencé par des études antérieures sur la théorie des langages et la compilation, le point de départ de ces recherches fut diverses considérations sur l'importance du niveau syntaxique en reconnaissance. Notre premier objectif a donc été de créer un système descendant où l'analyse syntaxique est considérée comme guide du processus de reconnaissance. Son rôle principal est d'émettre sur les mots à reconnaître compte tenu du contexte syntaxique déjà analysé.
- (ii) Le second objectif, conséquence directe du premier, est de ne considérer la reconnaissance phonétique des mots que comme un moyen de vérifier les hypothèses émises par le niveau syntaxique. Cela nous a conduits à mettre en œuvre un processus général de type "Hypothèses - Test" analogue à celui utilisé dans le système HEARSAY. De plus, nous avons considéré que ce vérificateur devait permettre d'obtenir une certaine liberté par rapport à la syntaxe du langage, spécialement en cas d'adjonction ou de suppression d'un mot, si du moins ce dernier n'est pas sémantiquement caractéristique.
- (iii) Nous avons voulu d'autre part créer un système indépendant d'un langage ou d'une application spécifique ; cela nous a amenés, à considérer la définition du langage (lexique, syntaxe et sémantique comme une donnée ou un paramètre du système réalisé. L'application mise en œuvre (automatisation d'un standard téléphonique [HATO - 75]) n'a donc pour but que de servir de support de test de la validité de cette démarche.
- (iv) Enfin, afin de tenir compte du contexte pragmatique de l'application, nous avons considéré de plus qu'il était nécessaire d'ajouter à l'ensemble une procédure de dialogue qui a la charge de

valider en dernier recours les résultats fournis par la reconnaissance, de lever les ambiguïtés ou de corriger certaines erreurs. Ce dialogue est en fait un début de traitement sémantique : il s'avère nécessaire, ne serait-ce que par sécurité, dans tous les cas de communication orale (cf. chapitre A.1.).

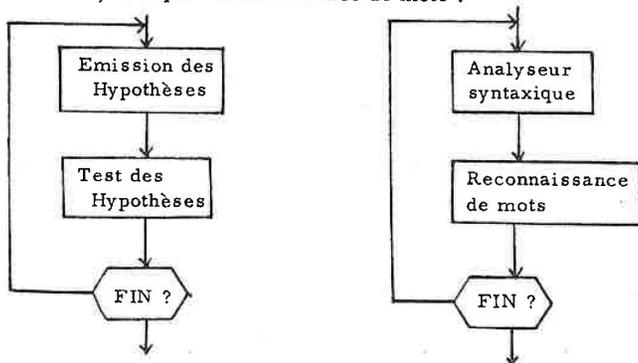
1.1.2. Organisation générale

Compte tenu de ces objectifs, on peut distinguer différents composants dans le système MYRTILLE I :

- a) les données
 - b) le processus de reconnaissance
 - c) la procédure de dialogue.
- a) Dans les données on distinguera :
- (i) la définition du langage, support de l'application avec :
 - . sa définition syntaxique sous forme de C-grammaire : nous avons vu au chapitre 3.2. qu'une telle représentation était bien adaptée aux langages artificiels ;
 - . un ensemble d'informations sémantiques très limitées : il ne comporte que la liste des mots sémantiquement caractéristiques pour l'application traitée ;
 - (ii) le lexique phonétique qui contient l'ensemble des graphes phonétiques de référence des divers mots du langage sous la forme présentée au paragraphe B.6.2. ;
 - (iii) la représentation acoustico-phonétique de l'énoncé à traiter ; résultat du traitement acoustico-phonétique, cette représen-

tation est fournie sous forme d'une pseudo-chaîne de phonèmes, forme discrétisée du treillis de phonèmes obtenu.

b) Le processus de reconnaissance de type hypothèse-Test est centré sur l'analyseur syntaxique. La figure C.1.1. schématise la correspondance entre les processus Hypothèse-Test et analyseur syntaxique-reconnaissance de mots :



Correspondance entre le processus Hypothèse-Test et Analyseur syntaxique - Reconnaissance de mot

Figure C.1.1.

c) La procédure de dialogue dont le résultat peut être :

- soit le déclenchement de l'action correspondant à la demande.
- soit une demande de confirmation
- soit une demande de répétition de l'énoncé de départ.

Cette procédure, très liée à l'application mise en œuvre, devra être entièrement redéfinie pour chaque nouvelle application.

1.1.3. Fonctionnement du système

La figure C.1.2. donne un schéma détaillé du système MYRTILLE I; les principaux modules sont :

- l'analyseur syntaxique
- l'analyseur lexicographique ou module de reconnaissance de mots
- la procédure de dialogue.

Nous ne donnerons ici que quelques rappels sur ces trois modules dont on pourra trouver une présentation complète dans [PIER - 75] .

a) Analyseur syntaxique

Nous avons vu au paragraphe B.2.2. les principes généraux et caractéristiques propres à la parole pour les analyseurs syntaxiques, qu'ils soient descendants ou ascendants. L'idée originale des algorithmes mis en œuvre dans le système MYRTILLE I consiste à ne traiter l'indéterminisme qu'au niveau de l'analyseur lexicographique. Il s'agit en fait de traiter le choix entre différentes règles de la grammaire par un choix entre différents terminaux possibles, effectué par l'analyseur lexicographique.

Dans le cas de l'analyseur descendant, on peut donc réécrire la procédure indéterministe analyse A du paragraphe B.2.2.2. de la façon suivante :

- au départ CHOIX = Faux
- pour $A \in N$
- début
- si CHOIX = Faux alors début

déterminer l'ensemble des couples (a, k) tel que
 $(a \in T, A_k = B_{k1} \dots B_{kq_k}, A = A_k, a \text{ initial de } A_k)$
 choix (de (c, i) par l'analyseur lexicographique)
 CHOIX = Vrai
 analyse B_{i1} ; analyse B_{i2} ; ... ; analyse B_{iq_i} ;
 fin
 sinon début
 déterminer la règle $A_k ::= B_{k1} \dots B_{kq_k}$ telle que c
 soit initial de B_{k1}
 analyse B_{k1} ; analyse B_{k2} ; ... ; analyse B_{kq_k} ;
 fin

fin
 - pour $A \in T$
 début
 sortir A
 CHOIX = Faux
 fin

Un tel algorithme revient donc à faire engendrer par l'analyseur syntaxique diverses hypothèses qui sont ensuite reprises par l'analyseur lexicographique qui fournit comme point de reprise à l'analyseur syntaxique l'hypothèse validée au mieux par ce dernier.

Divers types d'analyseur syntaxique ont été testés dans le système MYRTILLE I :

- un analyseur descendant gauche droite [PIER - 75]
- un analyseur ascendant gauche droite [MARI - 79]
- un analyseur mixte du milieu vers les côtés [MOHR - 76] [MARI - 79] .

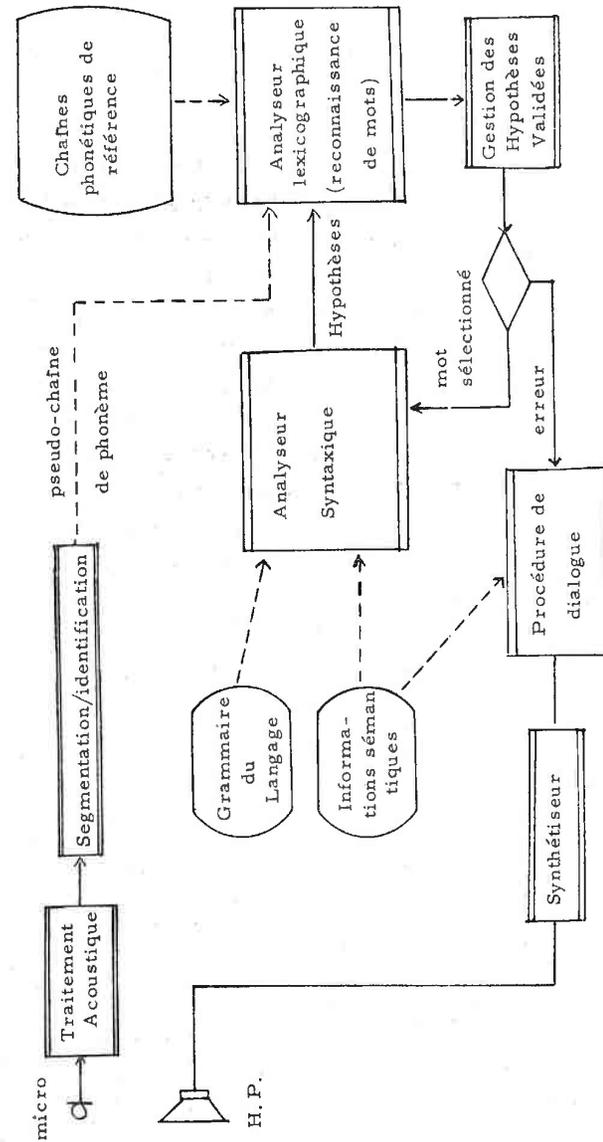


Schéma de principe du système MYRTILLE I

Figure C.1.2.

b) Analyseur lexicographique

Le but de l'analyseur lexicographique est de tester chaque couple (a, k) possible ; les résultats obtenus sont rangés dans la pile des hypothèses validées suivant un ordre croissant des scores de reconnaissance. Le résultat pris en compte pour la poursuite de l'analyse syntaxique correspond alors au sommet de pile. Si la reconnaissance ne conduit à la validation d'aucun couple (a, k), le résultat (sommet de pile) correspond alors à une hypothèse précédemment placée sur la pile et sa prise en compte provoque un retour en arrière dans l'analyse syntaxique ; il faut donc adjoindre dans cette pile le contexte d'analyse syntaxique correspondant à chaque hypothèse validée. Dans le cas où cette pile devient vide, cela indique l'impossibilité de retours en arrière et provoque une erreur pour la reconnaissance de la phrase traitée.

On distingue donc trois étapes dans le fonctionnement de l'analyseur lexicographique :

- (1) la reconnaissance de tous les terminaux émis comme hypothèses ; cela se fait grâce à un module de reconnaissance de mots qui compare le début de la sous-chaîne phonétique non encore traitée et les représentations lexicales des différents terminaux ;
- (2) le tri des terminaux reconnus et de leur contexte en fonction du score de reconnaissance S_i fourni pour chacun par le module de reconnaissance de mots ;
- (3) le rangement de ces résultats, triés par ordre croissant des scores S_i , sur la pile des hypothèses validées et la sélection du sommet de pile comme point de reprise de l'analyseur syntaxique.

De plus, nous y avons ajouté une heuristique particulière permettant de prendre quelques libertés par rapport à la grammaire du langage. En effet, lors de la vérification des hypothèses, l'analyseur lexicographique décide s'il faut ou non poursuivre la reconnaissance de la phrase, compte tenu du contexte gauche déjà reconnu. Dans ce but, le module de reconnaissance de mots recherche si la partie de la chaîne non encore explorée commence par la représentation d'un des terminaux émis comme hypothèses. Le succès d'une telle opération nécessite, en donnée, une phrase syntaxiquement correcte et bien prononcée. Ce n'est hélas pas toujours le cas lors d'une conversation orale, à plus forte raison si celle-ci a lieu dans un langage spécialisé à syntaxe précise. Nous avons donc décidé de généraliser ce vérificateur d'hypothèses afin d'acquiescer une certaine liberté par rapport à la grammaire. Pour ce faire, nous avons tenu compte de trois types d'erreurs possibles :

- insertion d'un mot parasite
- substitution d'un mot non caractéristique au niveau sémantique
- élision d'un mot non caractéristique au niveau sémantique.

Pour cela, l'analyseur lexicographique prend en compte les hypothèses H_i émises par le niveau syntaxique et tente de les valider. Si l'une au moins des hypothèses est validée par la reconnaissance phonétique, le retour se fait aussitôt à l'analyseur syntaxique. Dans le cas contraire, l'étage lexicographique émet de nouvelles hypothèses compte tenu des remarques ci-dessus et confirme ou infirme celles-ci avant de déterminer le point de reprise de l'analyse syntaxique.

L'ensemble des nouvelles hypothèses, NH, contient alors :

- (i) les anciennes hypothèses H1, pour le cas où l'échec de la reconnaissance a été provoqué par l'insertion d'un mot parasite ;
- (ii) les hypothèses formées des prochains terminaux à reconnaître, dans le cas d'élosion ou de substitution d'un mot, ainsi que leur contexte d'analyse syntaxique. Notons H2 cet ensemble ; il est donc composé des terminaux contexte droit des éléments de H1 non caractéristiques au niveau sémantique obtenu après progression d'un pas de l'analyse syntaxique.

La figure C.1.3. schématise cet étage d'analyse lexicographique.

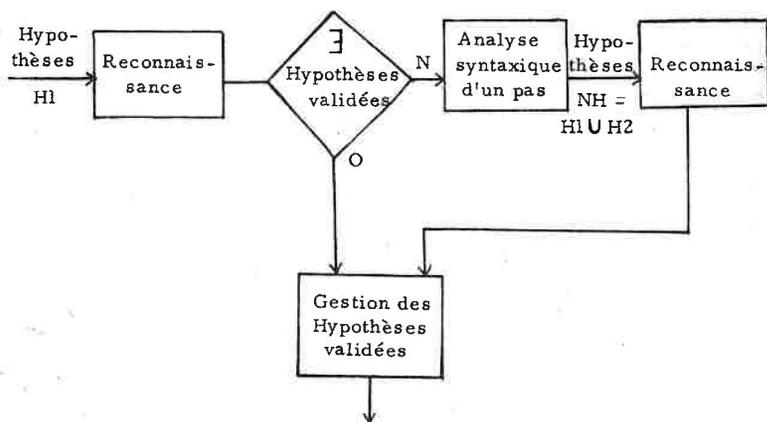


Schéma de l'analyseur lexicographique de MYRTILLE I

Figure C.1.3.

c) La procédure de dialogue

Les résultats fournis par le système après une tentative de reconnaissance d'une phrase peuvent être de deux types : échec ou réussite

1. L'échec peut correspondre à trois erreurs différentes :
 - (i) au cours de la reconnaissance et après traitement de l'analyseur lexicographique, aucune hypothèse émise par le niveau syntaxique n'est validée ;
 - (ii) l'analyse syntaxique détecte la fin de la reconnaissance avant que toute la chaîne d'entrée ne soit traitée ;
 - (iii) la chaîne d'entrée est reconnue entièrement mais elle est syntaxiquement inachevée.
2. En cas de réussite, il nous faut distinguer les phrases dont la reconnaissance est certaine et celles qui comportent une ou plusieurs causes d'ambiguïté. On peut distinguer trois grandes causes d'ambiguïté pour une phrase reconnue :
 - (i) un taux de reconnaissance SC trop faible ; il indique si la reconnaissance a été stricte ou au contraire très large ;
 - (ii) un recours aux hypothèses supplémentaires émises par l'analyseur lexicographique ; on ne peut alors qu'émettre des hypothèses sur le sens du message sans pour autant avoir de certitude ;
 - (iii) l'abandon de certains chemins possibles au cours de l'analyse syntaxique. Le système, tel que nous l'avons développé, travaille en se fondant à chaque instant sur le contexte gauche de la phrase ayant le plus fort taux de reconnaissance. Il parcourt ainsi le chemin le plus probable en laissant momentanément de côté d'autres possibilités. Si, à la fin de la reconnaissance, certains chemins, n'ayant pas conduit à un échec, n'ont pas été entièrement parcourus, on ne peut pas dire que la reconnaissance soit certaine mais simplement qu'elle est la plus probable.

Avant de pouvoir exploiter les résultats fournis par la reconnaissance, ce qui correspond le plus souvent à provoquer l'action correspondant à la demande orale de départ, il faut donc passer par un processus capable de corriger les erreurs et de lever les ambiguïtés. Pour notre part, nous pensons qu'une procédure de dialogue est un des moyens qui peut permettre, par le jeu des questions et des réponses, de récupérer certaines erreurs ou de lever les ambiguïtés.

1.2. RESULTATS ET ENSEIGNEMENTS DE CETTE EXPERIENCE

1.2.1. Résultats obtenus

Actuellement, deux versions du système MYRTILLE I sont opérationnelles :

- l'une sur l'IRIS 80 de l'IUCAL
- l'autre sur MITRA 125 C.R.I.N., cette dernière contrairement à la version précédente possède des sorties vocales.

Les données en entrée sont formées de chaînes phonétiques tenant compte des performances du système acoustico-phonétique (cf. paragraphe A.2.4.) et les deux versions utilisent le même langage d'application : langage d'interrogation d'un standard téléphonique.

L'annexe 1 regroupe quelques résultats obtenus par le système MYRTILLE I ; on y trouve successivement :

- (i) la grammaire utilisée pour décrire le langage de communication avec un standard téléphonique ;

- (ii) un listing obtenu lors de Tests du système MYRTILLE I. Sur ce listing, les phrases précédées de " >>> COR : " correspondent au texte fourni à la machine en même temps que la donnée représentant la chaîne phonémique correspondante (ce texte ne nous sert qu'à présenter des résultats plus clairs ; il n'intervient en aucune manière dans la reconnaissance). Les autres phrases indiquent les réponses fournies par le système. Ces résultats permettent, de plus, de voir les diverses possibilités offertes par la procédure de dialogue mise en œuvre pour cette application ;
- (iii) un exemple de résultat fourni par la version conversationnelle de MYRTILLE I : on y voit les chaînes de phonèmes entrées en données et le dialogue engagé par le système.

Il est difficile de chiffrer exactement les performances de ce système, car nous n'avons pas effectué de tests systématiques. Néanmoins on peut noter que lors des divers tests :

- 88 % des phrases furent bien comprises avec ou sans dialogue
- 7 % des phrases furent rejetées pour cause de syntaxe incorrecte
- 5 % des phrases furent mal interprétées ou mal reconnues.

Quant au temps de traitement utilisé par le système MYRTILLE I, il est inférieure à 0,5 seconde pour une communication nécessitant la reconnaissance de deux phrases de 3 à 12 mots (cf. temps de calcul indiqué sur le listing de l'annexe 1).

1.2.2. Points essentiels validés par le système MYRTILLE I

Parmi les idées validées par le système MYRTILLE I on peut noter quelques points essentiels qui serviront de départ

aux études sur le système MYRTILLE II; ce sont :

- (i) importance et rôle des informations contextuelles dans un processus de reconnaissance de type Hypothèse-Test. Dans le système MYRTILLE I ces informations contextuelles sont essentiellement syntaxiques et, quelque soit le type d'analyseur syntaxique mis en œuvre, elles permettent de restreindre fortement le nombre de mots à reconnaître à chaque pas [HATO - 80] ;
- (ii) apport des stratégies heuristiques de recherche de solution optimale. Nous avons présenté au paragraphe B.2.4. les diverses stratégies possibles ; dans le système MYRTILLE I nous avons opté pour une stratégie de type "meilleur d'abord" améliorée par la prise en compte de score de rejet. Les résultats obtenus par MYRTILLE I valident pleinement cette approche qui conduit à n'explorer qu'un sous espace très restreint de l'ensemble des solutions [QUIN - 79] et permet d'obtenir des temps d'exécution compatible avec un traitement temps réel. Même si cette stratégie n'est pas la plus fiable (on n'est pas du tout sûr d'obtenir la solution optimale) sa simplicité de mise en œuvre et la rapidité de traitement ainsi obtenue nous ont conduits à la retenir dans un premier temps pour le système MYRTILLE II ;
- (iii) importance du dialogue. Le système MYRTILLE I fut l'un des premiers systèmes de reconnaissance de la parole à intégrer une procédure de dialogue. Le rôle et l'importance d'une telle procédure ne sont plus discutés maintenant et la figure C.1.4. schématise l'organisation générale d'un système complet

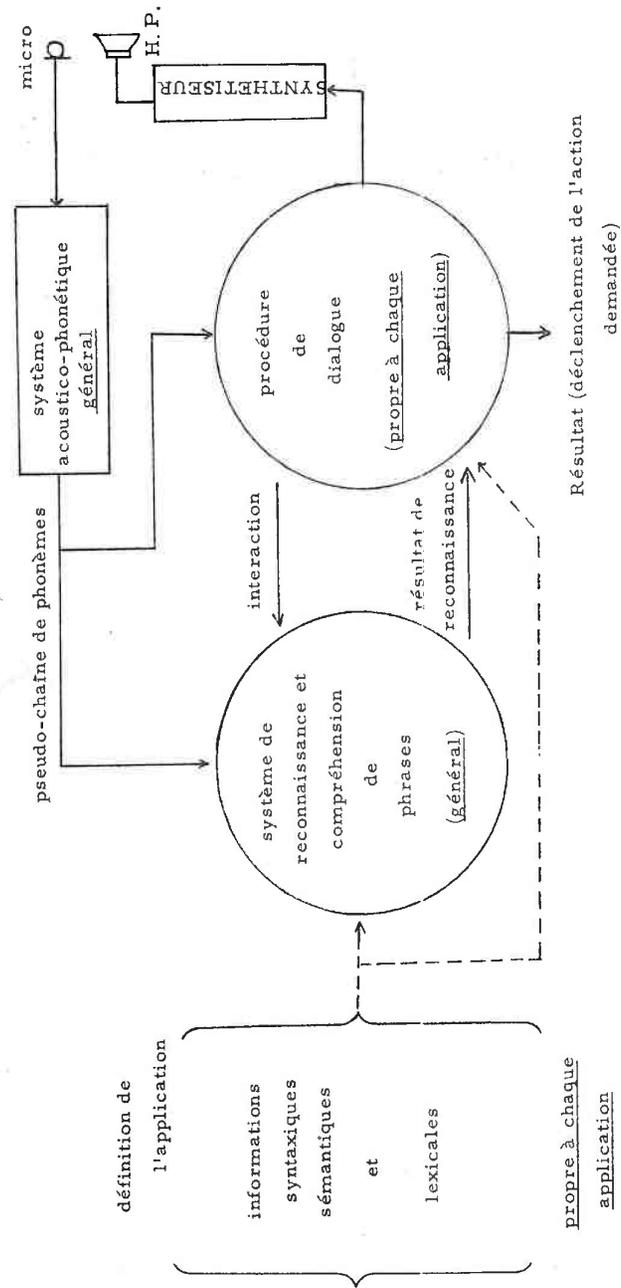


Schéma général d'un système de compréhension

Figure C.1.4.

de compréhension de la parole qui englobe

- un système de reconnaissance et compréhension de phrases paramétré par le langage utilisé,
- une procédure de dialogue propre à chaque application.

1.3. POSSIBILITES ET LIMITES D'UN TEL SYSTEME

1.3.1. Applications possibles

Un tel système est bien adapté aux langages artificiels à syntaxe très contrainte et dont le facteur de branchement est inférieur à quelques dizaines. Le facteur de branchement constitue à notre avis le paramètre décisif bien plus que la taille du vocabulaire utilisé ; il correspond en fait à la taille maximale du sous-vocabulaire contexte droit d'une partie de phrase déjà analysée.

De tels langages ouvrent des possibilités d'automatisation pour de nombreuses applications parmi lesquelles on peut noter :

- contrôles de processus, de qualité,
- commandes de processus, de machines-outils
- bureautique
- etc...

En fait on peut caractériser toutes ces applications par le langage de communication entre l'homme et la machine et dire qu'il est possible, avec un tel système, d'introduire des entrées vocales à toutes les applications utilisant en entrée un langage spécialisé à syntaxe précise.

Nous pensons que les premières applications industrielles utilisant en entrée la parole continue seront de ce type. Les principaux problèmes de mise en œuvre de tels systèmes sont maintenant résolus et les chercheurs qui travaillent en ce domaine en sont maintenant à un stade de pré-développement qui, faute de moyens (humains, matériels et financiers) et de partenaires décidés (états ou industriels) ne peut se concrétiser actuellement par la réalisation de maquettes de développement. A l'heure où l'informatique "domestique" (micro-informatique, bureautique etc...) va prendre de plus en plus de place, il serait dommage que, pour des raisons de moyens, les entrées vocales ne puissent occuper la place qui leur revient !

1.3.2. Limites de tels systèmes

Il serait pourtant faux de croire que ces systèmes de traitement de langages artificiels résolvent tous les problèmes, car il existe toute une famille d'applications qui ne peuvent être prises en charge par de tels systèmes : ce sont les applications "grand public" de type centre de renseignements ou consultation de bases de données, et dont l'objectif est de faire de chaque poste téléphonique un terminal d'interrogation de la machine. La caractéristique essentielle de ces applications, outre le fait qu'elles nécessitent de prendre en compte de nombreux locuteurs (nous n'aborderons pas cet aspect dans ce travail) est qu'elles utilisent en général des langages sous-ensemble très vaste des langues naturelles : les langages pseudo-naturels.

Le rôle des traitements sémantiques et pragmatiques est alors fondamental car la syntaxe de tels langages est en général très large et pas toujours strictement respectée. Les modèles classiques

d'analyse syntaxique sont alors inopérants et il est nécessaire de mettre en œuvre des traitements de type Intelligence Artificielle.

Nous avons vu dans la partie B comment représenter les diverses informations nécessaires au traitement de tels langages ; nous allons maintenant aborder la mise en œuvre d'un système de ce type : le système MYRTILLE II.

CHAPITRE C.2

MYRTILLE II - RAPPEL DES OBJECTIFS

ET PRINCIPES GENERAUX

Afin de permettre une meilleure compréhension de la mise en œuvre et du fonctionnement du système MYRTILLE II, il nous a paru nécessaire de répreciser ici les objectifs et principes généraux qui sont à la base de la spécification des traitements mis en œuvre dans ce système, et qui furent pour la plupart présentés et discutés au fur et à mesure dans la partie B.

2.1. OBJECTIFS

L'objectif du système MYRTILLE II est de reconnaître et de comprendre des phrases d'un langage pseudo-naturel dont les caractéristiques essentielles sont les suivantes :

- (i) une syntaxe décrivant un sous ensemble assez vaste du français parlé ; le chapitre C. 3. sera entièrement consacré à la présentation de ce langage. En effet les difficultés rencontrées au cours de l'élaboration du processus de compréhension sont dues essentiellement à la forme du langage traité que nous avons défini volontairement de façon très large, afin tout d'abord d'éviter au maximum les contraintes sur la formation des phrases, mais aussi d'obtenir une structure du langage stable pour un ensemble d'applications très variées de type "centre de renseignements" ;

(ii) un vocabulaire de plus de 350 mots sans compter les diverses occurrences provenant d'un même mot : conjugaison des verbes, pluriels des noms et des adjectifs, féminin des adjectifs ;

(iii) une sémantique et pragmatique restreinte à un univers particulier : l'application - Test que nous avons choisie correspond à un centre de renseignements météorologiques.

Le résultat souhaité correspond à une représentation syntaxico-sémantique de l'énoncé oral traité. Cette représentation sera la plus précise possible (cf. paragraphe B.6.1.) ; néanmoins nous accepterons des résultats incomplets, spécialement en cas d'échec de la reconnaissance sur une partie du signal de départ. Dans ce sens, nous nous situons plus dans une optique de compréhension que de reconnaissance stricte. Nous avons défini le résultat de la compréhension de telle manière qu'il fournisse toutes les informations nécessaires (syntaxiques, sémantiques et lexicales) pour permettre tant la synthèse de l'énoncé reconnu [SAMA - 81] que le traitement interprétatif permettant, grâce à une procédure de dialogue, de déclencher l'action ou fournir la réponse correspondant à l'énoncé reconnu.

Quant aux données prises en compte par le système, elles sont essentiellement de deux types :

(i) la définition du langage comportant :

- une définition des structures de la langue grâce à un réseau syntaxico-sémantique à nœuds procéduraux (chapitre B.4.) ;
- une définition syntaxico-sémantique des mots du lexique (chapitre B.5.) ;
- une définition phonétique et phonologique des mots (chapitre B.6

(ii) une représentation acoustico-phonétique de l'énoncé à traiter regroupant :

- un treillis phonétique
- diverses informations prosodiques (chapitre B.6.).

Enfin rappelons que, comme le système MYRTILLE I, le système MYRTILLE II est un système paramétré par l'application grâce à la définition du lexique.

2.2. Principe de base

Le principe de base du système MYRTILLE II repose sur un processus d'hypothèses - Test - Validation généralisé à tous les niveaux. L'émission des hypothèses se fait suivant différents critères correspondant chacun à la mise en œuvre d'une source d'informations spécifiques : structure du langage, définition syntaxico-sémantique des mots, phonologie etc... La prise en compte de ces diverses sources d'informations doit pouvoir se faire indépendamment les unes des autres. Nous avons voulu faire du système MYRTILLE II un outil de recherche permettant de tester l'apport des divers types d'informations en supprimant dans un premier temps tout effort d'optimisation. Dans ce but, nous avons volontairement dissocié :

- (i) le choix de la stratégie d'utilisation des diverses sources d'informations et la gestion des hypothèses,
- (ii) l'émission d'hypothèses sur un critère donné.

L'émission d'hypothèses sur un critère donné correspond donc pour nous à la sélection d'un sous-ensemble d'hypothèses H_S à partir d'un ensemble d'hypothèses de départ H_D compte tenu des propriétés P_i décrivant la source d'informations S . Les sources d'informations que

que nous avons décrites dans la partie B correspondent en effet, à la représentation de propriétés élémentaires p_i sur (entre) diverses entités lexicales. Si nous notons $P_S(m, c)$ les propriétés, reliant un mot m et le contexte d'analyse C , spécifiques à une sources d'informations S , on peut spécifier le module de prise en compte des informations d'une source S lors de l'émission des hypothèses par une fonction

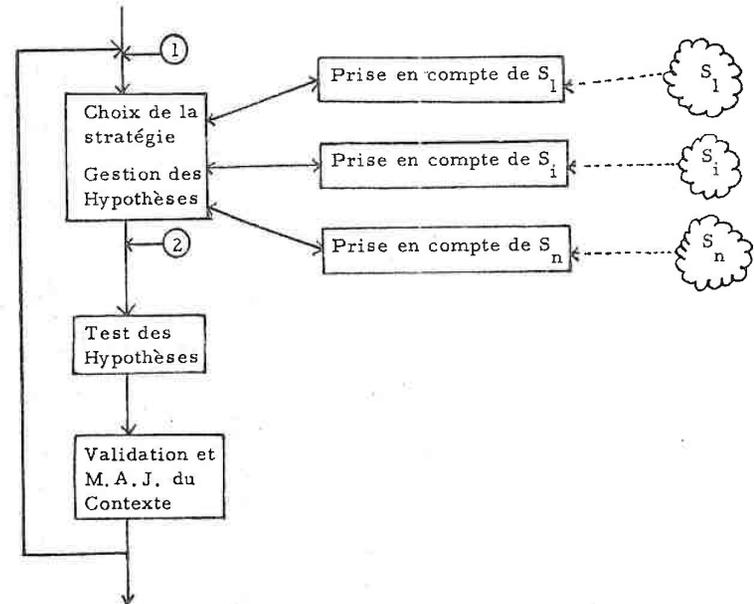
$$f_s : \begin{cases} H_D \rightarrow H_S \text{ telle que} \\ H_D, H_S : \text{ensembles d'hypothèses } h \\ H_S \subset H_D \\ \forall h \in H_S \iff h \in H_D \text{ et } P_S(h, C) \\ C : \text{contexte d'analyse de la phrase} \\ P_S(h, c) \text{ ensemble de propriétés incluses dans la} \\ \text{source d'informations } S. \end{cases}$$

Une hypothèse h sera toujours du type entité lexicale représenté par un identifiant de la forme "T SS NNN" (cf. paragraphe B. 5. 2. 2.) permettant d'accéder :

- . soit à l'ensemble des mots du lexique : "0 00 000"
- . soit à un type de terminaux du lexique : exemple "3 00 000" ensemble des noms du lexique
- . soit à une sous-classe d'un type de terminaux du lexique : exemple "4 02 000" ensemble des adjectifs de la sous-classe 0.
- . soit à une occurrence d'une sous-classe d'un type de terminaux du lexique : exemple "4 05 003" occurrence 3 de la sous-classe 05 des adjectifs.

Pour représenter les ensembles d'hypothèses H_D et H_S nous avons choisi une représentation sous forme de listes chaînées hiérarchisées, calquées sur la représentation du lexique qui, compte tenu des opérations que nous souhaitons effectuer sur ces ensembles d'hypothèses : parcours, recherche d'un élément, fusion et intersection de deux ensembles, semble la structure de donnée la plus optimale [STOC - 80] .

La figure C. 2. 1. schématise l'organisation logique ainsi obtenue pour le système MYRTILLE II.

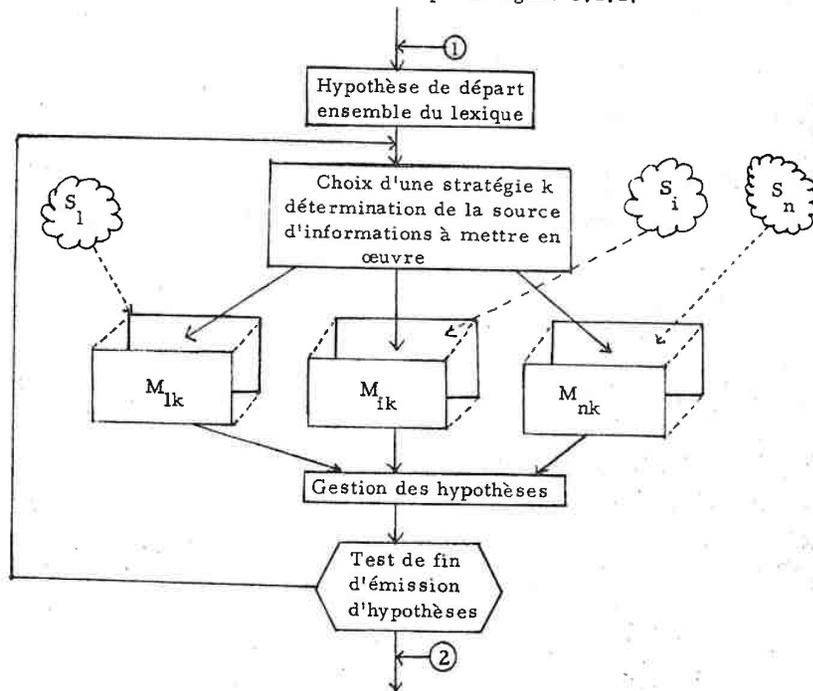


Organisation logique de MYRTILLE II

Figure C. 2. 1.

2.3. ARCHITECTURE MISE EN ŒUVRE

Nous avons vu au paragraphe B.2.3. que diverses architectures sont possibles pour la prise en compte des sources d'informations S_i allant du traitement en parallèle au traitement en série et que les choix que nous avons faits pour le système MYRTILLE II nous ont conduits à une architecture pseudo-parallèle. De plus, compte tenu de la stratégie choisie les modules d'émission d'hypothèses à partir d'une source d'informations S_i peuvent être différents. Cela nous conduit à une organisation pratique de la partie émission des hypothèses quelque peu différente et dont le schéma est fourni par la figure C.2.2.



Organisation pratique de l'émission des hypothèses

Figure C.2.2.

2.4. RAPPEL DES AUTRES PRINCIPAUX CHOIX DE REALISATION

Parmi les autres choix de réalisation qui ont présidé à la mise en œuvre du système MYRTILLE II, et que nous avons présenté dans la partie B, les plus importants sont :

- (i) la classification des diverses informations prises en compte en trois grands types :
 - la définition des structures syntaxico-sémantiques du langage sous forme de réseaux à nœuds procéduraux (chapitre B.4.). Le module de prise en compte de ces informations lors de l'émission des hypothèses sera appelé PARSER par analogie avec l'analyse syntaxique ;
 - la définition syntaxico-sémantique des mots du lexique (chapitre B.5.) dont le module associé sera appelé SEMAN ;
 - les informations prosodiques, phonétiques et phonémiques qui seront prises en compte par un module appelé PROPHON ;
- (ii) le sens de traitement de l'énoncé oral de départ : dans la première version il sera uniquement de type gauche-droite ; nous étudions actuellement une version travaillant du milieu vers les côtés ;
- (iii) la stratégie de recherche de la solution optimale : dans la version actuelle, le système utilise une stratégie de type meilleur d'abord et nous travaillons à une version fondée sur une stratégie de recherche en faisceaux ; dans tous les cas, nous verrons qu'une heuristique particulière permet de prendre en compte des sortes d'îlots de confiance appelés ici "éléments principaux" ;

- (iv) l'importance du dialogue qui sera pris en charge dans MYRTILLE II par une procédure particulière propre à chaque application ;
- (v) notons enfin que, pour des raisons de portabilité du logiciel ainsi défini nous avons choisi comme langage de programmation le FORTRAN IV de Base qui, bien qu'il ne soit pas le langage idéal en programmation, est assez bien adapté à ce type de traitement.

La figure C.2.3. donne le schéma général du système MYRTILLE II.

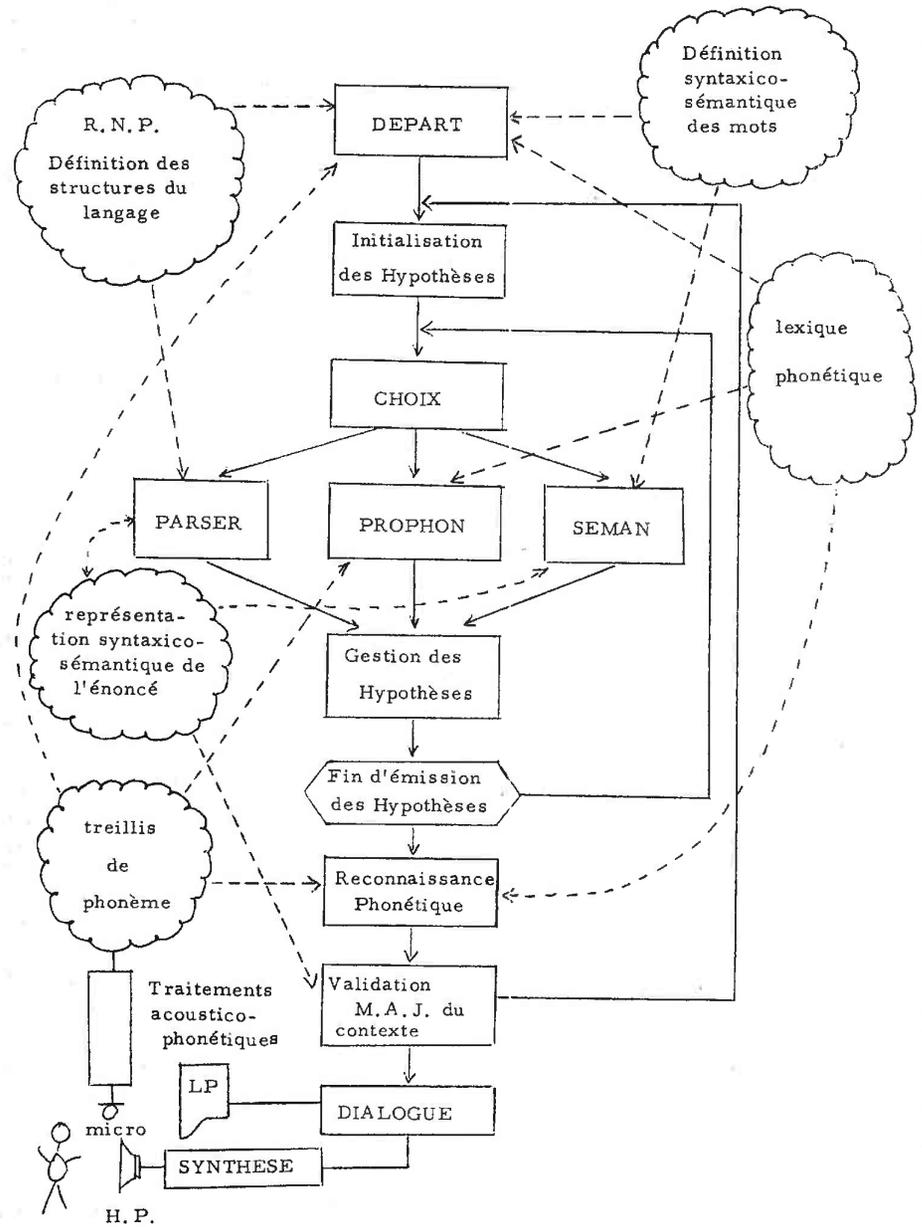


Schéma général du système MYRTILLE II

Figure C.2.3.

CHAPITRE C.3

LE LANGAGE TRAITÉ PAR LE SYSTÈME

MYRTILLE II

3.1. INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à une présentation informelle des structures du langage définies dans le système MYRTILLE II par des réseaux syntaxico-sémantiques à nœuds procéduraux que nous avons regroupés en annexe 2. Nous avons tenté de définir ce langage de façon à ce qu'il rende compte de manière cohérente et simple des structures fondamentales d'un sous-ensemble assez large du Français parlé contemporain. Notre objectif étant l'automatisation d'applications de type centre de renseignements, nous avons apporté un soin particulier à la définition des interrogatives qui décrivent une large majorité des énoncés utilisés dans ce cadre. Pour ce travail de définition du langage, nous nous sommes appuyés sur diverses études linguistiques, parmi lesquelles on peut noter : la grammaire de base du français de J. DUBOIS [DUBO - 76], le précis de grammaire française de M. GREVISSE [GREVIS], ainsi que [CARB - 73] .

Rappelons que la définition des structures de ce langage, sous-ensemble assez vaste du français parlé, peut être considérée comme indépendante de l'application ; néanmoins, par souci didactique, nous fournissons le plus souvent des exemples tirés de l'application - test mise en œuvre, à savoir l'automatisation d'un centre de renseignements météorologiques.

Dans la suite, nous allons présenter les diverses composantes

de ce langage et indiquerons pour chacune d'elles les principales restrictions apportées au français parlé. Au préalable voyons dès maintenant les quelques restrictions générales que nous avons faites, à savoir :

- (i) suppression des coordinations qui, en français, peuvent relier n'importe quel type de mots ou de syntaxe et qui entraînent un trop grand indéterminisme au niveau des procédures d'analyse de la structure du langage. Néanmoins, afin de rendre évolutive cette définition du langage, nous avons prévu dans les réseaux à nœuds procéduraux la possibilité d'adjonction de telles coordinations entre les noms, les adjectifs, les verbes et les divers syntagmes constitutifs des phrases ;
- (ii) très forte restriction sur l'emploi des références pronominales. Nous mettons en œuvre une résolution très schématique des références pronominales ; ainsi pour les pronoms personnels, nous considérerons que :
 - la 1ère personne renvoie au locuteur
 - la 2ème personne renvoie au système
 - la 3ème personne sera interprétée comme pronom personnel indéfini ;
- (iii) restriction de l'emploi des subordinées circonstancielles seulement en début ou fin d'énoncé. Notons à ce niveau que la version actuellement opérationnelle ne prend pas en compte de telles subordinées pour les traitements sémantiques ;
- (iv) suppression d'un certain nombre de clauses de style telles que :
 - les incises
 - les insistances
 - les propositions nominales

- les phrases exclamatives
- etc...

Nous espérons pouvoir traiter de telles constructions dans un proche avenir grâce à l'apport des informations prosodiques.

3.2. STRUCTURE DES ENONCES TRAITES PAR LE SYSTEME MYRTILLE II

(cf. annexe 2 : réseaux, ENON, INDI et INTER).

Les énoncés acceptés dans le système MYRTILLE II se composent

- d'une ou deux subordinées circonstancielles placées en début et/ou en fin d'énoncé
- d'un corps d'énoncé correspondant à la proposition principale.

3.2.1. Le corps de l'énoncé

Il peut être de trois types :

- . énonciatif
- . interrogative directe
- . interrogative indirecte

et peut avoir une forme affirmative ou négative.

→ a) Les énonciatives

ce sont des propositions indépendantes (PR) dont nous détaillerons la forme dans le prochain paragraphe.

→ b) Les interrogatives directes

Elles peuvent être partielles ou totales et sont caractérisées dans la langue parlée par une intonation (prosodie) montante (correspondant au point d'interrogation en fin de phrase de langue écrite). Les phrases interrogatives directes peuvent avoir diverses constructions :

(i) interrogation totale

Elle porte sur la phrase entière et appelle des réponses OUI/NON dans le cas d'interrogatives affirmatives, SI/NON dans le cas d'interrogatives négatives. On acceptera pour de telles interrogatives quatre types de constructions :

- Emploi en tête de phrase de la formule invariable EST-CE-QUE

ex : est-ce-que le temps s'améliorera demain ?

- inversion du sujet pronominal

ex : neige-t-il à LA BRESSE ?

- adjonction après le verbe (ou après l'auxiliaire aux temps composés) du pronom personnel "il (s) (elle (s))" lorsque le sujet est un nom :

ex : le ciel est-il bleu aujourd'hui ?

- adjonction à une phrase énonciative d'une intonation montante

ex : il pleuvra demain ?

(ii) interrogative partielle

Elle porte sur un constituant de la phrase et appelle le plus souvent en réponse un groupe nominal, un groupe prépositionnel ou un adverbe. De telles interrogatives comporteront toujours

en tête un groupe interrogatif suivi éventuellement de "est-ce-que" ("est-ce-qui" dans le cas du pronom sujet qui). Il y aura inversion du sujet pronominal ou adjonction après le verbe du pronom il (s) elle (s) dans les interrogations ne comportant pas la formule invariable "est-ce-que". Le groupe interrogatif pourra être :

- un groupe nominal interrogatif (prépositionnel ou non)

ex : quel temps fait-il à NANCY ?

quel temps est-ce qu'il fait à NANCY ?

depuis quel jour pleut-il ?

depuis quel jour est-ce-qu'il pleut ?

- un adverbe interrogatif (avec préposition ou non)

ex : depuis quand fait-il beau ?

depuis quand est-ce-qu'il fait beau ?

où fait-il beau ?

- un pronom interrogatif

ex : que tombe-t-il à NANCY ?

qu'est-ce-qu'il tombe à NANCY ?

- restriction : nous n'accepterons pas dans MYRTILLE II de placer le mot interrogatif à la place qu'occuperait le groupe nominal ou prépositionnel dans la phrase énonciative correspondante (tournure utilisée dans la langue familière).

ex : Les orages éclateront quand ? sera interdit et

devra être remplacé par : quand est-ce-que les

orages éclateront ?

→ c) Interrogative indirecte

Il y a interrogative indirecte quand la phrase interrogative est subordonnée à une proposition dont le verbe est demander, savoir

etc... On y distingue aussi les interrogatives totales des interrogatives partielles ; dans les deux cas la construction interrogative indirecte se caractérise par :

- suppression de l'intonation ascendante
- introduction d'un mot conjonctif
- suppression de l'inversion du sujet pronominal ;

(i) interrogative totale

Le mot conjonctif est "si"

ex : je voudrais savoir s'il neige à LA-BRESSE ;

(ii) interrogative partielle

Le mot conjonctif est le plus souvent identique au mot interrogatif, excepté pour "que" remplacer par "ce que"

ex : je voudrais savoir quel temps il fait à NANCY.
je voudrais savoir depuis quel jour il pleut.
je voudrais savoir depuis quand il pleut.
je voudrais savoir où il fait beau.
je voudrais savoir ce qui tombe à NANCY.

Comme pour les interrogatives indirectes il peut y avoir adjonction de "est-ce-que", "est-ce-qui" mais ces tournures appartiennent à la langue familière :

ex : je voudrais savoir où est-ce-qu'il fait beau.

3.2.2. Les subordonnées

Bien qu'elles ne soient pas entièrement opérationnelles dans le système MYRTILLE II, elles sont prévues dans les réseaux à nœuds procéduraux et furent testées lors de l'analyse des structures (cf. paragraphe B.4.3.).

Les seules subordonnées prévues sont les subordonnées circonstancielles conjonctives de

but	:	pour que, afin que
cause	:	comme, parce que
conséquence	:	que
comparaison	:	comme
opposition	:	bien que, alors que
condition	:	si
temps	:	quand, lorsque, comme, avant que, depuis que ;

restrictions : nous n'acceptons pas en début ou fin d'énoncé les subordonnées circonstancielles infinitives ou participiales ;

ex : pour partir dans les Vosges je voudrais connaître ...
partant dans les Vosges je voudrais connaître...

devront être remplacées par :

{ pour que } je pars dans les Vosges je voudrais connaître...
{ comme }

Remarque : Nous ne tenons pas compte ici des subordonnées compléments d'un verbe, que nous traiterons lorsque nous expliciterons les constructions possibles des suites verbales (paragraphe C.3.).

3.3. STRUCTURE DES PROPOSITIONS

(cf. annexe 2 réseaux PR, INF et REL)

Une proposition se compose d'un noyau ou phrase minimale

(NOYAU) composé d'un syntagme sujet (groupe sujet GS) et d'un syntagme verbal qui regroupe le groupe verbal (GV) et le ou les complément(s) indispensable(s) appelé(s) aussi suite verbale (SGV) et d'un groupe complément (GCOM), syntagme prépositionnel ou adverbe de phrase.

L'ordre habituel entre le NOYAU et le groupe complément GCOM est :

NOYAU + GCOM ex : il pleuvra demain.

Néanmoins, il peut y avoir antéposition du syntagme prépositionnel complément de phrase ou de l'adverbe pour donner une structure GCOM + NOYAU ex : demain il fera beau.

Dans le système MYRTILLE II nous accepterons ces deux constructions : une proposition PR pourra donc être définie par :

< PR > := [< GCOM >] < NOYAU > [< GCOM >]

L'ordre habituel ou ordre canonique du noyau composé du groupe sujet, groupe verbal et suite verbale est :

< GS > < GV > < SGV >

ex : le soleil perce les nuages.

Dans certains cas cet ordre peut être modifié pour obtenir :

- < SGV > < GV > < GS >

ex : "quelle température fait-il ?"

- < SGV > < GS > < GV >

ex : "de combien de degrés la température diminue..."

- < GV > < GS > < SGV >

ex : fait-il beau

De plus certains verbes ne demandent aucune suite verbale ; c'est en particulier le cas de la plupart des verbes impersonnels ; on obtient alors

- < GS > < GV > ex : "il pleut"

- < GV > < GS > ex : "neige-t-il ?"

Restrictions : Une des principales restrictions apportées aux structures des propositions dans le système MYRTILLE II consiste à interdire tout entrelacement entre la phrase minimale ou noyau, et les compléments circonstanciels ; ainsi la phrase "le soleil, demain, percera les nuages" sera interdite et devra être remplacée soit par :

"demain le soleil percera les nuages" soit par :

"le soleil percera les nuages demain".

Remarques : L'ordre du groupe sujet, groupe verbal et suite verbale dans le noyau d'une proposition dépend pour une bonne part du contexte général de l'énoncé (ex : proposition interrogative ou non). Cela sera pris en compte dans les nœuds procéduraux du réseau décrivant la proposition PR.

Notons enfin que le système MYRTILLE II accepte deux types particuliers de proposition :

- les propositions infinitives dans une suite verbale

ex : "j'espère avoir du beau temps à NANCY"

- les propositions relatives dans un groupe nominal

ex : "le brouillard qui se lèvera dans la matinée"

3.4. STRUCTURE DU GROUPE SUJET

Dans le langage accepté par le système MYRTILLE II, le groupe sujet sera réduit à une structure très simple :

- soit un groupe nominal
- soit un pronom sujet : je, tu, il (s), nous, vous, elle (s), on

restrictions : Nous n'accepterons donc pas comme sujet un infinif ou une proposition et devons donc utiliser la tournure impersonnelle cor respondante. Ainsi au lieu de dire "qu'il pleuve demain à NANCY est possible", il faudra dire : "il est possible qu'il pleuve demain à NANCY".

3.5. STRUCTURE DU SYNTAGME VERBAL

Comme nous l'avons noté au paragraphe C.3.3. nous considérons que le syntagme verbal est composé de deux éléments :

- le groupe verbal : GV
- la suite du groupe verbal : SGV, cette dernière partie pouvant d'ailleurs être vide.

Il existe une liaison pré-établie dans le lexique entre un verbe et une liste de constructions possibles des suites verbales que nous appellerons TYPV. Ainsi, pour un verbe donné le lexique fournit les types des suites verbales possibles (cf. paragraphe B.5.2.).

3.5.1. Le groupe verbal GV

(cf. annexe 2 réseau GV)

La structure du groupe verbal dépend du fait qu'il y ait

ou non

- une négation
- un auxiliaire (pris ici au sens large : avoir, être, mais aussi pouvoir, aller, risquer, etc...).

Cette structure reste néanmoins très simple ; ainsi avec le verbe neiger on peut obtenir :

- (il) "neige"
- "ne neige pas"
- "peut neiger"
- "ne peut pas neiger".

Dans le système MYRTILLE II ; nous considérerons comme auxiliaire les auxiliaires "purs" être et avoir et par extension : pouvoir, arriver, risquer, aller, falloir. Tous ces auxiliaires sont regroupés dans une sous-classe particulière et une fonction lexicale permet de déterminer les liaisons possibles entre un verbe et les divers auxiliaires (construction autorisée ou non dans le cadre de l'application mise en œuvre).

Bien que le niveau phonologique ne soit pas actuellement mis en œuvre dans le système MYRTILLE II, nous avons déjà posé un certain nombre de choix sur les conjugaisons à mettre en œuvre et avons retenu

- le présent de l'indicatif
- l'imparfait de l'indicatif
- le futur
- l'infinitif
- et le passé composé (présent de l'auxiliaire + participe passé).

Reste le problème du subjonctif, de moins en moins utilisé, mais néanmoins nécessaire dans certaines constructions telle que :

"s'attendre à ce qu'il fasse beau".

Nous nous orientons vers l'adjonction des désinences de ce temps dans la procédure d'altération phonologique liée à chaque verbe.

3.5.2. La suite verbale SGV

(cf. annexe 2 réseau SGV)

La suite verbale correspond à ce que nous appelons aussi complément d'objet direct ou indirect du verbe à l'exclusion des compléments circonstanciels. Il existe de nombreuses structures possibles de cette suite verbale ; nous n'avons mis en œuvre dans le système MYRTII LE II que les plus fréquentes d'entre elles à savoir :

- a) groupe nominal < GN >
 - après un verbe transitif ex : relever une température
 - après un verbe copule ex : est une région ensoleillée
- b) à < GN >
 - ex : "s'attendre à de la pluie" ;
- c) de < GN >
 - ex : "augmenter de trois degrés"
- d) de < GN > à < GN >
 - ex : "tomber de 25 degrés à 15 degrés"
- e) par < GN >
 - cela permet de rendre compte de la forme passive
 - ex : "être enregistrée par X".

Pour ces quatre derniers cas la préposition placée devant le nom sera prise en compte par un traitement particulier effectué dans le nœud procédural d'entrée du réseau décrivant SGV ;

- f) $\left\{ \begin{array}{l} \text{à ce que} \\ \text{que} \end{array} \right\} < PR >$
 - ex : "prévoir qu'il pleuve"
 - "s'attendre à ce qu'il pleuve"
 - g) < INF > (infinitive)
 - ex : "espérer trouver du soleil"
 - h) adjectif attribut après un verbe copule
 - ex : [le temps] est capricieux
 - [il] fait beau
 - i) suite verbale vide
 - ex : il pleut, il neige etc...
- Outre ces types de suites verbales utilisées dans l'application mise en œuvre actuellement, nous avons prévu :
- j) à < GN > que < PR >
 - ex : "dire à quelqu'un que...."
 - k) à < GN > < GN >
 - ex : "dire à quelqu'un quelque chose"
 - l) < GN > < GL > (GL : groupe complément de lieu)
 - ex : "envoyer quelqu'un à PARIS"

Si pour une application donnée il est nécessaire d'ajouter de nouvelles constructions de la suite verbale il suffit de redéfinir le sous-réseau S.G.V.

3.6. STRUCTURE DU GROUPE NOMINAL

(cf. annexe 2 réseau GN)

On distingue deux types de groupes nominaux :

3.6.1. Groupes nominaux centrés sur un nom propre

Il sera toujours réduit à ce seul non propre sans déterminant, adjectif, complément du nom ou relative possible. Ainsi un groupe nominal tel que "le PARIS de Victor HUGO" sera interdit dans le système MYRTILLE II.

3.6.2. Groupes nominaux centrés sur un nom commun

La structure du groupe nominal acceptée dans le système MYRTILLE II est assez complète. On y distingue :

(i) les groupes nominaux simples GNS

Ils sont formés d'un nom avec éventuellement un déterminant et un adjectif avant et/ou après le nom, soit :

GNS ::= [< DET >] [< ADJ >] < NOM > [< ADJ >]

exemples : "brouillard"

"le brouillard"

"un épais brouillard"

"un brouillard matinal"

"un épais brouillard matinal"

(ii) groupe nominal avec complément du nom GNC

Il est de la forme < GNS > conj. < GN >

ex : des petits risques de verglas ;

(iii) groupe nominal avec relative

Il est de la forme < GNS > pronom < RELAT >
< GNC > relatif

on considère que la relative porte toujours sur le dernier nom comportant le groupe nominal

ex : la hauteur de neige qui est tombée à LA BRESSE

Ceci provoquera bien sûr quelques erreurs d'interprétation, mais simplifie énormément le traitement de tels groupes nominaux.

Contre exemple :

risque de verglas qui persistera ces jours-ci

(iv) groupes nominaux coordonnés

Dans le système MYRTILLE II le groupe nominal sera le seul syntagme acceptant une coordination : il sera de la forme

< GNS > < conj. > < GN >

ex : de la pluie ou de la neige.

Dans le cas où un tel groupe nominal comporte un complément du nom ou une relative, nous considérerons que ce complément ou cette relative porte exclusivement sur le dernier mot du groupe nominal. Ainsi on acceptera

"la température et la hauteur de neige"

et refusera "la hauteur de neige et la température".

3.6.3. Remarques sur la construction du groupe nominal

Nous avons regroupé dans ce paragraphe quelques remarques sur les groupes nominaux dans MYRTILLE II concernant :

- (i) les déterminants : ils peuvent être omis, mais lorsqu'ils sont présents ils peuvent être suivis le contexte soit interrogatif (quel, combien de...) soit non interrogatif (le, un, beaucoup de...);
- (ii) les adjectifs : l'adjectif épithète placé devant le nom peut être un adjectif numéral cardinal
ex : "une température de 21 degrés".
Par contre nous n'avons prévu dans le système MYRTILLE II ni la possibilité d'utiliser les comparatifs et superlatifs, ni celle d'employer des adjectifs demandant un complément tels que : enclin à, digne de etc...
- (iii) définition récursive du groupe nominal
Le sous réseau GN utilise une définition récursive permettant la prise en compte des compléments du nom et des relatives. Cela autorise des groupes nominaux tels que :
"de petits risques de formation rapide de plaques de verglas qui disparaîtront dans la matinée";
- (iv) restrictions supplémentaires
- seules les relatives introduites par "qui" et "que" sont actuellement prévues dans MYRTILLE II.
 - Nous n'avons pas prévu la prise en compte de groupes nominaux sans nom tels que "les petits".
 - Enfin nous n'acceptons dans les groupes nominaux que des adjectifs simples à l'exclusion de toute suite d'adjectifs ; ainsi le groupe nominal "un brouillard matinal épais" sera interdit et devra être remplacé par exemple, par "un épais brouillard matinal".

3.7. STRUCTURE DU GROUPE COMPLEMENT

(cf. annexe 2 réseau GCOM, GL, GC, DATE)

Dans la version actuelle du système MYRTILLE II nous n'avons prévu que deux types de compléments : le lieu et le temps ; on exclut donc actuellement la cause, l'origine, le but, le motif, la manière, le moyen, l'opposition etc... Néanmoins, la forme du sous-réseau utilisé pour décrire le groupe complément de lieu permet sans problème de décrire d'autres types de compléments.

Rappelons que ces deux types de compléments peuvent apparaître dans un ordre quelconque en début ou en fin d'énoncé, ou de proposition.

3.7.1. Le groupe complément circonstanciel de lieu

Il peut avoir trois constructions :

(i) un groupe nominal prépositionnel simple

< PREP > < GN > ex : "autour de NANCY".

Les prépositions utilisées sont alors les prépositions de lieu : en, dans, à, de, vers, jusqu'à, sur, autour de, près de, aux environs de, etc... ;

(ii) un groupe nominal prépositionnel complexe

Il est composé de deux groupes nominaux suivant la structure :

< PREP > < GN > < PREP > < GN >

ex : "de PARIS à NANCY" ;

(iii) un adverbe

Avec ici les adverbes de lieu : ici, là, çà et là, plus loin, plus haut, plus bas, etc...

Les constructions (i) et (iii) sont des constructions communes à tous les groupes compléments circonstanciels.

3.7.2. Le groupe complément circonstanciel de temps

Il peut avoir quatre constructions :

(i) un groupe nominal simple

ex : "le soir", "le matin"

(ii) un groupe nominal prépositionnel

avec les prépositions : avant, après, depuis, pour, pendant, en, jusqu'à, etc...

ex : "depuis deux jours"

(iii) un groupe locution adverbiale ou adverbe de temps

ex : "hier, aujourd'hui, demain", etc...

(iv) une date

D'après le réseau DATE fournit en annexe 2, elle peut avoir une forme aussi variée que :

"lundi"

"lundi prochain"

"le lundi 25 Janvier"

"lundi 25 Janvier"

"le 25 Janvier"...

3.8. VOCABULAIRE UTILISE

Comme nous l'avons déjà signalé au paragraphe B.5.1. le vocabulaire utilisé dans le système MYRTILLE II se répartit en :

- (i) une partie indépendante de l'application mise en œuvre qui regroupe les mots grammaticaux : pronoms, déterminants, prépositions, adverbes, etc...
- (ii) une partie propre à chaque application qui regroupe les noms, les adjectifs, les verbes.

On trouvera en annexe 3 la liste des mots actuellement utilisés pour l'application - T est mise en œuvre : les renseignements météorologiques. La taille du vocabulaire testé est de 350 mots se répartissant en :

130 mots grammaticaux (25 sous-classes) dont 10 terminaux vrais
110 noms (20 sous-classes)
50 verbes (9 sous-classes)
60 adjectifs (10 sous-classes).

3.9. COMPLEXITE DU LANGAGE UTILISE DANS MYRTILLE II

Après avoir présenté la structure du langage utilisé et son vocabulaire, il est intéressant de dire quelques mots sur la complexité d'un tel langage. Le seul indice de complexité d'un langage n'est pas la taille de son vocabulaire. De nombreux exemples montrent en effet, que ce paramètre n'est pas significatif.

Il a donc fallu définir d'autres paramètres qui tiennent compte des contraintes apportées au langage. On trouvera dans [QUIN - 80] une étude précise de ces différents paramètres dont le plus couramment utilisé est le facteur de branchement statique du langage [GOOD - 76] .

Le facteur de branchement d'un langage est défini à partir d'un automate d'états finis qui le décrit.

Soit $A = (S, s_o, s_y, \zeta)$ un automate sur un vocabulaire V acceptant un langage $L(A) \subset V^*$ défini par

S : ensemble des états de l'automate

s_o : état initial

s_y : état final

ζ : fonction de transition

Le facteur de branchement statique d'un langage peut être défini par :

$$FBS = \frac{\sum_{q \in \{S - s_f\}} f(q)}{|\{S - s_y\}|}$$

où $|\{S - s_y\}|$ correspond au nombre d'états non finals de A

et $f(q) = |\{x \in V \mid \tau(q, x) \neq \emptyset\}|$.

Cela correspond au nombre moyen de mots possibles permettant d'obtenir une transition à partir d'un état q non final.

Pour notre langage, le facteur de branchement obtenu (non compte tenu des contraintes sémantiques mises en œuvre ultérieurement) est de l'ordre de 200.

Il est tout à fait comparable à celui du langage du système HWIN (196) et nettement plus important que ceux de langages artificiels utilisés dans HEARSAY, MYRTILLE ou KEAL qui sont de l'ordre de 10.

CHAPITRE C.4

FONCTIONNEMENT GENERAL DU SYSTEME

4.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons maintenant détailler l'étude du fonctionnement du système MYRTILLE II en explicitant les divers modules introduits dans le schéma général de la figure C.2.3. Nous nous limiterons volontairement à la présentation de la structure logique du système sans aller en règle générale jusqu'au niveau de la programmation et présenterons à la fois deux versions du système MYRTILLE II en précisant à chaque pas les aspects relevant de l'une ou l'autre version :

- la première version, actuellement opérationnelle sur l'IRIS 80 de l'IUCAL (Institut Universitaire de Calcul Automatique de Lorraine) et dont on trouvera les résultats obtenus en annexe 4, ne fait qu'effleurer les problèmes de stratégie en mettant en œuvre un processus de traitement de gauche à droite et de type "meilleur d'abord". Son rôle est essentiellement de valider les procédures de mise en œuvre des diverses informations (syntaxique, sémantique, lexicale, etc...);
- la seconde version, en cours d'étude, consiste à tester diverses stratégies en vue d'une version travaillant du milieu vers les côtés, et utilisant une stratégie de recherche de solution optimale basée sur une recherche en faisceau et la définition d'éléments principaux (îlots de confiance).

Ces deux versions utilisent les structures de données et algorithmes de base présentés au cours de la partie B auxquelles s'ajoutent deux structures de pile :

- l'une pour gérer la récursivité liée à la définition des réseaux : (Pile RECUR) ;
- l'autre pour gérer l'indéterminisme lié à la reconnaissance des mots et permettant ainsi, grâce aux sauvegardes du contexte d'analyse, de procéder aux divers retours en arrière nécessaires : (pile PIL).

Dans la suite nous allons aborder successivement :

- (i) le module départ qui initialise l'ensemble du processus ;
- (ii) la phase émission des hypothèses avec les procédures PARSE, SEMAN, PROPHON et le module CHOIX ;
- (iii) la phase de test et validation des hypothèses ;
- (iv) les heuristiques mises en œuvre pour implanter les stratégies choisies ;
- (v) la procédure de dialogue permettant de prendre en compte les résultats de la phase de reconnaissance grâce à un module d'interprétation des énoncés reconnus.

4.2. LE MODULE D'INITIALISATION : DEPART

Le rôle du module DEPART est double :

- . initialiser l'ensemble du processus de reconnaissance,
- . déterminer le point de départ de la compréhension.

Le premier aspect est identique quel que soit la stratégie choisie ; il comprend :

- (i) la prise en compte des diverses données nécessaires au traitement (lecture sur disque) et leur codification en mémoire centrale spécialement pour :
 - le réseau syntaxico-sémantique à nœuds procéduraux
 - le lexique syntaxico-sémantique et phonologique ;
- (ii) l'initialisation de la représentation syntaxico-sémantique en cours de traitement (cf. paragraphe B.6.1.) ;
- (iii) l'accès au treillis phonétique, résultat du traitement acoustico-phonétique.

Le second aspect est plus spécifique à chacune des stratégies choisies. Si, dans le cas d'un traitement de gauche à droite de la phrase, son rôle est quasi-inexistant, par contre, dans le cas d'un traitement du milieu vers les côtés, c'est lui qui détermine l'ilot de confiance sur lequel s'appuie l'ensemble du traitement.

Dans un premier temps, nous nous sommes attachés à mettre en œuvre un processus du premier type qui semble naturel pour la parole. Néanmoins, il existe des cas où un tel processus est inadapté en particulier lorsque le début de la phrase est fortement entaché d'erreurs et où la distinction parole/non parole n'est pas évidente [YATS - 78], [RABI - 75]. Dans ce cas le module DEPART détermine le point de départ de la compréhension en tentant la reconnaissance du verbe ou d'un nom phonétiquement caractéristique.

4.3. L'EMISSION DES HYPOTHESES

4.3.1. Considérations générales

Nous avons vu au paragraphe C.2.4. que, compte tenu des informations prises en compte lors de l'émission des hypothèses, il était nécessaire de mettre en œuvre trois types de modules pour restreindre les hypothèses à tester au niveau de la reconnaissance phonétique suivant le type des informations utilisées :

- PARSEUR pour la structure possible de l'énoncé en cours de traitement
- SEMAN pour l'exploitation des liaisons syntaxico-sémantiques entre les mots
- PROPHON pour les informations prosodiques et phonétiques.

De plus, étant donnée l'architecture pseudo-parallèle choisie pour le système MYRTILLE II, l'ordre de mise en œuvre de ces divers processus peut théoriquement être quelconque. Néanmoins, des considérations d'ordre pratique (simplicité et rapidité du traitement nous ont amenés à poser un certain nombre de restrictions sur l'utilisation de ces processus : si PROPHON peut être activée à n'importe quel moment du processus d'émission des hypothèses, son coût de mise en œuvre nous conduira à repousser son activation le plus possible afin de ne le déclencher que sur un ensemble d'hypothèses déjà restreint. D'autre part, nous imposerons que, si PARSEUR est mis en œuvre, il le sera obligatoirement au début de la phase d'émission des hypothèses. Il est inutile de vouloir démontrer la justesse de ce choix au niveau théorique, alors que des considérations d'ordre pratique nous font dire que

si l'analyse de la structure de la phrase peut apporter des restrictions sur l'ensemble des hypothèses possibles (cas de phrases syntaxiquement correctes), ces restrictions sont le plus souvent importantes car elles déterminent le type du mot possible à cet endroit (type de terminal) et compte tenu du faible coût d'une telle analyse, il est préférable de la mettre en œuvre le plus tôt possible.

Dans la suite de ce paragraphe, nous allons tout d'abord présenter les principaux choix de réalisation de ces divers modules puis nous expliciterons le module CHOIX ou module directeur de la phase d'émission des hypothèses.

4.3.2. PARSEUR : Prise en compte de la structure du langage

Ce module a pour but de restreindre les hypothèses compte tenu de la définition syntaxico-sémantique des structures du langage et du contexte correspondant à la partie d'énoncé déjà traité :

- soit au niveau des procédures internes du réseau syntaxico-sémantique lorsqu'il sélectionne une ou plusieurs sortie(s) d'une de ces procédures ;
- soit au niveau des branches linéaires lorsqu'il rencontre un terminal de la grammaire : terminaux vrais, lexiques figés ou généraux.

Il correspond essentiellement à un parcours pas à pas du réseau syntaxico-sémantique à nœuds procéduraux. L'utilisation pas à pas de cette procédure nécessite une connaissance parfaite du contexte d'analyse de la structure de la partie d'énoncé déjà traité dont les éléments sont regroupés dans la représentation de l'énoncé et les deux piles

RECUR et PIL, Nous utilisons deux types de parcours :

- un parcours de type descendant gauche droite. C'est celui mis en œuvre dans la version actuellement opérationnelle du système MYRTILLE II. Il nécessite des énoncés syntaxiquement corrects et privilégie dans ce cas les énoncés oraux de départ de construction classique. On trouvera au paragraphe B.4.3.3. l'analyse détaillée d'une telle procédure de parcours. Son déclenchement lors de l'émission des hypothèses correspond à une phase de reconnaissance guidée par la syntaxe ;
- un parcours de type ascendant-descendant et du milieu vers les côtés. C'est nécessairement celui utilisé lorsque, après échec de la stratégie guidée par l'analyse de la structure, le système essaie d'émettre des hypothèses pour sélectionner localement dans la chaîne de départ des composants principaux de la phrase autour de mots validés par un traitement purement sémantique (verbe, sujet, complément, etc...). La réalisation d'une telle procédure correspond à une adaptation de l'analyseur syntaxique généralisé présenté par J.P. HATON et R. MOHR [MOHR - 76] et nécessite le dédoublement de certaines procédures des réseaux afin de permettre un cheminement dans le réseau de type gauche-droite ou droite-gauche.

4.3.3. SEMAN : Prise en compte des liaisons syntaxico-sémantiques entre les mots

Il prend en compte les informations fournies par la définition syntaxico-sémantique des mots du dictionnaire et restreint les

hypothèses en fonction des dépendances conceptuelles acceptées par la partie d'énoncé déjà traitée mais aussi en fonction de la structure reconnue.

Si on se reporte à la définition du lexique syntaxico-sémantique (chapitre B.5.), c'est le module SEMAN qui sélectionne dans l'ensemble des hypothèses les diverses sous-classes grammaticales et entités lexicales possibles, compte tenu du contexte syntaxico-sémantique déjà reconnu (cf. paragraphe B.6.1. : représentation syntaxico-sémantique de l'énoncé traité). Pour ce faire le module SEMAN utilise largement les diverses procédures d'accès que nous avons présentées au paragraphe B.5.3. Son rôle est donc particulièrement important pour restreindre les hypothèses de type nom, verbe ou adjectif d'autant que ce sont elles qui ont le plus grand nombre d'occurrences différentes possibles et qui, par conséquent, provoquent le plus de demandes au niveau de la reconnaissance phonétique.

Pour la mise en œuvre d'un tel traitement, deux cas sont à considérer :

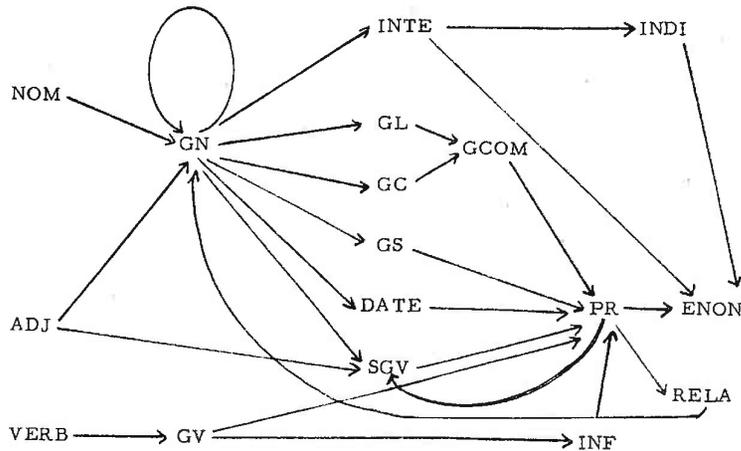
- (i) le traitement SEMAN s'effectue après que les hypothèses sont déjà réduites à un ou deux types de terminaux du lexique : c'est le cas lorsque le traitement PARSEUR a été préalablement exécuté ;
- (ii) le traitement SEMAN s'effectue avant toute autre restriction des hypothèses (les hypothèses de départ regroupent alors l'ensemble du lexique) : c'est le cas lorsque l'analyse de la structure de la phrase, module PARSEUR, est inopérante (énoncé syntaxiquement incorrect).

a) SEMAN après PARSE

Dans ce cas, le module PARSE a préalablement restreint les hypothèses à certains types de terminaux du lexique et trois types d'hypothèses sont alors à préciser :

- les noms
- les verbes
- les adjectifs.

Les diverses restrictions d'hypothèses sont alors déterminées compte tenu du contexte dont les différents cas possibles sont regroupés sur la figure C.4.1. La détermination de ce contexte s'effectue à l'aide de la pile d'analyse syntactico-sémantique RECUR.



schématisation des contextes syntaxiques possibles

Remarque : les identificateurs de non terminaux utilisés ici correspondent à ceux des réseaux à nœuds procéduraux explicités en annexe II.

Figure C.4.1.

Après la détermination de ce contexte ainsi que, suivant les cas, celle du vecteur de représentation de la proposition et/ou du groupe nominal en cours de traitement (cf. figure B.6.1. et B.6.2.) les traitements à effectuer sont :

dans le cas des adjectifs

si le contexte immédiat est SGV alors début

- . recherche du nom dominant éventuellement le groupe sujet de la proposition en cours (RPROP (IP, 2, 1))
- . sélection des adjectifs pouvant qualifier ce sujet et être attributs avec le verbe indiqué dans la proposition

fin

si le contexte immédiat est GN alors début

si le nom dominant du groupe nominal est déjà reconnu

alors début

- . sélection des adjectifs possibles avec ce nom et pouvant être après le nom dans le cas d'un traitement de gauche à droite
avant le nom dans le cas d'un traitement de droite à gauche

fin

sinon début

- . émission d'hypothèses sur le type de nom dominant ce groupe nominal compte tenu du contexte précédant qui indique sa fonction syntaxique (grâce aux fonctions d'accès au lexique SELECT 10 ou SELECT 4 explicitées au paragraphe B.5.3.1.)
- . sélection des adjectifs possibles avec ce nom de façon analogue au cas précédent

fin

fin

dans le cas des noms

Dans tous les cas le contexte immédiat est GN (cf. figure C.4.1.).
Divers cas sont à considérer suivant le contexte précédant (GN, INTE,
GL, GC, GS, DATE, SGV) :

si GN alors début cas du complément du nom

sélection des sous-classes compléments possibles du nom
dominant le groupe nominal appelant RNOM (RNOM (IN,1,
1),5,1) grâce à la procédure SELECT 4

fin

GS alors début cas du groupe sujet

si le verbe est déjà déterminé dans la proposition en cours
RPROP (IP, 4,1)

alors sélection des sujets possibles (SELECT 7)

sinon sélection des sous-classes de noms pouvant être
sujets (SELECT 10)

fin

SGV alors début cas des suites verbales

si le verbe est déjà déterminé dans la proposition en cours
alors sélection des noms pouvant dominer la suite verbale
de ce verbe (SELECT 8)

sinon sélection des noms pouvant être suite verbale
SELECT 10

fin

sinon début cas du groupe interrogatif

et des groupes compléments
sélection des sous-classes de noms pouvant avoir cette
fonction syntaxique

fin

De plus, si il existe un adjectif déjà déterminé dans ce groupe
nominal : restriction des hypothèses précédentes aux seuls noms com-
patibles avec cet adjectif grâce à la procédure SELECT 3 ;

dans le cas des verbes

sélection des verbes possibles et compatibles avec

l'auxiliaire

et/ou le sujet

et/ou la suite verbale précédemment déterminés grâce
aux procédures SELECT 5, SELECT 6, SELECT 9.

Cette procédure SEMAN est actuellement implantée dans la
version opérationnelle du système MYRTILLE II ; elle fournit les ré-
sultats escomptés dont on trouvera en annexe 4 un aperçu.

b) SEMAM sans PARSEUR

Cette procédure est déclenchée lorsque l'analyse syntaxico-
sémantique de la structure de l'énoncé s'avère inopérante (phrase
syntaxiquement incorrecte). Son but est alors de compléter le noyau de
la phrase en cours de traitement dont les principaux composants sont :

- le groupe sujet
- le groupe verbal
- la suite verbale.

Il s'agit donc de déterminer un point d'ancrage (nom ou verbe) permet-
tant ensuite de poursuivre la reconnaissance de ce groupe sujet, verbal
ou suite verbale grâce à une analyse procédant du milieu vers les côtés.
Pour ce faire, cette procédure s'appuie sur la représentation syntaxico-
sémantique de l'énoncé en cours de reconnaissance pour effectuer un
traitement dont le schéma général est le suivant :

si il existe un verbe alors début

si il existe un sujet alors début

restriction des hypothèses aux noms pouvant dominer la suite verbale de ce verbe (éventuellement aux verbes dans le cas où la suite verbale doit être une proposition

fin

sinon début

restriction des hypothèses aux noms et/ou pronoms pouvant dominer le groupe sujet de ce verbe

fin

fin

sinon début

restriction des hypothèses aux verbes pouvant apparaître compte tenu du sujet et/ou de la suite verbale précédemment reconnu (e) (s)

fin

4.3.4. PROPHON : Prise en compte des informations prosodiques et phonétiques

Le but de cette procédure est de restreindre et de pondérer les hypothèses émises au niveau des mots en fonction des traits prosodiques et de la structure phonémique du contexte à reconnaître. Bien que la version actuelle du système MYRTILLE II simule entièrement les niveaux prosodiques et phonétiques, nous avons défini cette procédure qui utilise des tests basés essentiellement sur :

- la longueur phonétique des mots pour permettre la prise en compte des principales pauses et des marqueurs de segmentation prosodique ;

- les patrons intonatifs des mots lorsqu'ils sont pertinents (spécialement pour les mots longs) ;
- les patrons phonétiques des mots qui indiquent la présence ou non de plosives ou de fricatives et le séquençement entre les principaux segments caractéristiques.

A ce niveau, il est important de noter que le module PROPHON n'a pas l'exclusivité des traitements des traits prosodiques ou phonétiques. En effet, les procédures internes du réseau syntaxico-sémantique utilisent aussi ces informations :

- pour distinguer les phrases interrogatives des phrases énonciatives suivant les variations du fondamental
- pour traiter les mots courts de liaison
- pour sélectionner les sorties de certaines procédures.

4.3.5. CHOIX : Module directeur de l'émission des hypothèses

Le fonctionnement de cette procédure dépend de la stratégie déterminée soit au départ par le module DEPART, soit ensuite par le module VALIDATION que nous détaillerons dans le paragraphe suivant. Cette stratégie remise en cause à chaque pas de la reconnaissance peut être de deux types :

- stratégie prenant en compte la structure de la phrase lorsque l'énoncé est syntaxiquement bien construit. On y distinguera :
 - la stratégie 1 procédant de gauche à droite
 - la stratégie 2 procédant du milieu vers les côtés ;
- stratégie occultant l'analyse de la structure de la phrase lorsque localement est détectée une construction non syntaxique (stratégie 0).

Sachant qu'au départ du processus d'émission des hypothèses l'ensemble des mots du lexique sont possibles, le déclenchement des procédures PARSEUR, SEMAN et PROPHON se fera suivant le séquençement suivant :

si STRATEGIE 1 alors début

activer PARSEUR (gauche droite) ;

si il existe des hypothèses de type terminaux généraux

alors activer SEMAN (après PARSEUR) ;

fin

STRATEGIE 2 alors début

activer PARSEUR (milieu vers les côtés) ;

si il existe des hypothèses de type terminaux généraux

alors activer SEMAN (après PARSEUR) ;

fin

STRATEGIE 0 alors début

activer SEMAN (sans PARSEUR)

fin

si nombre de mots hypothèses > 10 alors activer PROPHON.

4.3.6. Résultats du processus d'émission d'hypothèses

Compte tenu de ces traitements et dans le cas de l'utilisation de la seule stratégie de gauche à droite, ce processus d'émission des hypothèses répond assez bien aux objectifs que nous nous étions fixés avoir à chaque pas le choix entre seulement quelques dizaines de mots lors de la reconnaissance phonétique. On trouvera en annexe 4 un échantillon représentatif des Tests effectués jusqu'alors. On peut remarquer

que sauf pour les premiers mots porteurs de sens (sujet en début de phrase) le nombre d'hypothèses émises est assez faible compte tenu de l'importance du vocabulaire utilisé : le rapport entre le nombre d'hypothèses et le nombre de mots du lexique est le plus souvent inférieur à 1/10 (35 mots pour l'application Test).

A titre d'exemple la figure C. 4. 2. indique le nombre d'hypothèses émises à chaque pas lors du test de la phrase :

"est-ce-que les risques de petites plaques de verglas persisteront demain dans la région de NANCY".

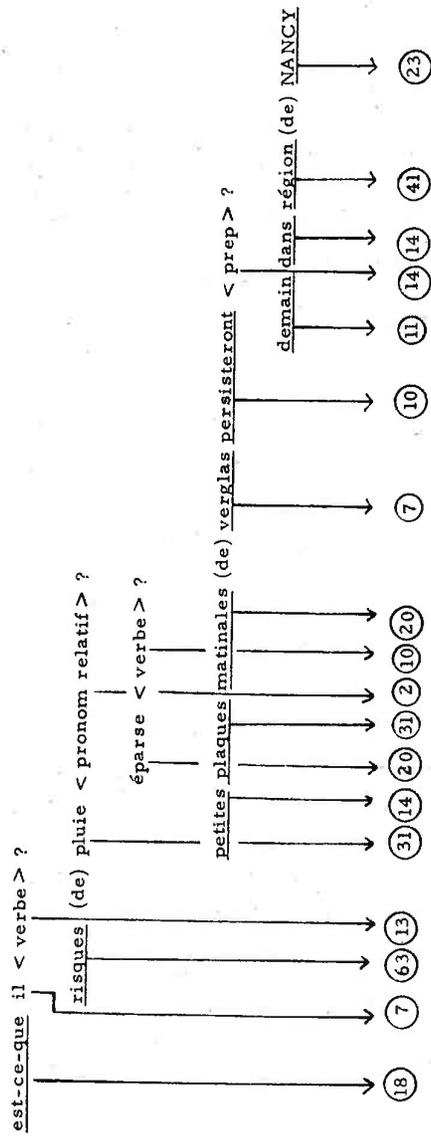
4.4. TEST ET VALIDATION DES HYPOTHESES

Le processus de validation des hypothèses qui à partir d'un ensemble d'hypothèses détermine l'hypothèse retenue et le point de reprise ou de poursuite de la reconnaissance peut-être décomposé en trois étapes :

- (i) le test phonétique ou reconnaissance des hypothèses ;
- (ii) le choix du point de reprise ;
- (iii) la mise à jour de la représentation syntaxico-sémantique de la partie d'énoncé déjà traitée.

Dans ce paragraphe, nous allons successivement aborder les points (i) et (iii), et consacrerons le paragraphe suivant au difficile problème de choix du point de reprise très lié au choix de stratégie de l'ensemble du système.

est-ce-que les risques de petites plaques matinales de verglas persisteront demain dans la région de NANCY ?



nombre d'hypothèses émises à chaque pas

(vocabulaire de l'application 350 mots)

Figure C.4.2.

4.4.1. Recherche lexicale et Test des hypothèses

Le test des hypothèses se fait en tentant la reconnaissance des divers mots émis comme hypothèses et en les classant en fonction de leur score de reconnaissance. Cela correspond à ce qu'on à coutume d'appeler la "recherche lexicale" en reconnaissance de la parole. Il faut y distinguer deux problèmes :

- la recherche d'un mot à l'intérieur d'une représentation du signal qui est un problème d'extraction de sous-chafne
- la comparaison d'une forme inconnue avec une forme de référence.

Ce dernier problème se rencontre lors d'une validation d'hypothèse quand l'une des extrémités de la forme inconnue est connue approximativement (à un ou deux segments près). C'est donc un cas particulier de l'extraction d'une sous-chafne puisqu'il ne reste plus qu'à comparer les deux sous-chafnes à partir des extrémités connues.

(i) Comparaison de deux formes

La principale difficulté est due au décalage temporel entre les deux formes et les méthodes se différencient suivant la manière dont elles résolvent ce problème. Les grands types de solutions développées à ce jour sont :

(a) La comparaison heuristique : son but est de tenir compte des différents écarts de prononciation d'un locuteur par rapport à (ou aux) prononciation(s) standard codifiée(s) dans la forme de référence (cf. paragraphe B.6.3) et des limites des systèmes acoustiques. Ces erreurs peuvent être de trois types :

- . élision de phonèmes
- . substitution de phonèmes
- . insertion de phonèmes.

Parmi ce type de méthode on peut noter :

- la comparaison par "îlots de confiance" [GRES - 73] dans laquelle on commence par aligner les phonèmes des deux formes dont les caractéristiques sont bien identifiables (plosives, fricatives et voyelles accentuées). Après cette normalisation qui permet de s'affranchir de beaucoup d'élisions ou d'insertions, un degré de ressemblance est évalué entre les deux formes comparées ;

- la méthode que nous avons développée dans MYRTILLE I [PIER - 75], plus simple, n'en est pas moins efficace : la comparaison se fait sans normalisation. En cas d'erreur le reconnaiseur peut émettre, si la partie déjà traitée a un score suffisamment élevé, des hypothèses d'élision, d'insertion ou de substitution de phonèmes en se resynchronisant plus loin dans les deux formes. Cette méthode est assez semblable à celle développée par RABINOWITZ à partir de l'algorithme de FANO [RABI - 72] .

(b) L'analyse par synthèse

Développée par KLATT aux USA [KLAT - 75], cette méthode consiste à recréer par synthèse l'ensemble des paramètres acoustiques d'un mot, puis de comparer la forme ainsi produite à une partie du signal de départ.

(c) L'introduction de modèles stochastiques

Utilisée entre autres dans le système IBM [JELI - 75] et le système DRAGON, cette méthode représente les diverses variantes de prononciation par un réseau. La comparaison correspond alors à un processus markovien qui recherche le chemin le plus probable correspondant à une suite de phonèmes en entrée. L'algorithme de VITERBI [WHIT - 78] permet d'obtenir ainsi la solution par programmation

dynamique du problème posé. Cette méthode est très utilisée en reconnaissance globale de mots ou en recherche de mots clés.

(ii) Extraction de sous-châfnes

Correspondant au problème de la localisation de mots en parole continue, l'extraction de sous-châfnes est traitée essentiellement suivant deux approches :

(a) une approche heuristique très proche de la comparaison heuristique vue précédemment mais dans laquelle nous adjoindrons en plus la méthode ascendante utilisée à TOULOUSE par l'équipe de G. PERENNOU [CAUS - 76] où la notion de chemin disparaît complètement au profit de fonctions d'adressage sur les paires de syllabes.

(b) une approche par programmation dynamique dont une variante intéressante a été proposée par J.S. BRIDLE [BRID - 79] qui consiste à définir une similitude au voisinage de chaque point de l'espace de recherche.

La solution que nous avons retenue pour le système MYRTILLE II est une solution de type programmation dynamique où la recherche des chemins optimaux s'appuie sur un principe de similitude locale. Cet algorithme fut développé par J.F. MARI et on pourra en trouver une description détaillée dans [MARI - 79] .

4.4.2. Mise à jour de la représentation syntaxico-sémantique de l'énoncé

Son but est de tenir à jour la représentation syntaxico-sémantique de la partie d'énoncé traité (cf. paragraphe B.6.3.) en y

indiquant au fur et à mesure les diverses informations déterminées par le processus de reconnaissance. Cette mise à jour se fait à divers moments lors de l'analyse de la phrase à savoir :

- (i) après la prise en compte d'une hypothèse validée ; il s'agit alors d'indiquer le type de terminal reconnu dans cette représentation. Les informations contextuelles permettent de déterminer l'endroit où doit être conservé ce renseignement ;
- (ii) lors du début de l'analyse d'un sous-réseau, spécialement pour les réseaux GN et PR, afin de créer un nouveau vecteur de renseignements qui sera suivant les cas de type groupe nominal ou proposition et d'indiquer dans celui-ci les renseignements hérités du vecteur appelant : par exemple type du sujet où de la suite verbale dans le cas d'une proposition relative ;
- (iii) lors de la fin de l'analyse d'un sous-réseau pour terminer le vecteur de renseignements en cours et "synthétiser" certaines informations dans le vecteur appelant. Ainsi, à la fin de la reconnaissance d'un groupe nominal sujet, on reportera au niveau du vecteur de la proposition appelante le type du sujet ;
- (iv) lors des retours en arrière où il faudra remettre à jour l'ensemble des vecteurs de renseignements grâce à l'indicateur de retour-arrière adjoint à chaque information. Nous allons maintenant étudier le fonctionnement de ces retours en arrière.

4.5. HEURISTIQUES DE CHOIX DE POINTS DE REPRISE

Après la tentative de reconnaissance des hypothèses il faut passer par une étape du choix du point de reprise ou, lorsqu'aucune hypo-

thèse n'est validée, du point de retour en arrière. Nous avons vu au paragraphe B.2.4. les diverses stratégies possibles et les choix effectués dans le système MYRTILLE II et allons maintenant présenter la réalisation concrète de ces choix.

4.5.1. Stratégie du meilleur d'abord [PIER - 75]

C'est la stratégie adoptée dans la version actuellement opérationnelle du système MYRTILLE II. Elle consiste à ranger à chaque étape de choix (choix d'une sortie d'un nœud du réseau ou choix d'une hypothèse validée), les différentes possibilités en les classant suivant les scores ou plausibilités croissantes, et à sélectionner comme point de reprise celle de plus forte plausibilité. La réalisation d'une telle stratégie se fait grâce à l'utilisation d'une pile des points de reprise. Le choix du point de reprise est alors réalisé automatiquement lors de la prise en compte du sommet de pile. Le système effectue un retour en arrière si lors de l'étape précédente de validation des hypothèses aucune n'a été reconnue et donc placée comme point de reprise possible. Dans ce cas, la prise en compte du sommet de pile correspond à la prise en compte soit d'un mot reconnu lors d'une étape préalable soit d'une nouvelle sortie d'une procédure.

Le principal avantage d'une telle stratégie réside dans sa simplicité de mise en œuvre ; par contre son inconvénient majeur, dû au fonctionnement automatique fourni par la pile, est de ne pas pouvoir toujours parfaitement dominer les retours arrière effectués. Ainsi après une bonne reconnaissance d'une partie assez importante d'une phrase le système pourra être amené à tout remettre en cause s'il rencontre une partie du signal fortement erronée et terminer le traitement sur un échec complet de la reconnaissance. Pour pallier cet

inconvenient nous travaillons actuellement à la mise en œuvre d'une solution mixte alliant une stratégie de type meilleur d'abord et une stratégie par îlots de confiance que nous appelons "éléments principaux".

4.5.2. Stratégie du meilleur d'abord avec sauvegarde des éléments principaux consistants

Le but de cette stratégie est de préserver des parties de phrases bien reconnues d'une remise en cause provoquée par un retour en arrière au cours de la reconnaissance d'autres parties de la phrase. Nous appelons constituant principal consistant, un groupe de mots qui a les propriétés suivantes :

- . une structure syntaxico-sémantique bien construite ;
- . des liaisons sémantiques validées entre les différents mots du constituant ;
- . un score de reconnaissance phonémique supérieur à un certain seuil ;
- . une longueur phonémique supérieure à une longueur critique ;
- . un taux "de manque" (nombre de phonèmes non pris en compte entre les mots par rapport à la longueur phonétique du constituant) faible.

Un tel constituant principal pourra être :

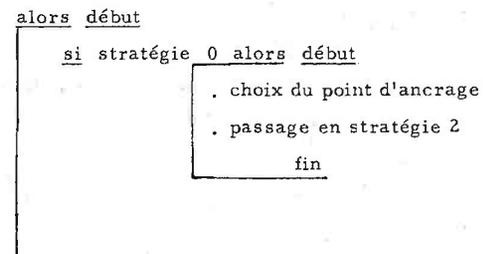
- . un groupe nominal avec compléments
par exemple : "risque de plaques de verglas"

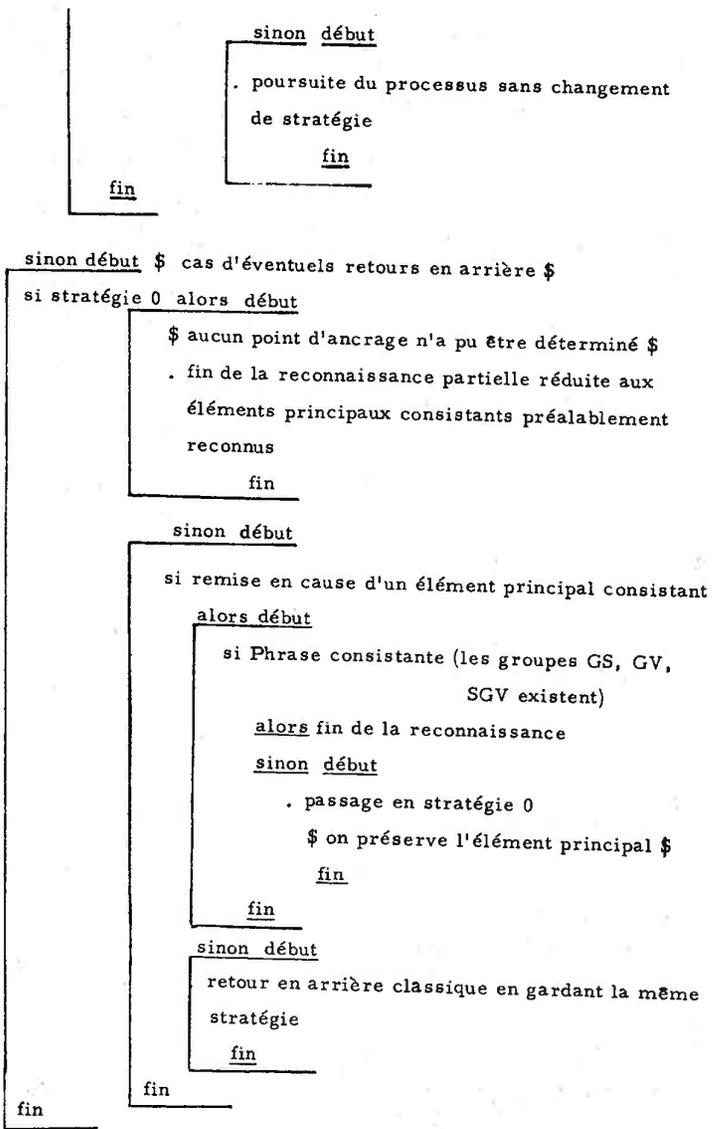
- . une suite groupe sujet - groupe verbal
ex : "la température augmente"
- . une suite groupe verbal - suite verbale
ex : "perce les nuages"
- . etc...

Lors du déroulement de la reconnaissance, nous empêcherons la remise en cause d'un tel constituant principal en arrêtant le processus normal de la reconnaissance et en forçant le système à déterminer un nouveau point d'ancrage dans la partie d'énoncé non encore traité après émission d'hypothèses sur critères sémantiques (liaison entre les mots) sans référence à la structure syntaxique grâce à la procédure SEMAN présentée au paragraphe C.4.3.3.b.

Ainsi, en conservant les notations de stratégies utilisées au paragraphe C.3.5. (stratégie 0 : pas d'analyse de structure
stratégie 1 : Traitement gauche droite
stratégie 2 : Traitement du Milieu vers les côtés), on peut schématiser ainsi la procédure de choix du point de reprise mise en œuvre à chaque pas de la reconnaissance :

- . au début : stratégie 1
- . après chaque pas : juste après le test des hypothèses
si l'une au moins des hypothèses est validée





Malgré cela, cette stratégie garde certains inconvénients de la stratégie du type le meilleur d'abord en particulier celui de ne poursuivre que la solution localement la meilleure ; c'est pourquoi nous envisageons de remplacer la recherche du meilleur d'abord par une recherche en faisceau bien que ce type de solution plus complexe à mettre en œuvre risque dans bien des cas de pénaliser le temps de reconnaissance.

4.6. PRISE EN COMPTE DES RESULTATS : LA PROCEDURE DE DIALOGUE [PIER - 81]

La procédure de dialogue a pour but d'exploiter les résultats fournis par l'étage de reconnaissance en vue d'une interprétation sémantique de l'énoncé. Nous ne détaillerons pas ici cette procédure, nous limitant simplement à donner les grandes lignes de ce qui est un autre travail que le nôtre, pris en charge dans l'équipe par Simon SABBAGH.

La figure C.4.3. fournit un schéma succinct de cette procédure ; on y distingue outre la partie génération et synthèse de phrases et le système MYRTILLE I utilisé ici comme outil :

- (i) un analyseur sémantique qui, à partir de la représentation syntaxico-sémantique de l'énoncé reconnu et des définitions lexicales des mots utilise diverses contraintes définies sur les catégories syntaxiques et sémantiques pour construire une structure profonde de la phrase fondée sur les modèles de grammaire par cas [FILL - 67] . Cette représentation de l'énoncé est alors

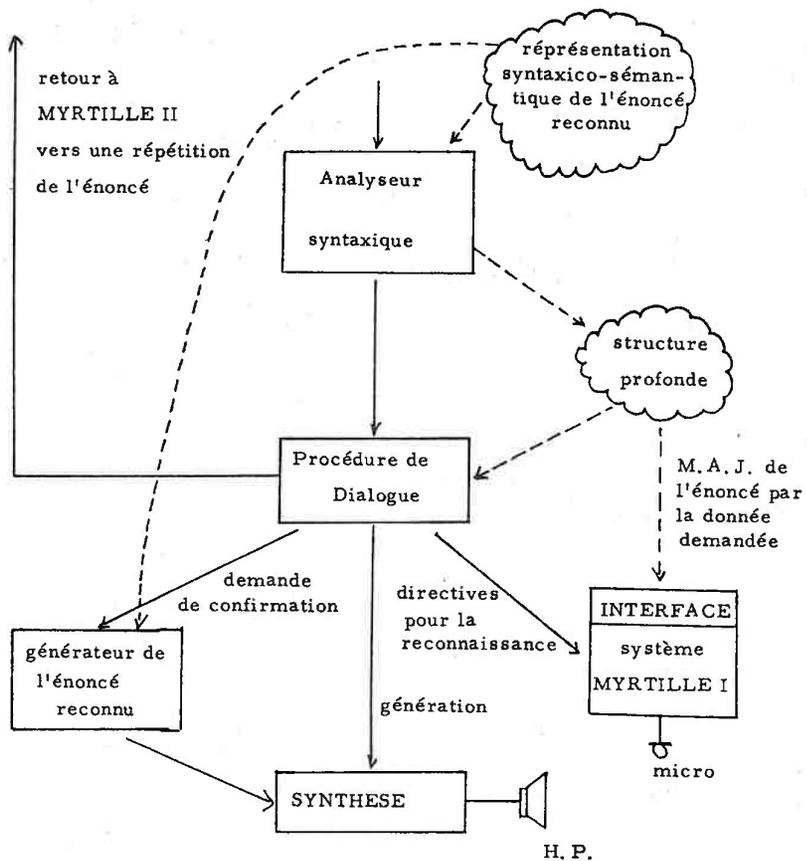


Schéma succinct du niveau interprétation et dialogue

Figure C.4.3.

équivalente du point de vue interprétatif à celle des réseaux sémantiques. L'analyseur sémantique a pour but également de mettre en évidence les questions correspondant à des demandes d'informations complémentaires pour les énoncés incomplets ou n'ayant pas été validés. Ces questions peuvent être suscitées par l'absence d'arguments obligatoires pour un verbe ou pour un nom ou une demande de confirmation ou de précision du lieu, de la date etc. . .

(ii) une procédure de dialogue proprement dite qui a pour but de diriger le dialogue entre l'utilisateur et le système.

La figure C.4.4. donne un exemple de dialogue que devrait fournir le système MYRTILLE II dans un proche avenir.

(0) Myrtille	:	Centre de renseignements météo, je vous écoute
locuteur	:	Je voudrais connaître le temps qu'on envisage demain
(1) Myrtille	:	Vous avez demandé : quel temps envisage-t-on demain ?
locuteur	:	Oui c'est cela
(2) Myrtille	:	A NANCY ?
locuteur	:	Non, dans la région de METZ
(3) Myrtille	:	Vous avez demandé : quel temps envisage-t-on demain dans la région de METZ ?
locuteur	:	Oui

Exemple de dialogue

Figure C.4.4.

La procédure de dialogue contrôle la génération des questions mise en évidence lors de l'analyse sémantique. Ainsi, dans l'exemple ci-dessus l'absence de précision sur le lieu provoque la question (2).

Dans un tel dialogue, la plupart des réponses sont prévisibles quant à leur contenu sémantique et leur forme syntaxique (fragments de phrase par exemple) ce qui permet de donner des directives pour la reconnaissance des réponses qui sera réalisée par le système MYRTILLE I (cf. chapitre C.1.). Ainsi dans l'exemple de la figure C.4.4., la réponse à la question (2) nécessite que l'on fournisse à MYRTILLE I une grammaire sommaire des compléments de lieu.

Si le système admet avoir compris la requête (pas de questions), ou que toutes les questions ont été posées, une demande de confirmation, du type de celle effectuée en (3) à la figure C.4.4., sera réalisée.

La procédure de génération construit cette demande à partir de la structure profonde, éventuellement complétée par les réponses.

CHAPITRE C.5

LE POINT SUR LA REALISATION EN COURS

L'objet de notre travail a été essentiellement d'étudier et de prendre en compte les informations linguistiques dans l'étape de compréhension de phrases du système MYRTILLE II. Pour pouvoir tester les choix effectués à ce niveau, il nous a fallu définir et réaliser un système complet de compréhension de phrases et mettre en œuvre une application particulière : les renseignements météorologiques. Dans ce chapitre, nous allons présenter successivement :

- (i) la version actuelle du système MYRTILLE II et plus particulièrement le traitement acoustico-phonétique et l'étape de compréhension de phrases ;
- (ii) les résultats obtenus ;
- (iii) les améliorations en cours et/ou prévues.

5.1. PRESENTATION DE LA VERSION ACTUELLEMENT

OPERATIONNELLE

5.1.1. Traitement acoustico-phonétique

Le système acoustico-phonétique décrit au paragraphe A.2.4, n'étant pas encore opérationnel, nous avons choisi de réaliser un traitement simplifié pour passer du signal acoustique à une chaîne de pseudo-phonèmes et pouvoir ainsi mettre en œuvre une chaîne

complète de compréhension de phrases.

Contrairement au méta-système prévu pour la version finale du système MYRTILLE II, qui travaillera à partir du signal acoustique numérisé, le système utilisé pour les tests met en œuvre un analyseur spectral de type vocoder et un détecteur de pitch. Cet étage de traitement acoustico-phonétique peut être schématisé par la figure C.5.1.

Le modèle de transcription phonétique est de type "centi-seconde" et fait apparaître trois étapes :

- (i) l'échantillonnage : il s'effectue toutes les dix milli-secondes et code suivant 8 niveaux (3 bits) les sorties des 15 filtres du vocoder. (Le vocoder utilisé est un vocoder CIT - ALCATEL à 15 canaux couvrant la plage de fréquence de 250 à 5 000 Hz)

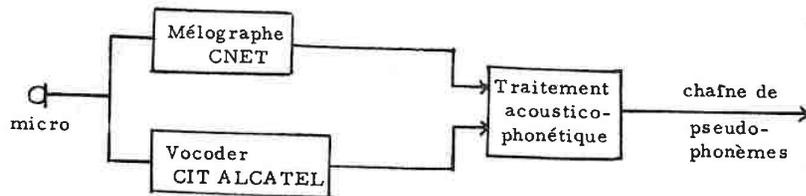


schéma de l'étage acoustico-phonétique utilisé

Figure C.5.1.

Aux données du vocoder s'ajoute à chaque instant d'échantillonnage la valeur du fondamental fournie par un mélographe CNET.

- (ii) la segmentation : la représentation de la phrase ainsi obtenue (sonogramme) est ensuite segmentée suivant deux critères principaux :

- . l'énergie : énergie totale annulée des 15 canaux et répartition de l'énergie entre les basses et hautes fréquences ;
- . le voisement : obtenu, parallèlement à l'échantillonnage sur vocoder, grâce au mélographe.

La segmentation ainsi obtenue est très grossière car, comme nous l'avons vu au paragraphe A.2.4., bien d'autres critères que l'énergie et le voisement peuvent intervenir à ce niveau ;

- (iii) l'identification : elle s'effectue pour chaque prélèvement grâce à une comparaison et un calcul de distance avec des prélèvements de référence obtenus par moyenne sur plusieurs prélèvements de même type. Notons qu'à ce niveau la segmentation obtenue n'intervient pas dans l'identification de chaque prélèvement. Par contre, ensuite, pour chaque segment il y a détermination des candidats phonèmes retenus grâce à un calcul de score annulé des phonèmes proposés pour chaque prélèvement d'un même segment. Nous avons limité à trois le nombre de phonèmes retenus par segment. Une telle solution est loin d'être optimale, et on arrive assez vite à la limite des performances possibles d'un tel système. Néanmoins, dans le contexte où nous nous étions placés - test des traitements linguistiques dans un système de compréhension de phrases - nous y voyons deux avantages :

- . la rapidité du traitement : le temps de traitement sur MITRA 125 est du même ordre que le temps d'élocution d'une phrase ;

la qualité de la chaîne de pseudo-phonèmes ainsi obtenue correspond à une qualité minimale que l'on peut attendre actuellement pour de telles chaînes. Aussi, compte tenu de l'adage bien connu "qui peut le plus, peut le moins", nous pensons que de telles chaînes permettent de bien tester la cohérence et la consistance des traitements linguistiques mis en œuvre pour la compréhension de phrases.

Notons enfin qu'un tel système est, comme la plupart des systèmes acoustico-phonétiques actuels, essentiellement mono-locuteur. Néanmoins, il facilite le passage d'un locuteur à un autre, car le fichier d'apprentissage à prendre en compte pour chaque locuteur est relativement limité, et correspond uniquement aux prélèvements de référence permettant de rendre compte des divers phonèmes. Actuellement n est de l'ordre de 40 ce qui fait :

$$40 \times 15 \times (3 + 1) = 2\ 400 \text{ bits}$$

nécessaires pour sauvegarder les données d'un apprentissage.

5.1.2. Etape de compréhension de phrases

L'étape de compréhension de phrases ou passage de la chaîne de pseudo-phonèmes à la représentation syntactico-sémantique est actuellement opérationnelle. Elle correspond à la description fournie dans les chapitres précédents avec néanmoins deux restrictions correspondant à des points en cours d'implantation :

- (i) lors de l'émission des hypothèses le module PROPHON n'est pas implanté dans la version actuelle. Nous ne prenons donc

pas en compte présentement les patrons phonétiques ou prosodiques des mots pour restreindre les hypothèses soumises au module de reconnaissance de mots ;

- (ii) quant à la stratégie mise en œuvre actuellement, de type meilleur d'abord, elle n'intègre pas actuellement la sauvegarde des "éléments principaux consistants" que nous avons présentés au paragraphe B.2.5.

Ces deux restrictions devraient rapidement disparaître dans la prochaine version du système.

5.1.3. Aspects généraux sur le logiciel obtenu

La mise en œuvre du système MYRTILLE II nécessita de gros efforts de programmation pour l'obtention de logiciels facilement utilisables et maintenables, tant pour ce qui concerne le système MYRTILLE II proprement dit que pour les étapes de définition du langage et du lexique. Nous allons maintenant présenter rapidement les aspects utilisateurs du logiciel obtenu.

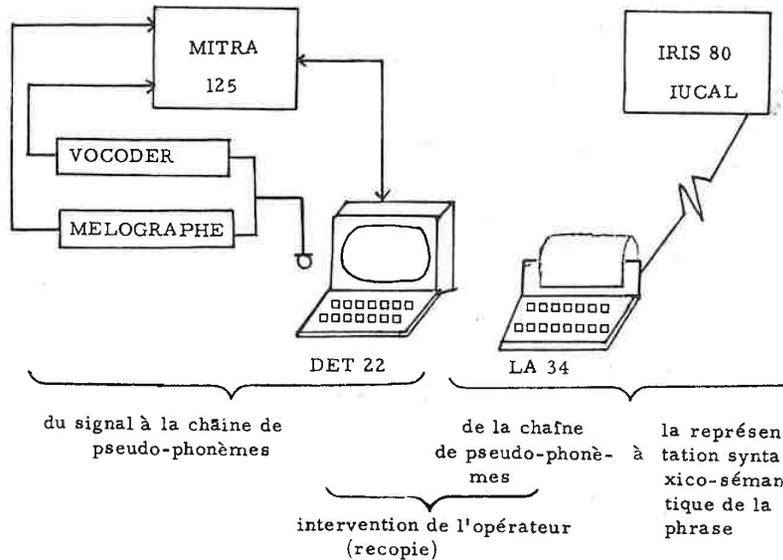
a) Conditions d'utilisation de MYRTILLE II

Actuellement le système MYRTILLE II est réparti sur deux machines :

- (i) le MITRA 125 du laboratoire d'Informatique sur lequel sont connectés les terminaux spécifiques à la parole (vocoder, mélographe...) et qui se charge des traitements acoustico-phonétiques ;

- (ii) l'IRIS 80 de l'IUCAL qui se charge des traitements linguistiques et, plus généralement de la phase de reconnaissance et de compréhension des phrases.

Des raisons techniques et matérielles ont rendu la connection des deux systèmes impossible ; il doit donc y avoir intervention humaine pour introduire, par clavier, sur IRIS 80 les résultats fournis par le système acoustico-phonétique. On peut donc schématiser ainsi les conditions d'expérimentation :



Conditions d'expérimentation

Figure C.5.2.

b) les différents logiciels mis en œuvre

Outre le traitement acoustico-phonétique implanté sur MITRA 125 et dont nous ne faisons qu'utiliser les résultats, nous avons réalisé quatre logiciels directement exécutables sous T.S. sur IRIS 80.

- (i) Logiciel de création et de gestion du réseau à nœuds procéduraux (CRESRES) que nous avons décrit au paragraphe B.4.4.2. ;
- (ii) logiciel de création et de gestion du lexique qui comprend deux parties :
 - . l'une gérant le lexique syntaxico-sémantique et que nous avons décrite au paragraphe B.5.4. (CRELEX et MASLEX) ;
 - . l'autre gérant le lexique phonétique (LEXPHO), est décrite au paragraphe B.6.2. ;
- (iii) logiciel de prise en compte et de codification d'une chaîne de pseudo-phonèmes (PHRASE) qui effectue le passage de la représentation externe à la représentation interne des phonèmes et dont la figure C.5.3. fournit un listing d'exécution. Les notations et codes utilisés sont ceux fournis au tableau B.6.7. ;
- (iv) logiciel de compréhension de phrases (MYRTILLE ou MYRT2) qui correspond à la mise en œuvre du système MYRTILLE II. Le tableau C.5.4. donne un exemple d'exécution de ce logiciel pour la phrase fournie au tableau C.5.3. On peut remarquer que l'exécution commence par une phase de mise à jour de paramètres. Ces divers paramètres sont :
 - le choix du type de score retenu pour évaluer la reconnaissance d'un mot : soit la moyenne arithmétique, soit la similitude locale en fin de reconnaissance

- un indicateur de prise en compte ou non de subordonnées
- quatre paramètres intervenant pour pondérer le calcul de similitude de deux chaînes phonétiques lors de la reconnaissance (cf. [MARI - 79]) ;
- trois seuils utiles pour déterminer le score cumulé pour une phrase et les seuils d'abandon d'un chemin (cf. [PIER - 75]) ;
- un indicateur FLOUTG permettant de paramétrer la longueur de la partie de la chaîne d'entrée à parcourir lors du test de la reconnaissance d'un mot.

Auxquels s'ajoutent trois types de traces possibles de l'exécution :

- une trace minimale permettant de suivre la construction de l'arbre syntaxique de la phrase : c'est celle utilisée dans l'exemple du tableau C.5.4. ;
- la trace des hypothèses émises qui correspond à celle utilisée dans les exemples de l'annexe 4 ;
- la trace de la reconnaissance phonétique de chaque hypothèse très utile dans la phase de mise au point du système.

L'ensemble de ces logiciels, tous programmés en FORTRAN IV de base par souci de portabilité, correspond à 60 K mots de codes générés IRIS 80.

```
!PHRASE
V1502 U62P03 10/046/134
STEP 01 TERMINATED
EXECUTION F4LIB VERSION V1002 19*52*46*
```

```
LONGEUR PHONETIQUE DE LAPHRASE ?
?16
```

```
L INTONATION EST-ELLE FRANCHEMENT DESCENDANTE ?
?NON
```

```
ENTREE DE LA PSEUDO CHAINE DE PHONEMES
LIGNE PAR LIGNE (MAXIMUM: 3)
BLANC SI PAS DE PHONEME EN I-EME POSITION
*****
```

```
?(SPRILTNEIEN/ZIG
```

```
?ZTSRRRPLD:GUM*VRZ
```

```
?E K D R V SS
```

```
LG= 16 PROSO= 1
```

```
 8 6 12 3 7 4 11 16 9 7 9 16 20 30 7 33
 5 30 11 6 3 3 12 4 24 6 19 14 15 18 3 30
 9 -1 10 -1 -1 -1 13 -1 -1 3 -1 18 -1 6 6 -1
```

```
*STOP* 0
IN STEP 02. COMMAND TERMINATED
!W
```

Exemple de prise en compte d'une chaîne de pseudo-phonèmes

Phrase : est-ce-qu'il pleut sur NANCY ?

Remarque : codification interne et externe des phonèmes
cf. Figure B.6.6.

Figure C.5.3.

```

!MYRTZ
EXECUTION F4LIB VERSION V11-02 19*59*54*
VOULEZ-VOUS COMME SCORE LA MOYENNE ARITHM.?
?QUI
PRISE EN COMPTE DES SUBORDONNES CIRCONS. (QUI, NON)
?NON
SUB=1.0=
?
TREP=0.5=
?
TELIS=0.5=
?
GAMA=0.4=
?
SEUIL1=50=
?
SEUIL2=70=
?
SEUIL3=45=
?
FLOUTG=(VALEUR CONSEILLEE 02)
?02
VOULEZ-VOUS LA TRACE DE LA RECONNAISSANCE PHONETIQUE
DE CHAQUE HYPOTHESE ?
?NON
VOULEZ-VOUS UNE TRACE DES HYPO. EMISES?
?NON

```

```

      | ( (
LES SUBORDONNEES NE SONT PAS PRISE EN COMPTE
206003 ( (EST-CE-QUE ) *INTE ( (
501001 ( (EST-CE-QUE ) *INTE ( (IL ) *GS (
214004 ( (EST-CE-QUE ) *INTE ( (IL ) *GS (PLEUVOIR) *GV ( )
SGV ( (
318001 ( (EST-CE-QUE ) *INTE ( (IL ) *GS (PLEUVOIR) *GV ( )
SGV ( (SUR (

```

PHRASE RECONNUE

```

( (EST-CE-QUE ) *INTE ( (IL ) *GS (PLEUVOIR) *GV ( ) *SGV
( (SUR (NANCY ) *GN ) *GL ) *GCOM ) *PR ) *ENON

```

SCORE DE RECONNAISSANCE = 100

```

REPRESENTATION SYNTAXICO-SEMANTIQUE DE L ENONCE
VOULEZ-VOUS LA REPRESENTATION INTERNE ? (O/N)
?NON

```

Exemple de reconnaissance de la phrase fournie en Figure C.5.3.

Figure C.5.4.

5.2. RESULTATS OBTENUS

5.2.1. Chafnes de pseudo-phonèmes

Notre travail a été essentiellement de mettre en œuvre, dans la phase de compréhension de phrases, les traitements linguistiques, à l'exclusion des traitements acoustico-phonétiques. Néanmoins, les tests de notre réalisation sont fortement tributaires des chafnes de pseudo-phonèmes que nous lui fournissons en entrée. L'étage acoustico-phonétique de type centi-seconde que nous avons mis en place ne fournit encore que des résultats très limités et comporte un certain nombre de limitations dont l'une d'elles, et non des moindres, est qu'elle ne peut traiter un signal de plus de deux secondes. Ainsi, nous ne pouvons espérer reconnaître actuellement, à partir du micro, des phrases du type :

- "Est-ce-que les risques de petites plaques de verglas diminueront demain dans la région de NANCY ?"
- "J'aimerais savoir : est-ce-que quelques orages de grêle ne risquent pas d'éclater sur la Lorraine le 25 Septembre ?"
- "Jusqu'à quand le beau temps sec persistera-t-il dans la région de DIJON ?"
- etc...

mais nous sommes obligés de nous limiter à des phrases courtes telles que :

- quand est-ce-que la température augmentera ?
- quand gèlera-t-il en Lorraine ?
- est-ce-qu'il pleut sur NANCY ?
- etc...

De plus, l'état de réalisation de ce système fait qu'il ne nous a pas été possible de faire des tests systématiques de reconnaissance, mais uniquement de tester un nombre limité de phrases pour lesquelles, après apprentissage, nous avons obtenu des chaînes de pseudo-phonèmes acceptables, et effectivement reconnues par MYRTILLE II, dont voici deux exemples :

- "est-ce-qu'il pleut sur NANCY ?

É s p r i r p L e i e n ā z i G
 e z t s r l t N ō s u m ō s r z
 ð k d r v v s

- "quand gèlera-t-il ?"

(P) ā F É F a p s I z
 (t) o z ð r o t z z r
 (k) R D z V

Dans l'avenir, nous pensons que les résultats que fournira le frontal de MYRTILLE II, présenté au paragraphe A.2.4. permettra d'obtenir des reconnaissances acoustico-phonétiques de meilleure qualité et donc d'améliorer globalement les résultats de reconnaissances du système MYRTILLE II.

5.2.2. Tests de reconnaissance de phrases

Compte tenu des limites du décodage acoustico-phonétique, nous avons testé la partie de compréhension de phrases que nous avons développée en combinant trois types de tests :

(i) tout un ensemble de tests a été réalisé en simulant entièrement les niveaux de traitement phonétique à partir d'une console : le système propose des hypothèses, et l'utilisateur valide ou rejette ces hypothèses à la place d'un module de reconnaissance de mot. De tels tests nous ont permis de tester la cohérence des traitements mis en œuvre au niveau syntaxico-sémantique.

Les deux premiers exemples fournis en annexe 4 correspondent à une trace d'exécution de ce type de test qui permet de bien juger du fonctionnement du système ;

(ii) un second type de test fut réalisé, après mise en œuvre du lexique phonétique et de la procédure de reconnaissance de mot, sur des chaînes de pseudo-phonèmes simulées, compte tenu des limites actuelles des niveaux acoustico-phonétiques. Ce test a porté sur des phrases assez longues et les exemples 3 et 4 fournis en annexe 4 correspondent à ce type de test ;

(iii) Enfin, un troisième type de test fut réalisé à partir de chaînes de pseudo-phonèmes fournies par le système acoustico-phonétique de type "centi-seconde". Ce test portait sur des phrases courtes (moins de deux secondes de parole), et des exemples de résultats obtenus dans ce cas sont donnés en annexe 4 (exemples 5 et suivants).

5.2.3. Apports et limites de ces résultats

En l'état actuel des tests effectués, il est impossible de fournir des taux de reconnaissance pour le système MYRTILLE II, et ce n'était d'ailleurs pas le but de nos études. Néanmoins, nous pouvons affirmer que le système MYRTILLE II reconnaît des phrases

françaises tirées d'une application utilisant un vocabulaire de plus de 300 mots : les renseignements météorologiques.

Le temps de calcul nous importait peu, et nous n'avons pas cherché à optimiser les algorithmes mis en œuvre du point de vue temps d'exécution. Malgré cela, le temps de reconnaissance reste très honnête : de l'ordre de quelques secondes par phrase, avec néanmoins des écarts très importants suivant le nombre de retours en arrière effectués.

Ce que nous voulions avant tout tester, c'était la validité et la robustesse du modèle de définition du langage que nous avons proposé : réseaux à nœuds procéduraux et lexique. Les résultats obtenus sont très encourageants, comme le montre l'annexe 4, et nous avons maintenant un outil de recherche, le système MYRTILLE II, qui va sans doute nous fournir matière à travailler pendant de longues années. Car plus qu'une fin, les résultats obtenus suscitent une poursuite suivant divers axes que nous allons maintenant rapidement présenter.

5.3. POURSUITES ET AMELIORATIONS PREVUES

5.3.1. Mise en œuvre de nouvelles stratégies de recherche

La version actuelle du système fonctionne suivant une stratégie de type gauche-droite et meilleur d'abord. Nous avons en cours une seconde version qui devrait intégrer la notion d'"éléments principaux consistants" définie au paragraphe C.4.5. et pour laquelle

nous envisageons une stratégie de type recherche en faisceaux procédant par îlots de confiance.

Parallèlement à ce travail, nous réfléchissons à la définition d'un nouvel ordre au sein de l'ensemble des solutions partielles. Jusqu' alors la mesure utilisée ne prenait en compte que les scores de reconnaissance des mots inclus dans chaque solution partielle ; nous envisageons d'y intégrer une composante supplémentaire permettant de mieux comparer entre elles deux solutions partielles en s'appuyant sur les caractéristiques des arbres syntaxico-sémantiques développés. De telles études devraient nous conduire à déterminer des retours en arrière ne portant plus uniquement sur les mots reconnus, mais s'appuyant essentiellement sur les arbres-solutions partielles - obtenus.

5.3.2. Aide à la conception du lexique

Le système MYRTILLE II a été conçu de façon à pouvoir être paramétré grâce à la définition du lexique propre à chaque application. Pour cela, comme nous l'avons vu au chapitre B.5., il est nécessaire de travailler à la mise en œuvre d'outils d'aide à la conception et à la réalisation de tels lexiques. Actuellement le concepteur est obligé de passer par une phase de description manuelle longue à obtenir et pour laquelle nous ne proposons pas pour l'instant de méthodologie particulière.

L'une des poursuites importantes de ce travail s'oriente donc vers l'élaboration d'outils d'aide à la définition de tels lexiques suivant deux axes principaux :

(i) Définition du lexique syntaxico-sémantique : L'objectif est la réalisation d'un logiciel qui, à partir d'exemples, construirait ce lexique en se chargeant le plus possible de la phase délicate de découpage du lexique en classes syntaxico-sémantiques et de définitions des attributs liées à chaque sous-classe. Pour ce faire, nous envisageons un système combinant deux types d'activités :

- accumulation de connaissances à partir d'exemples fournis par le concepteur ;
- contrôle du système par validation ou rejet de phrases proposées par le système.

(ii) Définition du lexique phonétique : Cet aspect devrait déboucher vers la construction automatique des représentations phonétiques de référence des mots en s'appuyant sur un module de transcription automatique graphème - phonème et une batterie de règles d'altérations phonologiques permettant de rendre compte des principales modifications que subit un phonème dans un contexte donné.

5.3.3. Mise en œuvre du parallélisme

Bien que la version actuelle soit une version mono-processeur, l'organisation générale du système MYRTILLE II est foncièrement parallèle. Nous travaillons depuis quelque temps à la définition d'une version dans laquelle les principaux modules : SEMAN, PARSEUR, PROPHON, RECON sont traités comme autant de processus travaillant en parallèle.

La réalisation d'une première version de type séquentielle nous a permis de tester les algorithmes fondamentaux mis en œuvre

dans MYRTILLE II, mais il est certain qu'un tel système est appelé, à brève échéance, à être implanté sur une architecture de type multi-micro-processeur pour pouvoir être effectivement utilisable.

CONCLUSION DE LA PARTIE C

Cette troisième partie nous a permis de décrire l'état de réalisation du système MYRTILLE. Après avoir rappelé les résultats obtenus avec le système MYRTILLE I, nous avons présenté le système MYRTILLE II, son langage, son application, son organisation interne, ses résultats.

Les résultats obtenus permettent de valider notre approche mais, plutôt que de conclure, nous voudrions insister sur le fait que ces réalisations sont pour nous une étape et non le terme de nos recherches. Quel mot impropre, en effet, que ce mot de "conclusion" pour terminer la présentation d'un système que nous considérons essentiellement comme un outil de recherche. Et que d'insatisfactions aussi en voyant tout ce que nous voudrions déjà ajouter, modifier ou parfaire dans ce système sans pour autant, et c'est là notre satisfaction, y retrancher quoique ce soit.

CONCLUSION

L'objectif de notre travail a été d'étudier la mise en œuvre d'informations linguistiques (syntaxe, sémantique, pragmatique...) en compréhension automatique du discours continu.

La première partie de cette thèse nous a permis de replacer nos recherches dans un contexte général. En présentant successivement la communication orale et les recherches effectuées jusqu'alors en reconnaissance de la parole, nous avons déterminé les objectifs précis de notre travail : définir et mettre en œuvre un système de compréhension d'un sous-ensemble assez étendu du français parlé, paramétré par l'application à traiter et intégrant un dialogue actif entre l'homme et la machine.

La seconde partie a été entièrement consacrée à l'étude des diverses sources d'informations et de leurs stratégies d'utilisation en compréhension automatique de la parole. Souhaitant obtenir divers niveaux de paramétrisation, nous avons été amenés à proposer dans un premier temps une classification originale des diverses sources d'informations utilisées. La distinction classique entre syntaxe et sémantique ne nous satisfaisant pas, nous avons proposé une classification distinguant :

- les informations liées à la structure du langage ;
- les informations liées à l'application mise en œuvre ;
- les informations spécifiques à la parole et au locuteur.

Dans un second temps, nous avons étudié les diverses stratégies d'utilisations possibles de ces informations et présenté les choix effectués dans le système MYRTILLE :

- utilisation d'une stratégie mixte, ascendante et descendante ;
- prise en compte simultanée des diverses sources d'informations grâce à une organisation de type pseudo-parallèle permettant de déterminer dynamiquement le type d'informations à mettre en œuvre, sauf dans le cas de langages artificiels où un système guidé par la syntaxe est particulièrement bien adapté (système MYRTILLE I).

Ensuite, après une étude critique des modèles courants de représentation de langages pseudo-naturels, nous avons proposé un modèle de représentation basé sur :

- des réseaux syntaxico-sémantiques à nœuds procéduraux pour rendre compte de la structure du langage ;
- un lexique à hiérarchie multiple pour les informations liées à l'application.

La troisième partie, quant à elle, nous a permis de présenter les réalisations obtenues. Après un rapide rappel sur le système MYRTILLE I, nous avons détaillé le système MYRTILLE II en présentant successivement :

- son organisation générale,
- le langage utilisé dans l'application - test (renseignements météorologiques),
- le fonctionnement général du système,
- les résultats obtenus.

Pour l'un et l'autre de ces deux systèmes, notre principal souci a été de mettre en œuvre et de tester un certain nombre d'idées fonda-

mentales sans vouloir obtenir, dans un premier temps, un système opérationnel en temps réel. Les résultats obtenus pour le système MYRTILLE I, très proche du temps réel, nous permettent maintenant d'envisager des applications concrètes. Quant au système MYRTILLE II, sa version actuelle correspond à une première étape qui nous a permis de valider les modèles proposés tant pour la définition des structures du langage et du lexique que pour l'architecture générale du système.

Malgré l'apport de ces deux systèmes, notre travail ne doit être interprété que comme une contribution à la compréhension de la parole continue et, contrairement à ce que nous entendons ou lisons ici ou là, nous pensons qu'il reste encore beaucoup à faire pour parvenir à la réalisation effective de systèmes permettant la compréhension du discours continu dans sa généralité.

Par contre, si l'on se restreint à un sous-langage particulier, on peut espérer obtenir assez rapidement des systèmes opérationnels dans le cadre d'applications de type mono-locuteur. Existera-t-il dans quelques années sur le marché des systèmes de ce type ? Nous le croyons, et nous espérons que les travaux que nous avons présentés ici contribueront à ce qu'un jour on puisse obtenir un dialogue entre l'homme et la machine en français car, avec les auteurs de [CARR - 79], nous pensons qu'il serait inadmissible "que le dialogue entre l'homme et la machine doive se faire en anglais".

La mise en œuvre industrielle de tels systèmes n'est pas uniquement du ressort de laboratoires universitaires qui ne possèdent pas pour le faire les moyens tant humains que matériels. Ce n'est d'ailleurs pas leur vocation : il reste encore, en effet, beaucoup de problèmes

fondamentaux à résoudre pour accroître les possibilités et les performances de tels systèmes et nous pensons que notre rôle de chercheur est aussi de savoir ne pas perdre de vue que notre mission essentielle est de travailler pour trouver de nouvelles idées et de nouvelles méthodes permettant de résoudre ces problèmes.

Dans ce sens, il nous semble qu'actuellement un effort soutenu doit se poursuivre dans deux axes complémentaires :

- . décodage acoustico-phonétique de la parole, formalisation et utilisation des informations prosodiques, bien que nous ayons peu abordé cet aspect dans ce travail ;
- . traitements linguistiques, en liaison indispensable avec des disciplines connexes fondamentales ou appliquées : linguistique, psychologie cognitive, intelligence artificielle, etc...

Pour notre part, nous envisageons de poursuivre nos études en ce sens, et espérons pouvoir continuer encore longtemps à participer aux recherches en cours en ce domaine.

Nancy, le 5 Mars 1981

ANNEXES

ANNEXE I : RÉSULTATS DU SYSTÈME MYRTILLE I

ANNEXE II : STRUCTURE DU LANGAGE TRAITÉ PAR MYRTILLE II
LES PRINCIPAUX SOUS-RÉSEAUX

ANNEXE III : VOCABULAIRE DE L'APPLICATION-TEST

ANNEXE IV : RÉSULTATS DU SYSTÈME MYRTILLE II

ANNEXE V : PRÉSENTATION SYNOPTIQUE DES SYSTÈMES
MYRTILLE I ET MYRTILLE II (RÉSUMÉ)

ANNEXE I

RESULTATS DU SYSTEME MYRTILLE I

Nous avons regroupé ici quelques résultats obtenus par le système MYRTILLE I.

On y trouvera :

- a) la grammaire du langage de communication avec un standard téléphonique.
- b) les résultats obtenus lors d'une session de test du système MYRTILLE I qui regroupent 10 communications téléphoniques différentes.

On peut remarquer le temps d'exécution du traitement sur IRIS 80 non compte tenu de la reconnaissance phonémique. Sur MITRA 125 le temps global de traitement est de l'ordre de quelques secondes.

- c) un exemple de communication avec la chaîne phonémique simulée, entrée à partir d'une console.

Grammaire du langage.

<PHRASE> ::= <APPEL> <DEMANDE>
<APPEL> ::= Allo <SALUT>
 allo
 <SALUT>
<SALUT> ::= Bonjour <TYPE>
 Bonjour
 <TYPE>
<DEMANDE> ::= <REQUETE> <POLI>
 <REQUETE>
 <POLI>
<POLI> ::= s'il vous plaît Merci
 s'il vous plaît
 Merci
<REQUETE> ::= <INT>
 <AFFIR>
<INT> ::= Pourrais-je <DEM>
 est-ce que je pourrais <DEM>
<AFFIR> ::= Je voudrais <DEM>
 passer-moi <OBJET>
 <OBJET>
<DEM> ::= Parler à <PERS>
 avoir <OBJET>
<PERS> ::= <TYPE> <NOM>
<OBJET> ::= le <QUALIF> de <PERS>
 <PERS>
 le <NUM>
 le <QUAL 1> <NUM>
<QUALIF> ::= Bureau
 <QUAL 1>
<QUAL 1> ::= Poste
 numéro
<TYPE> ::= Monsieur / Madame / Mademoiselle
<NOM> ::= Albert / Dupont / Durand / Pierre / Pierrel /
<NUM> ::= 221 / 222 / 223 / 239 / 240 / 241

DEBUT DE SESSION

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE ****. JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'JE VOUDRAIS POSTE 339'

DESOLE. JE N AI PAS COMPRIS. VEUILLEZ REPETER. JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'JE VOUDRAIS LE POSTE 339'

VOUS AVEZ RIEN DEMANDE LE POSTE 339?

>>> COR: 'OUI'

LE POSTE 339 EST OCCUPE. VOULEZ-VOUS PATIENTER?

>>> COR: 'NON MERCI. JE RAPPellerAI.'

FIN DE COMMUNICATION

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE ****. JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'JE VOUDRAIS PARLER A MADA ME HOUCHEt'

JE VOUS PASSE MME. HOUCHEt

VOUS AVEZ EN LIGNE MME. HOUCHEt

FIN DE COMMUNICATION

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE ****. JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'JE VOUDRAIS AVOIR LE POSTE 340'

VOUS AVEZ BIEN DEMANDE LE POSTE 339?

>>> COR: 'NON LE POSTE 340'

VOUS AVEZ EN LIGNE LE POSTE 340

FIN DE COMMUNICATION

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE ****. JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'JE VOUDRAIS AVOIR MADAME DURAND'

DESOLE. JE N AI PAS COMPRIS. VEUILLEZ REPETER. JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'JE VOUDRAIS AVOIR MADAME DURAND'

JE VOUS PASSE MME. DUPONT

>>> COR: 'ALLO JE VOUDRAIS PARLER A MADAME DURAND'

VOUS AVEZ BIEN DEMANDE MME. DUPONT ?

>>> COR: 'JE VOUDRAIS PARLER A MADAME DURAND'

VEUILLEZ PATIENTER JE VOUS PASSE LA STANDARDISTE

FIN DE COMMUNICATION

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE ****. JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'ALLO BONJOUR MADAME JE VOUDRAIS LE POSTE 223 S.V.P. MERCI'

VOUS AVEZ BIEN DEMANDE LE POSTE 223?

>>> COR: 'OUI'

VOUS AVEZ EN LIGNE LE POSTE 223

FIN DE COMMUNICATION

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE ****. JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'JE VOUDRAIS PARLER A MONSIEUR PIERREL'

VOUS AVEZ BIEN DEMANDE MR. PIERRE ?

>>> COR: 'NON. MONSIEUR PIERREL'

LE POSTE DE MR. PIERREL EST OCCUPE. VOULEZ-VOUS PATIENTER?

>>> COR: 'NON MERCI, JE RAPELLERAI.'

FIN DE COMMUNICATION

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE '***', JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'JE VOUDRAIS PARLER A MONSIEUR PIERREL'

VOUS AVEZ BIEN DEMANDE MR. PIERREL ?

>>> COR: 'OUI'

LE POSTE DE MR. PIERREL EST OCCUPE, VOULEZ-VOUS PATIENTER?

>>> COR: 'OUI'

LIGNE EN ATTENTE

FIN DE COMMUNICATION

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE '***', JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'ALLO BONJOUR ?????? JE VOUDRAIS LE POSTE 223 S.V.P. MERCI'

VOUS AVEZ BIEN DEMANDE LE POSTE 223?

>>> COR: 'JE VOUDRAIS AVOIR LE POSTE 221'

VOUS AVEZ EN LIGNE LE POSTE 221

FIN DE COMMUNICATION

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE '***', JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'JE VOUDRAIS PARLER AMADAME ALBERT'

JE VOUS PASSE MME. ALBERT

VOUS AVEZ EN LIGNE MME. ALBERT

FIN DE COMMUNICATION

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE '***', JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'ALLO JE VOUDRAIS UN RENSEIGNEMENT'

DESOLE, JE N AI PAS COMPRIS, VEUILLEZ REPETER, JE VOUS ECOUTE

>>> COR: 'EUH CE SERAIT POUR UN RENSEIGNEMENT'

VEUILLEZ PATIENTER JE VOUS PASSE LA STANDARDISTE

FIN DE COMMUNICATION

FIN DE SESSION

JMP

STOP 0

JOB STEP 03 TERMINATED AT 10*44*20* AFTER 0000.07 MIN

. CORE USED 0032 DISC USED 0014 WAIT TIME 0000.03

TIME	TIME*CORE	CORE-USE	TIME*DISC	DISC-USE
00.66	29.12	92%	19.85	41%

NS	DS	SHR	SHR	CR	CP
I/O-BYTES	I/O-CALLS	I/O-BYTES	I/O-CALLS	CARDS	CARDS
1610528	838	116784	116	552	00

K 1

05
01
01
00.49
00
00

SELFJOB TERMINATED PIERREL

IUCA 10*44*21*4

DEBUT DE COMMUNICATION

STANDARD AUTOMATIQUE DE ***, JE VOUS ECOUTE

? V J Z
? E AI EU
? J V Z
?AU OU Ø
? B D G
? R L
? E AI I
? T P K
?AI A E
? R L
? E AI EU
? E A I
? B M N
?AI EU E
? F CH S
? E I
? E EU AI
? P T K
? I E IE
?AI E EU
? R L
?AI E EU
? B N M
?AI E
? L R E
? S CH F
?AI E I
?

VOUS AVEZ BIEN DEMANDE MR. PIERREL ?

?OU AU Ø
?AI E I
?

LE POSTE DE MR. PIERREL EST OCCUPE. VOULEZ-VOUS PATIENTER?

? B N M
?ON AN UN
? N B M
?AI E EU
?CH F S
?AI I E
? Z J V
? E EU
? R L N
?AI E A
? P T K
?AI E A
? L R
? E EU AI
?

FIN DE COMMUNICATION

ANNEXE II

STRUCTURE DU LANGAGE TRAITE PAR MYRTILLE II

LES PRINCIPAUX SOUS-RESEAUX

Nous avons regroupé dans cette annexe les schémas des différents sous-réseaux à noeuds procéduraux actuellement mis en oeuvre dans le système MYRTILLE II, précédés de la liste des terminaux et non terminaux utilisés.

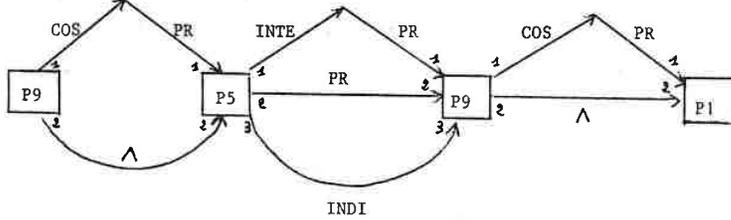
Liste des non terminaux (référence à un sous-réseau) :

CHIF	:	nombre
DATE	:	date
ENON	:	ensemble de l'énoncé
GC	:	groupe circonstanciel
GCOM	:	groupe complément
GL	:	groupe complément de lieu
GN	:	groupe nominal
GS	:	groupe sujet
GV	:	groupe verbal
INDI	:	interrogative indirecte
INF	:	infinitive
INTE	:	groupe interrogatif
PR	:	proposition
RELA	:	relative
SGV	:	suite verbale

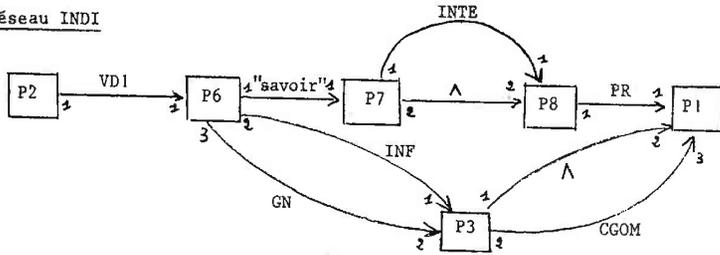
Liste des terminaux (accès au lexique) :

ADINT : adverbe interrogatif
ADJINT : adjectif interrogatif
ADJ : adjectif
ADL : adverbe de lieu
CØ : conjonction de coordination
COS : conjonction de subordination
DET : déterminant
DIZJ : 10,20,30
DIZ1 : 20,30,40,50
DIZ2 : 60,80
GLP : groupe locution circonstancielle
JOUR : lundi,...,dimanche
MOIS : janvier,...,février
NOM : nom
NOMP : nom propre
PREP : préposition
PRINT : pronom interrogatif
PRL : préposition de lieu
PRN : pronom
PRSV : préposition dans SCV
UNIT1 : 1,...,9
UNIT2 : 1,...,19
VD1 : je voudrais, j'aimerais, je désire(rais)..
V : verbe
^ : élément vide

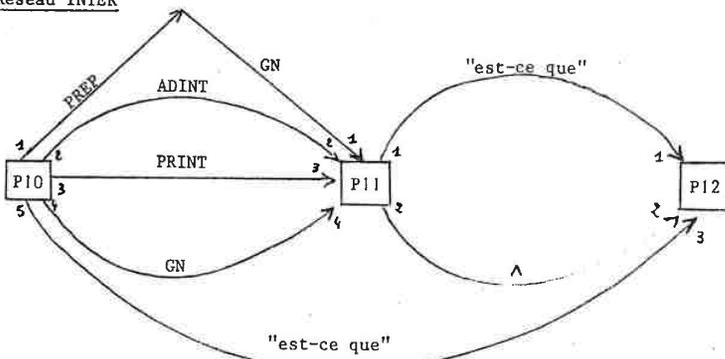
Réseau ENON



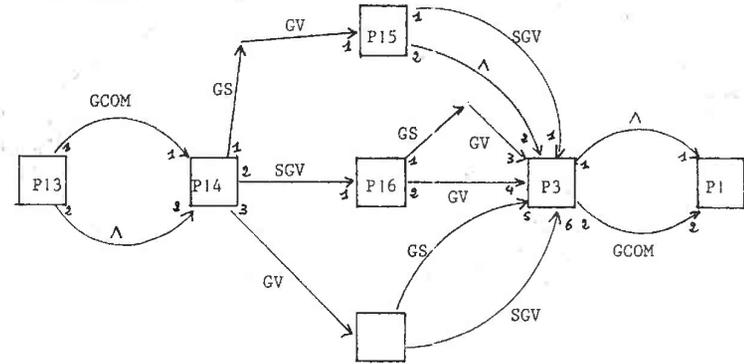
Réseau INDI



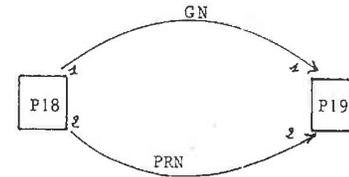
Réseau INTER



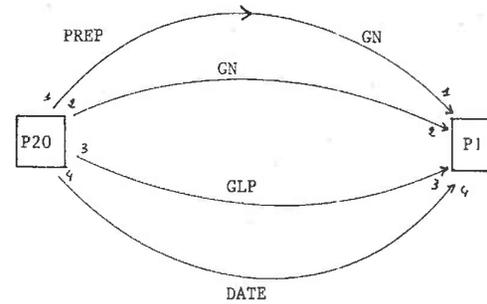
Réseau PR



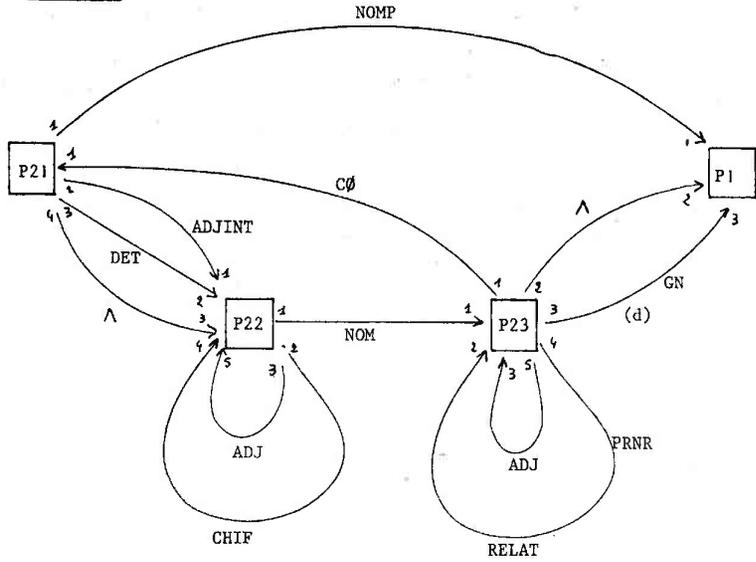
Réseau GS



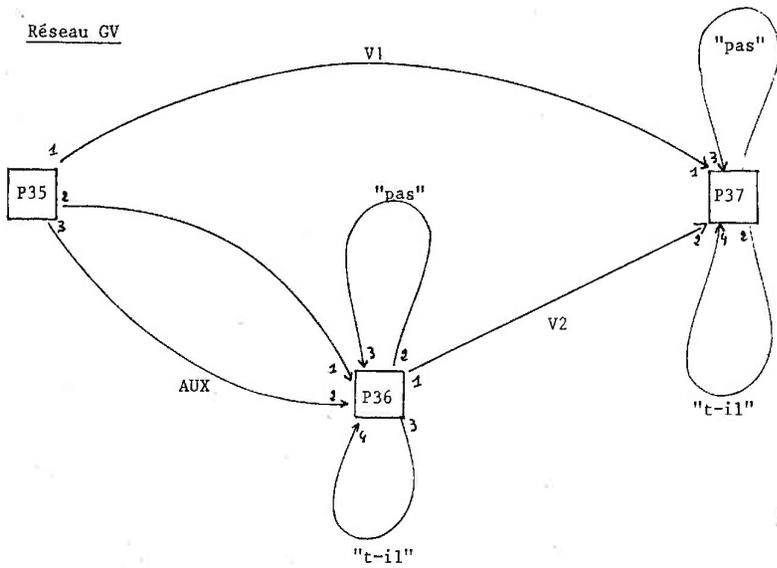
Réseau GC



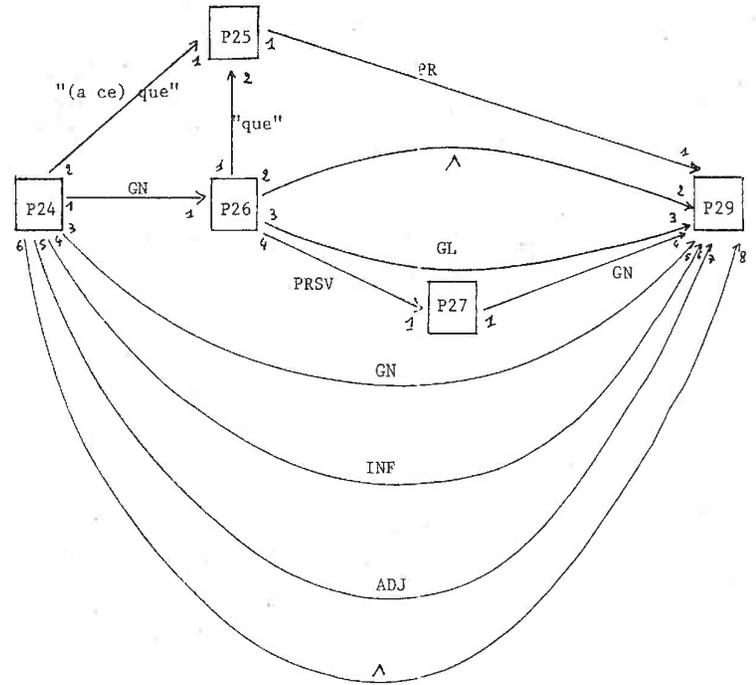
Réseau GN



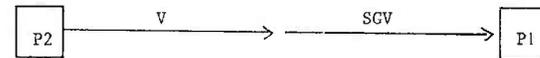
Réseau GV



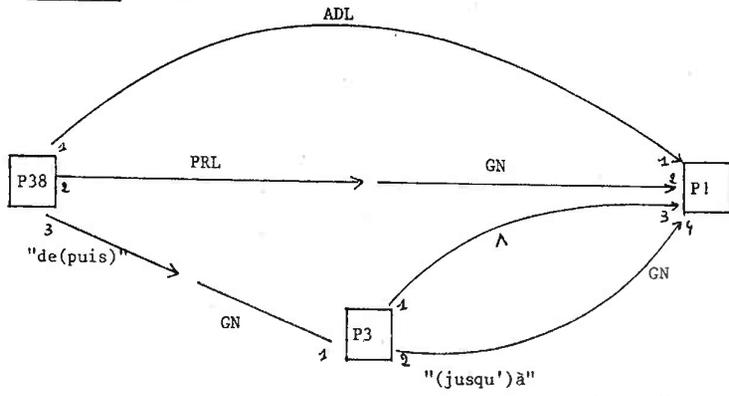
Réseau SGV



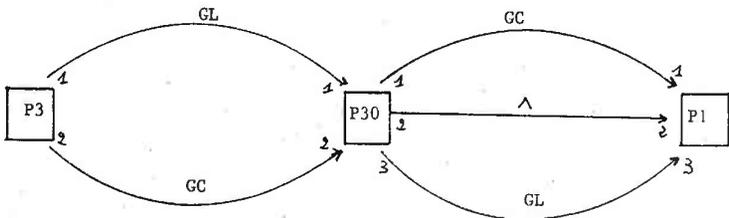
Réseau INF



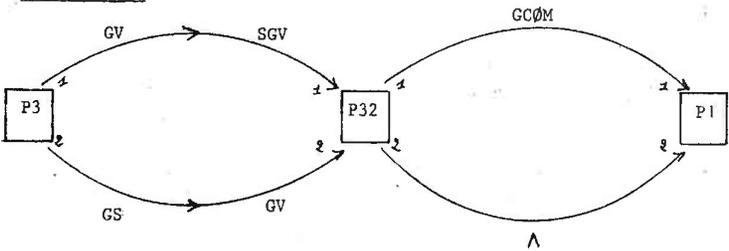
Réseau GL



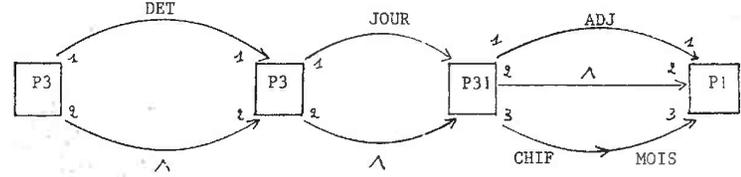
Réseau GCOM



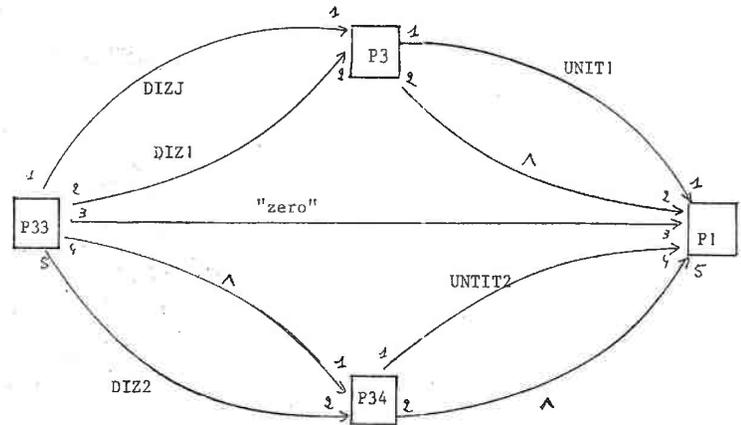
Réseau RELAT



Réseau DATE



Réseau CHIF



ANNEXE III

VOCABULAIRE DE L'APPLICATION-TEST
(CENTRE DE RENSEIGNEMENTS METEOROLOGIQUES)

1.- Terminaux vrais :

est ce que savoir si à ce que pas

2.- Terminaux lexiques figés

2.1.- Adverbes interrogatifs

quand jusqu'à quand depuis quand (d')où par où
combien pourquoi comment

2.2.- Pronoms interrogatifs ou relatifs

qui que

2.3.- Conjonctions de coordination

et ou car mais

2.4.- Conjonctions de subordination

pour que depuis que si parce que bien que
lorsque alors que comme quand

2.5.- Pronoms sujets

je tu il(s) nous vous
elle(s) on

2.6.- Déterminants

quelques aucun ce(t)(t)(s) plusieurs peu de
d(e)(u)(s) beaucoup de un l(e)(a)(s)

2.7.- Prépositions

avant depuis après pour jusqu'à

malgré	a(avec)	de	contre	en
dans	vers	sur	aux alentours de	à côté de
autour de	près de	pendant		

2.8.- Locutions circonstancielles ou adverbess de temps

hier	aujourd'hui	demain	(plus)tôt	(plus)tard
------	-------------	--------	-----------	------------

2.9.- Adverbes de lieu

ici	là	çà et là	(plus)loin	(plus)près
(plus)bas	(plus)haut			

2.10.- Adjectifs interrogatifs

quels	combien de
-------	------------

2.11.- Chiffres

un	deux	trois	quatre	cinq
six	sept	huit	neuf	dix
onze	douze	treize	quatorze	quinze
seize	dix sept	dix huit	dix neuf	

2.12.- Dizaines

vingt	trente	quarante	cinquante	soixante
quatre vingt				

2.13.- Jours

lundi	mardi	mercredi	jeudi	vendredi
samedi	dimanche			

2.14.- Mois

janvier	février	mars	avril	mai
juin	juillet	août	septembre	octobre
novembre	décembre			

3.- Terminaux généraux

3.1.- Verbes

a) verbes de demande

aimer vouloir désirer souhaiter

b) auxiliaires

avoir être pouvoir arriver risquer
aller falloir

c) autres sous classes

- pleuvoir neiger grêler geler
- briller percer
- rencontrer enregistrer relever trouver
- persister se maintenir augmenter diminuer monter descendre
- se lever s'estomper se former disparaître apparaître commencer
- espérer connaître s'attendre prévoir envisager
- gagner menacer éclater tomber
- s'adoucir se refroidir s'améliorer se détériorer
- faire

3.2.- Noms

- pluie neige grêle nuage brouillard
- gelée verglas
- été automne hiver printemps
- écart minimum maximum moyenne épaisseur
- hauteur
- plaque orage tempête chute
- mois jour(née) matin(ée) soir(ée) nuit
- midi après-midi
- risque tendance

- force vitesse direction
- sécheresse redoux humidité
- brume éclaircie soleil vent ciel
- température temps météo
- réchauffement refroidissement amélioration détérioration changement
- hausse baisse diminution augmentation variation
- apparition disparition recul progression formation
- mètre centimètre degré unité
- secteur région zone passage
- formation situation prévision
- Lorraine Alpes Bretagne Bourgogne Vosges
- Pyrénées Aquitaine Corse Alsace Provence
- Jura
- Nancy Epinal Metz Grenoble Tours
- Brest Lyon Nantes Lille Biarritz
- Dijon Toulouse Strasbourg Rennes Bordeaux
- Marseille Nice Cannes Ajaccio Pau
- La Bresse Paris Chamonix

3.3.- Adjectifs

- petit faible léger prévu fort
- important local brusque passager fréquent
- rare sérieux notable gros possible
- modéré
- humide sec lourd doux ensoleillé
- prochain clément dernier pluvieux neigeux
- brumeux orangeux
- chargé court
- stable instable capricieux
- nocturne matinal épars intermittent prochain
- chaud froid frais agréable beau
- exceptionnel

- atmosphérique météorologique
- maximal minimal certain incertain capricieux
moyen appréciable
- isolé menaçant dense nombreux violent
- prochain dernier

ANNEXE IV

RESULTATS DU SYSTEME MYRTILLE II

Dans cette annexe, nous avons regroupé les traces du processus de reconnaissance pour diverses phrases :

a) 2 phrases avec simulation complète du niveau acoustique et phonétique

- "est ce que les risques de petites plaques de verglas diminueront demain dans la région de La Bresse ?"
- "j'aimerais savoir : est ce que quelques orages de grêle ne risquent pas d'éclater sur la Lorraine le 25 septembre ?"

Pour ne pas allonger la présentation, seul le 1er exemple comporte beaucoup de retours en arrière.

b) 2 phrases reconnues à partir de chaînes de pseudo-phonèmes simulées :

- "je voudrais savoir s'il pleut aux alentours de Nancy"
- "Le soleil percera-t-il les nuages samedi prochain"

c) 2 phrases traitées entièrement (on donne le résultat du traitement acoustico-phonétique) :

- "est ce qu'il pleut sur Nancy ?"
- "quand gèlera-t-il ?"

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2, SCORE EN I2 PAR ORDRE DECREISSANT

1 PLUIE	2 NEIGE	3 GRELE	4 NUAGE
5 BROUILLARD	6 GELEE	7 VERGLAS	8 ETE
9 AUTOMNE	10 HIVER	11 PRINTEMPS	12 ECART
13 MINIMUM	14 MAXIMUM	15 MOYENNE	16 EPAISSEUR
17 HAUTEUR	18 PLAGUE	19 DRAGE	20 TEMPETE
21 CHUTE	22 MOIS	23 JOUR(NEE)	24 MATIN(EE)
25 SOIR(EE)	26 NUIT	27 MIDI	28 APRES-MIDI
29 RISQUE	30 TENDANCE	31 FORCE	32 VITESSE
33 DIRECTION	34 SECHERESSE	35 REDOUX	36 HUMIDITE
37 BRUME	38 ECLAIRCIE	39 SOLEIL	40 VENT
41 CIEL	42 TEMPERATURE	43 TEMPS	44 METEO
45 RECHAUFFEMEN	46 REFROIDISSEM	47 AMELIORATION	48 DETERIORATIO
49 CHANGEMENT	50 HAUSSE	51 BAISSSE	52 DIMINUTION
53 AUGMENTATION	54 VARIATION	55 APPARITION	56 DISPARITION
57 REcul	58 PROGRESSION	59 FORMATION	60 PASSAGE
61 FORMATION	62 SITUATION	63 PREVISION	

?29 87

?57 76

?12 65

?

306001 ((EST-CE-QUE) *INTE (((PROCED 23 DE GN ENTREE 1 PPIL= 22

Y-A-T-IL PRESENCE DE K ? (OUI/NON)

?non

Y-A-T-IL PRESENCE DE D ? (OUI/NON)

?oui

DEBUT D ANAL DE GN IND=298 PPIL= 25

PROCED 21 DE GN ENTREE 0 PPIL= 25

PROCED 22 DE GN ENTREE 3 PPIL= 25

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2, SCORE EN I2 PAR ORDRE DECREISSANT

1 PLUIE	2 NEIGE	3 GRELE	4 NUAGE
5 BROUILLARD	6 GELEE	7 VERGLAS	8 PLAGUE
9 DRAGE	10 TEMPETE	11 CHUTE	12 SECHERESSE
13 REDOUX	14 HUMIDITE	15 RECHAUFFEMEN	16 REFROIDISSEM
17 AMELIORATION	18 DETERIORATIO	19 CHANGEMENT	20 HAUSSE
21 BAISSSE	22 DIMINUTION	23 AUGMENTATION	24 VARIATION
25 APPARITION	26 DISPARITION	27 REcul	28 PROGRESSION
29 FORMATION	30 PASSAGE	31 FORMATION	

?01 82

?

301001 ((EST-CE-QUE) *INTE (((RISQUE (PROCED 23 DE GN ENTREE 1 PPIL= 25

Y-A-T-IL PRESENCE DE K ? (OUI/NON)

?oui

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2, SCORE EN I2 PAR ORDRE DECREISSANT

1 OUI	2 QUE
-------	-------

?

On peut remarquer

- a) le test du nom n'est pas précédé du test du déterminant ; en effet les déterminants les plus courants : l(e)(a)(s) un(e)etc... ne sont en général pas détectables.

Hypothèses validées : "risque", "recul", "écart".

Test après "risque" de la présence

- d'une relative (|k|, début de "qui" ou "que") non validée
- d'un complément du nom (|d| début de "de") validée

noms pouvant être compléments du mot "risque"
 les critères sémantiques permettent une restriction des hypothèses (31 au lieu de 63).

→ reconnaissance de "pluie"

- après "pluie" seule la relative est testée car le lexique n'autorise pas de compléments du nom
- présence de qui et que non validée

PROCED 1 DE GN ENTREE 2 PPIL= 25
 --->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GN
 PROCED 1 DE GN ENTREE 3 PPIL= 22
 --->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GS
 PROCED 19 DE GS ENTREE 2 PPIL= 13
 --->>FIN D ANALYSE DE GS ON REPART DANS PR
 DEBUT D ANAL DE GV IND=174 PPIL= 28
 PROCED 35 DE GV ENTREE 0 PPIL= 28
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT
 1 PERSISTER 2 SE-MAINTENIR 3 AUGMENTER 4 DIMINUER
 5 MONTER 6 DESCENDRE 7 GAGNER 8 MENACER
 9 ECLATER 10 TOMBER

?
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT
 1 AVOIR 2 ETRE 3 POUVOIR 4 ARRIVER
 5 RISQUER 6 ALLER 7 FALLOIR

?
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT
 1 FAIBLE 2 LEGER 3 PREVU 4 IMPORTANT
 5 LOCAL 6 BRUSQUE 7 PASSAGER 8 FREQUENT
 9 NOTABLE 10 POSSIBLE 11 MODERE 12 NOCTURNE
 13 MATINAL 14 EPARS 15 INTERMITTANT 16 ISOLE
 17 MENACANT 18 DENSE 19 NOMBREUX 20 VIOLENT

?14 62
 ?
 405003 ((EST-CE-GUE) *INTE (((RISQUE (PLUIE
 PROCED 23 DE GN ENTREE 3 PPIL= 25

Y-A-T-IL PRESENCE DE K ? (OUI/NON)
 ?non
 PROCED 1 DE GN ENTREE 2 PPIL= 25
 --->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GN
 PROCED 1 DE GN ENTREE 3 PPIL= 22
 --->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GS
 PROCED 19 DE GS ENTREE 2 PPIL= 13
 --->>FIN D ANALYSE DE GS ON REPART DANS PR
 DEBUT D ANAL DE GV IND=174 PPIL= 31
 PROCED 35 DE GV ENTREE 0 PPIL= 31
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT
 1 PERSISTER 2 SE-MAINTENIR 3 AUGMENTER 4 DIMINUER
 5 MONTER 6 DESCENDRE 7 GAGNER 8 MENACER
 9 ECLATER 10 TOMBER

?
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT
 1 AVOIR 2 ETRE 3 POUVOIR 4 ARRIVER
 5 RISQUER 6 ALLER 7 FALLOIR

?

fin du groupe nominal, on retient comme sujet
 "risque de pluie"

} Test du verbe :
 aucun verbe n'est validé après un tel sujet

on tente de compléter le groupe sujet en y adjoignant un adjectif
 épithète.

reconnaissance de "épars"

Ne trouvant pas de plosive, début éventuel d'une relative,
 on termine le groupe nominal,
 on obtient donc comme sujet :
 "risque de pluies éparses"

} tentative infructueuse de reconnaissance d'un verbe après un
 tel sujet.

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2, SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

- | | | | |
|-------------|-------------|------------|-------------|
| 1 PETIT | 2 FAIBLE | 3 LEGER | 4 FORT |
| 5 IMPORTANT | 6 BRUSQUE | 7 FREQUENT | 8 RARE |
| 9 SERIEUX | 10 NOTABLE | 11 GROS | 12 POSSIBLE |
| 13 PROCHAIN | 14 PROCHAIN | | |

?01 87

?

401001 ((EST-CE-QUE) *INTE (((RISQUE (

PROCED 22 DE GN ENTREE 5 PPIL= 25

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2, SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

- | | | | |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 PASSAGE | 2 FORMATION | 3 APPARITION | 4 DISPARITION |
| 5 REcul | 6 PROGRESSION | 7 FORMATION | 8 RECHAUFFEMEN |
| 9 REFROIDISSEM | 10 AMELIORATION | 11 DETERIORATIO | 12 CHANGEMENT |
| 13 HAUSSE | 14 BAISSSE | 15 DIMINUTION | 16 AUGMENTATION |
| 17 VARIATION | 18 SECHERESSE | 19 REDOUX | 20 HUMIDITE |
| 21 PLAGUE | 22 ORAGE | 23 TEMPETE | 24 CHUTE |
| 25 PLUIE | 26 NEIGE | 27 GRELE | 28 NUAGE |
| 29 BROUILLARD | 30 GELEE | 31 VERGLAS | |

?21 94

?25 61

?

304001 ((EST-CE-QUE) *INTE (((RISQUE (PETIT

PROCED 23 DE GN ENTREE 1 PPIL= 25

Y-A-T-IL PRESENCE DE K ? (OUI/NON)

?non

Y-A-T-IL PRESENCE DE D ? (OUI/NON)

?oui

DEBUT D ANAL DE GN IND=298 PPIL= 34

PROCED 21 DE GN ENTREE 0 PPIL= 34

PROCED 22 DE GN ENTREE 3 PPIL= 34

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2, SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

- | | | | |
|--------------|---------|-----------|---------|
| 1 PLUIE | 2 NEIGE | 3 GRELE | 4 NUAGE |
| 5 BROUILLARD | 6 GELEE | 7 VERGLAS | |

?07 86

?

301007 ((EST-CE-QUE) *INTE (((RISQUE (PETIT PLAGUE (

PROCED 23 DE GN ENTREE 1 PPIL= 34

Y-A-T-IL PRESENCE DE K ? (OUI/NON)

?non

PROCED 1 DE GN ENTREE 2 PPIL= 34

--->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GN

PROCED 1 DE GN ENTREE 3 PPIL= 25

--->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GN

PROCED 1 DE GN ENTREE 3 PPIL= 22

--->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GS

PROCED 19 DE GS ENTREE 2 PPIL= 13

--->>FIN D ANALYSE DE GS ON REPART DANS PR

retour en arriere, on garde "risque de"

et on tente la reconnaissance d'un adjectif épithète devant le complément du nom

reconnaissance de "petit" => "risque de petite(s)"

} noms pouvant être compléments du nom "risque"

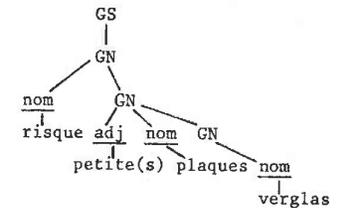
reconnaissance de "plaque(s)" et "pluie(s)"
=> "risque de petites plaques"

il y a présence de |d| on tente la reconnaissance d'un complément du nom "plaques"

seules 7 hypothèses sont émises

reconnaissance de verglas

non présence de "qui" ou "que"
on termine le groupe sujet
qui est de la forme :



DEBUT D ANAL DE GV IND=174 PPIL= 37
 PROCED 35 DE GV ENTREE 0 PPIL= 37
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 PERSISTER	2 SE-MAINTENIR	3 AUGMENTER	4 DIMINUER
5 MONTER	6 DESCENDRE	7 GAGNER	8 MENACER
9 ECLATER	10 TOMBER		

?04 78
 ?
 504004 ((EST-CE-QUE) *INTE (((RISQUE (PETIT PLAQUE (VERG
 LAS) *GN) *GN) *GN) *GS (((DIMINUER) *GV () *SGV (((

test du verbe

reconnaissance de "diminuer"

Y-A-T-IL PRESENCE DE PAS
 ?non
 --->>FIN D ANALYSE DE GV ON REPART DANS PR
 PROCED 15 DE PR ENTREE 1 PPIL= 10
 DEBUT D ANAL DE SGV IND=183 PPIL= 40
 PROCED 24 DE SGV ENTREE 0 PPIL= 40
 PROCED 29 DE SGV ENTREE 7 PPIL= 40
 --->>FIN D ANALYSE DE SGV ON REPART DANS PR
 PROCED 3 DE PR ENTREE 1 PPIL= 10

la suite verbale de diminuer peut être :
 (i) suite verbale vide
 (2) suite verbale du type : "de <GN>
 le système retient tout d'abord la solution (i).

Y-A-T-IL DE LA PLACE POUR UNE SUBORD. OU UN COMPLEM
 ?oui

DEBUT D ANAL DE GCOM IND=205 PPIL= 43
 PROCED 3 DE GCOM ENTREE 0 PPIL= 43
 DEBUT D ANAL DE GL IND=481 PPIL= 46
 PROCED 38 DE GL ENTREE 0 PPIL= 46
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 DEPUIS	2 ICI	3 LA	4 CA-ET-LA
5 (PLUS)LOIN	6 (PLUS)BAS	7 (PLUS)PRES	8 (PLUS)HAUT
9 EN	10 DANS	11 VERS	12 SUR
13 AU-ALENTOUR	14 A-COTE		

Il reste à tester les compléments circonstanciels car on n'est pas arrivé à la fin du treillis d'entrée.

le début d'un groupe circonstanciel de lieu n'est pas validé.

DEBUT D ANAL DE GC IND=484 PPIL= 49
 PROCED 20 DE GC ENTREE 0 PPIL= 49
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 HIER	2 PLUS-TARD	3 AUJOURD'HUI	4 PLUS-TOT
5 DEMAIN	6 AVANT	7 DEPUIS	8 APRES
9 POUR	10 JUSQU'A	11 MALGRE	

on tente la reconnaissance du début d'un complément circonstanciel de temps.

?05 79
 ?
 212005 ((EST-CE-QUE) *INTE (((RISQUE (PETIT PLAQUE (VERG
 LAS) *GN) *GN) *GN) *GS (DIMINUER) *GV () *SGV (((

reconnaissance de "demain"

Y-A-T-IL DE LA PLACE POUR UNE SUBORD. OU UN COMPLEM
 ?oui
 DEBUT D ANAL DE GL IND=493 PPIL= 52
 PROCED 38 DE GL ENTREE 0 PPIL= 52

il y a encore autre chose, on va tester maintenant un groupe circonstanciel de lieu.

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

- | | | | |
|----------------|-------------|--------------|--------------|
| 1 DEPUIS | 2 ICI | 3 LA | 4 CA-ET-LA |
| 5 (PLUS)LOIN | 6 (PLUS)BAS | 7 (PLUS)PRES | 8 (PLUS)HAUT |
| 9 EN | 10 DANS | 11 VERS | 12 SUR |
| 13 AU-ALENTOUR | 14 A-COTE | | |

?10 65

?

214002 ((EST-CE-QUE) *INTE (((RISQUE (PETIT PLAQUE (VERG
 LAS) *GN) *GN) *GN) *GS (DIMINUER) *GV () *SGV ((

DEBUT D ANAL DE GN IND=454 PPIL= 55

PROCED 21 DE GN ENTREE 0 PPIL= 55

PROCED 22 DE GN ENTREE 3 PPIL= 55

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

- | | | | |
|-------------|--------------|---------------|------------|
| 1 SECTEUR | 2 REGION | 3 ZONE | 4 PASSAGE |
| 5 FORMATION | 6 SITUATION | 7 PREVISION | 8 LORRAINE |
| 9 ALPES | 10 BRETAGNE | 11 BO COGNE | 12 VOSGES |
| 13 PYRENEES | 14 AQUITAINE | 15 CORSE | 16 ALSACE |
| 17 PROVENCE | 18 JURA | 19 NANCY | 20 EPINAL |
| 21 METZ | 22 GRENOBLE | 23 TOURS | 24 BREST |
| 25 LYON | 26 NANTES | 27 LILLE | 28 BIARITZ |
| 29 DIJON | 30 TOULOUSE | 31 STRASBOURG | 32 RENNES |
| 33 BORDEAUX | 34 MARSEILLE | 35 NICE | 36 CANNES |
| 37 AJACCIO | 38 PAU | 39 LA-BRESSE | 40 PARIS |
| 41 CHAMONIX | | | |

?02 78

?32 67

?

314002 ((EST-CE-QUE) *INTE (((RISQUE (PETIT PLAQUE (VERG
 LAS) *GN) *GN) *GN) *GS (DIMINUER) *GV () *SGV ((

DEBUT D ANAL DE GN IND=298 PPIL= 55

Y-A-T-IL PRESENCE DE K ? (OUI/NON)

?non

Y-A-T-IL PRESENCE DE D ? (OUI/NON)

?oui

DEBUT D ANAL DE GN IND=298 PPIL= 58

PROCED 21 DE GN ENTREE 0 PPIL= 58

PROCED 22 DE GN ENTREE 3 PPIL= 58

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

- | | | | |
|---------------|------------|-------------|--------------|
| 1 NANCY | 2 EPINAL | 3 METZ | 4 GRENOBLE |
| 5 TOURS | 6 BREST | 7 LYON | 8 NANTES |
| 9 LILLE | 10 BIARITZ | 11 DIJON | 12 TOULOUSE |
| 13 STRASBOURG | 14 RENNES | 15 BORDEAUX | 16 MARSEILLE |
| 17 NICE | 18 CANNES | 19 AJACCIO | 20 PAU |
| 21 LA-BRESSE | 22 PARIS | 23 CHAMONIX | |

?21 78

?

reconnaissance de "dans"

noms pouvant dominer un groupe circonstanciel de lieu.

reconnaissance de "région" et "Rennes".

La présence d'une plosive sonore nous amène à tester un complément du nom "région".

reconnaissance de "La Bresse".

```

318021 ( (EST-CE-QUE ) *INTE ( ( (RISQUE (PETIT PLAQUE (VERG
LAS ) *GN ) *GN ) *GN ) *GS (DIMINUER) *GV ( ) *SGV ( (
DEMAIN ) *GC (DANS (REGION (
PROCED 23 DE GN ENTREE 1 PPIL= 58
PROCED 1 DE GN ENTREE 2 PPIL= 58
--->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GN
PROCED 1 DE GN ENTREE 3 PPIL= 55
--->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GL
PROCED 1 DE GL ENTREE 2 PPIL= 52
--->>FIN D ANALYSE DE GL ON REPART DANS GCOM
PROCED 1 DE GCOM ENTREE 3 PPIL= 43
--->>FIN D ANALYSE DE GCOM ON REPART DANS PR
PROCED 1 DE PR ENTREE 2 PPIL= 10
--->>FIN D ANALYSE DE PR ON REPART DANS ENON
PROCED 9 DE ENON ENTREE 1 PPIL= 4
CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT
1 POUR-QUE 2 DEPUIS-QUE 3 SI 4 PARCE-QUE
5 BIEN-QUE 6 LORSQUE 7 ALORSQUE 8 COMME
?
PROCED 1 DE ENON ENTREE 2 PPIL= 4
--->>FIN D ANALYSE DE ENON ON REPART DANS

```

PHRASE RECONNUE

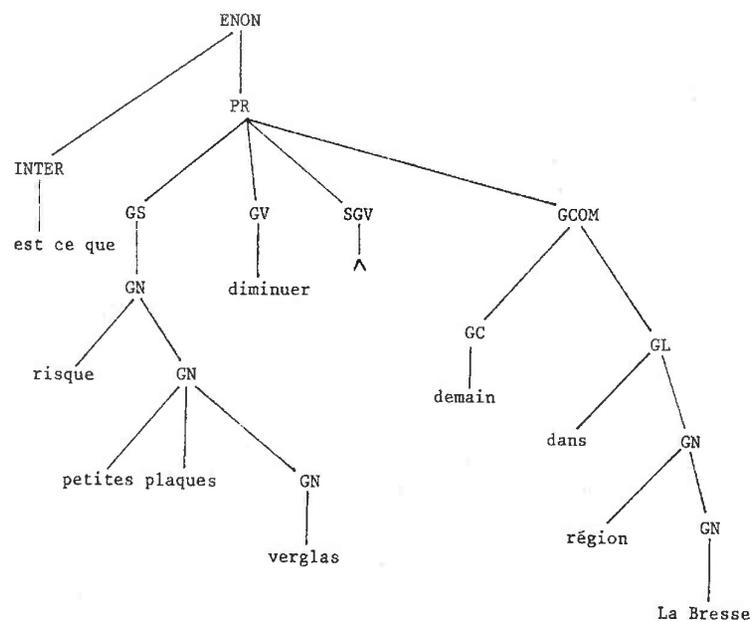
```

( (EST-CE-QUE ) *INTE ( ( (RISQUE (PETIT PLAQUE (VERGLAS
) *GN ) *GN ) *GN ) *GS (DIMINUER) *GV ( ) *SGV ( (DEMAIN
) *GC (DANS (REGION (LA-BRESSE ) *GN ) *GN ) *GL ) *GCOM) *
PR ) *ENON

```

un nom propre ne pouvant pas être qualifié, on termine la reconnaissance après avoir vérifié qu'il n'y avait pas de subordonnée à la fin de l'énoncé.

résultat de la reconnaissance



myrtille

EXECUTION F4LIB VERSION V1002 20*14*11*
DEBUT D ANAL DE ENON IND= 1 PPIL= 4
PROCED 9 DE ENON ENTREE 0 PPIL= 4
PROCED 5 DE ENON ENTREE 2 PPIL= 4

INTONATION MONTANTE?(OUI/NON)

?oui

DEBUT D ANAL DE INTE IND= 27 PPIL= 7
PROCED 10 DE INTE ENTREE 0 PPIL= 7

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 EST-CE-QUE	2 AVANT	3 DEPUIS	4 APRES
5 POUR	6 JUSQU'A	7 MALGRE	8 QUAND
9 JUSQUA-QUAND	10 DEPUIS-QUAND	11 OU	12 D'OU
13 PAR-OU	14 COMBIEN	15 POURQUOI	16 COMMENT
17 QUI	18 QUE		

?

DEBUT D ANAL DE INDI IND= 34 PPIL= 10

PROCED 2 DE INDI ENTREE 0 PPIL= 10

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 J'AIMERAIS	2 JE-VOUDRAIS	3 JE-DESIRE(RA	4 JE-VEUX
5 JE-SOUHAITE(

?01 84

?

203001 ((

PROCED 6 DE INDI ENTREE 1 PPIL= 10

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 SAVOIR

?01 89

?

2 ((J'AIMERAIS

PROCED 7 DE INDI ENTREE 1 PPIL= 10

Y-A-T-IL PRESENCE DE S ? (OUI/NON)

?non

DEBUT D ANAL DE INTE IND= 80 PPIL= 13

PROCED 10 DE INTE ENTREE 0 PPIL= 13

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 EST-CE-QUE	2 AVANT	3 DEPUIS	4 APRES
5 POUR	6 JUSQU'A	7 MALGRE	8 QUAND
9 JUSQUA-QUAND	10 DEPUIS-QUAND	11 OU	12 D'OU
13 PAR-OU	14 COMBIEN	15 POURQUOI	16 COMMENT
17 QUI	18 QUE		

?01 87

?

1 ((J'AIMERAIS SAVOIR (

PROCED 12 DE INTE ENTREE 3 PPIL= 13

->>FIN D ANALYSE DE INTE ON REPART DANS INDI

PROCED 8 DE INDI ENTREE 1 PPIL= 10

DEBUT D ANAL DE PR IND= 86 PPIL= 16

Phrase testée : "j'aimerais savoir : est ce que quelques orages
de grêle ne risquent pas d'éclater sur la
Lorraine le 25 septembre ?"

après test de l'intonation montante :

reconnaissance d'une interrogative commençant par :

"j'aimerais savoir : est ce que ... "

PROCED 13 DE PR ENTREE 0 PPIL= 16
PROCED 14 DE PR ENTREE 2 PPIL= 16
DEBUT D ANAL DE GS IND=173 PPIL= 19
PROCED 18 DE GS ENTREE 0 PPIL= 19

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 JE 2 TU 3 IL 4 NOUS
5 VOUS 6 ELLE 7 ON

DEBUT D ANAL DE GN IND=217 PPIL= 22

PROCED 21 DE GN ENTREE 0 PPIL= 22
PROCED 22 DE GN ENTREE 3 PPIL= 22

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 PLUIE 2 NEIGE 3 GRELE 4 NUAGE
5 BROUILLARD 6 GELEE 7 VERGLAS 8 ETE
9 AUTOMNE 10 HIVER 11 PRINTEMPS 12 ECART
13 MINIMUM 14 MAXIMUM 15 MOYENNE 16 EPAISSEUR
17 HAUTEUR 18 PLAQUE 19 ORAGE 20 TEMPETE
21 CHUTE 22 MOIS 23 JOUR(NEE) 24 MATIN(EE)
25 SOIR(E) 26 NUIT 27 MIDI 28 APRES-MIDI
29 RISQUE 30 TENDANCE 31 FORCE 32 VITESSE
33 DIRECTION 34 SECHERESSE 35 REDOUX 36 HUMIDITE
37 BRUME 38 ECLAIRCIE 39 SOLEIL 40 VENT
41 CIEL 42 TEMPERATURE 43 TEMPS 44 METEO
45 RECHAUFFEMEN 46 REFROIDISSEM 47 AMELIORATION 48 DETERIORATIO
49 CHANGEMENT 50 HAUSSE 51 BAISSSE 52 DIMINUTION
53 AUGMENTATION 54 VARIATION 55 APPARITION 56 DISPARITION
57 REcul 58 PROGRESSION 59 FORMATION 60 PASSAGE
61 FORMATION 62 SITUATION 63 PREVISION

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 PETIT 2 FAIBLE 3 LEGER 4 FORT
5 IMPORTANT 6 BRUSQUE 7 FREQUENT 8 RARE
9 SERIEUX 10 NOTABLE 11 GROS 12 POSSIBLE
13 PROCHAIN 14 CHAUD 15 FROID 16 FRAIS
17 AGREABLE 18 BEAU 19 CERTAIN 20 COURT
21 PROCHAIN

DEBUT D ANAL DE CHIF IND=286 PPIL= 25

PROCED 33 DE CHIF ENTREE 0 PPIL= 25
CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT
1 QUELQUES 2 AUCUN 3 CE(T) 4 PLUSIEURS
5 PEU-DE 6 DE(U) 7 BEAUCOUP-DE 8 UN

?01 85

208001 ((J'AIMERAIS SAVOIR (EST-CE-QUE) *INTE (((

PROCED 22 DE GN ENTREE 2 PPIL= 22
CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

reconnaissance du groupe sujet

après l'échec de la reconnaissance

d'un pronom,

d'un nom,

d'un adjectif éventuel devant le nom,

on tente la reconnaissance d'un déterminant.

On a supposé dans le système MYRTILLE II que la présence d'un déterminant dont la reconnaissance soit pertinente était relativement rare, c'est pourquoi le système teste ce cas en dernier.

reconnaissance de "quelques"

- | | | | |
|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 1 PLUIE | 2 NEIGE | 3 GRELE | 4 NUAGE |
| 5 BROUILLARD | 6 GELEE | 7 VERGLAS | 8 ETE |
| 9 AUTOMNE | 10 HIVER | 11 PRINTEMPS | 12 ECART |
| 13 MINIMUM | 14 MAXIMUM | 15 MOYENNE | 16 EPAISSEUR |
| 17 HAUTEUR | 18 PLAQUE | 19 ORAGE | 20 TEMPETE |
| 21 CHUTE | 22 MOIS | 23 JOUR(NEE) | 24 MATIN(EE) |
| 25 SOIR(EE) | 26 NUIT | 27 MIDI | 28 APRES-MIDI |
| 29 RISQUE | 30 TENDANCE | 31 FORCE | 32 VITESSE |
| 33 DIRECTION | 34 SECHERESSE | 35 REDOUX | 36 HUMIDITE |
| 37 BRUME | 38 ECLAIRCIE | 39 SOLEIL | 40 VENT |
| 41 CIEL | 42 TEMPERATURE | 43 TEMPS | 44 METEO |
| 45 RECHAUFFEMEN | 46 REFRROIDISSEM | 47 AMELIORATION | 48 DETERIORATIO |
| 49 CHANGEMENT | 50 HAUSSE | 51 BAISSSE | 52 DIMINUTION |
| 53 AUGMENTATION | 54 VARIATION | 55 APPARITION | 56 DISPARITION |
| 57 REcul | 58 PROGRESSION | 59 FORMATION | 60 PASSAGE |
| 61 FORMATION | 62 SITUATION | 63 PREVISION | |

?19 72

?
 304002 ((J'AIMERAIS SAVOIR (EST-CE-GUE) *INTE ((QUELQUES
 PROCED 23 DE GN ENTREE 1 PPIL= 22

Y-A-T-IL PRESENCE DE K ? (OUI/NON)
 ?non

Y-A-T-IL PRESENCE DE D ? (OUI/NON)
 ?oui

DEBUT D ANAL DE GN IND=298 PPIL= 28
 PROCED 21 DE GN ENTREE 0 PPIL= 28
 PROCED 22 DE GN ENTREE 3 PPIL= 28
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT
 1 PLUIE 2 NEIGE 3 GRELE 4 NUAGE
 5 BROUILLARD 6 GELEE 7 VERGLAS

?03 72

?
 301003 ((J'AIMERAIS SAVOIR (EST-CE-GUE) *INTE ((QUELQUESORAG
 E ((QUELQUESORAG
 PROCED 23 DE GN ENTREE 1 PPIL= 28

Y-A-T-IL PRESENCE DE K ? (OUI/NON)
 ?non

PROCED 1 DE GN ENTREE 2 PPIL= 28
 --->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GN
 PROCED 1 DE GN ENTREE 3 PPIL= 22
 --->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GS
 PROCED 19 DE GS ENTREE 2 PPIL= 19
 --->>FIN D ANALYSE DE GS ON REPART DANS PR
 DEBUT D ANAL DE GV IND=174 PPIL= 31
 PROCED 35 DE GV ENTREE 0 PPIL= 31
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2.SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT
 1 PERSISTER 2 SE-MAINTENIR 3 AUGMENTER 4 DIMINUER
 5 MONTER 6 DESCENDRE 7 SE-LEVER 8 S'ESTOMPER
 9 SE-FORMER 10 DISPARAITRE 11 APPARAITRE 12 COMMENCER
 13 GAGNER 14 MENACER 15 ECLATER 16 TOMBER

?

reconnaissance de "orage".

La présence d'une plosive sonore rend possible la présence d'un
 complément du nom.

Emission des hypothèses sur les compléments possibles d' "orages" ;
 elles sont très restreintes (7) et pourtant toutes ne sont
 pas pertinentes. Ex : "orages de nuages", "orage de gelée".
 Cela est dû au découpage en sous classes sémantiques qui reste
 très grossies et correspond à un compromis entre l'efficacité
 et le temps de traitement.

reconnaissance de "grêle"

Traitement du groupe verbal

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

- | | | | |
|-------------|--------------|---------------|------------|
| 1 SECTEUR | 2 REGION | 3 ZONE | 4 PASSAGE |
| 5 FORMATION | 6 SITUATION | 7 PREVISION | 8 LORRAINE |
| 9 ALPES | 10 BRETAGNE | 11 BOURGOGNE | 12 VOSGES |
| 13 PYRENEES | 14 AQUITAINE | 15 CORSE | 16 ALSACE |
| 17 PROVENCE | 18 JURA | 19 NANCY | 20 EPINAL |
| 21 METZ | 22 GRENOBLE | 23 TOURS | 24 BREST |
| 25 LYON | 26 NANTES | 27 LILLE | 28 BIARITZ |
| 29 DIJON | 30 TOULOUSE | 31 STRASBOURG | 32 RENNES |
| 33 BORDEAUX | 34 MARSEILLE | 35 NICE | 36 CANNES |
| 37 AJACCIO | 38 PAU | 39 LA-BRESSE | 40 PARIS |
| 41 CHAMONIX | | | |

?08 80

?

317001 ((J'AIMERAIS SAVOIR (EST-CE-QUE) *INTE (((QUELQUESORAG
E (GRELE) *GN) *GN) *GS (RISQUER ECLATER) *GV () *
SGV ((SUR (

PROCED 23 DE GN ENTREE 1 PPIL= 43
PROCED 1 DE GN ENTREE 2 PPIL= 43
--->>FIN D ANALYSE DE GN ON REPART DANS GL
PROCED 1 DE GL ENTREE 2 PPIL= 40
--->>FIN D ANALYSE DE GL ON REPART DANS GCOM
PROCED 30 DE GCOM ENTREE 1 PPIL= 37

Y-A-T-IL DE LA PLACE POUR UNE SUBORD. OU UN COMPLEM

?oui

DEBUT D ANAL DE GC IND=487 PPIL= 46

PROCED 20 DE GC ENTREE 0 PPIL= 46

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

- | | | | |
|----------|-------------|---------------|------------|
| 1 HIER | 2 PLUS-TARD | 3 AUJOURD'HUI | 4 PLUS-TOT |
| 5 DEMAIN | 6 AVANT | 7 DEPUIS | 8 APRES |
| 9 POUR | 10 JUSQU'A | 11 MALGRE | |

?

DEBUT D ANAL DE DATE IND=240 PPIL= 49

PROCED 3 DE DATE ENTREE 0 PPIL= 49

PROCED 3 DE DATE ENTREE 2 PPIL= 49

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

- | | | | |
|------------|----------|------------|---------|
| 1 LUNDI | 2 MARDI | 3 MERCREDI | 4 JEUDI |
| 5 VENDREDI | 6 SAMEDI | 7 DIMANCHE | |

?

PROCED 31 DE DATE ENTREE 2 PPIL= 49

DEBUT D ANAL DE CHIF IND=540 PPIL= 52

PROCED 33 DE CHIF ENTREE 0 PPIL= 52

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

- | | |
|------|------|
| 1 20 | 2 30 |
|------|------|

?01 65

?

221001 ((J'AIMERAIS SAVOIR (EST-CE-QUE) *INTE (((QUELQUESORAG
E (GRELE) *GN) *GN) *GS (RISQUER ECLATER) *GV () *
SGV ((SUR (LORRAINE) *GN) *GL (((

Reconnaissance de "Lorraine"

Après cette reconnaissance on termine tout de suite la reconnaissance du groupe nominal car un nom propre ne peut être qualifié dans MYRTILLE II

ni par un adjectif,

ni par un complément du nom,

ni par une relative.

Test du complément de temps

Echec de la reconnaissance d'un groupe circonstanciel de temps de type groupe nominal prépositionnel ou adverbe.

Test de la DATE.

On reconnaît une date du type :

"20"

PROCED 3 DE CHIF ENTREE 1 PPIL= 52
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 1	2 2	3 3	4 4
5 5	6 6	7 7	8 8
9 9			

?05 67

222005 ((J'AIMERAIS SAVOIR (EST-CE-QUE) *INTE (((QUELQUESORAG
 E (GRELE) *GN) *GN) *GS (RISQUER ECLATER) *GV () *
 SGV ((SUR (LORRAINE) *GN) *GL (((20
 PROCED 1 DE CHIF ENTREE 1 PPIL= 52
 --->>FIN D ANALYSE DE CHIF ON REPART DANS DATE
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 JANVIER	2 FEVRIER	3 MARS	4 AVRIL
5 MAI	6 JUIN	7 JUILLET	8 ADUT
9 SEPTEMBRE	10 OCTOBRE	11 NOVEMBRE	12 DECEMBRE

?09 92

225009 ((J'AIMERAIS SAVOIR (EST-CE-QUE) *INTE (((QUELQUESORAG
 E (GRELE) *GN) *GN) *GS (RISQUER ECLATER) *GV () *
 SGV ((SUR (LORRAINE) *GN) *GL (((20 5) *CHIF
 PROCED 1 DE DATE ENTREE 3 PPIL= 49
 --->>FIN D ANALYSE DE DATE ON REPART DANS GC
 PROCED 1 DE GC ENTREE 4 PPIL= 46
 --->>FIN D ANALYSE DE GC ON REPART DANS GCOM
 PROCED 1 DE GCOM ENTREE 1 PPIL= 37
 --->>FIN D ANALYSE DE GCOM ON REPART DANS PR
 PROCED 1 DE PR ENTREE 2 PPIL= 16
 --->>FIN D ANALYSE DE PR ON REPART DANS INDI
 PROCED 1 DE INDI ENTREE 1 PPIL= 10
 --->>FIN D ANALYSE DE INDI ON REPART DANS ENON
 PROCED 9 DE ENON ENTREE 3 PPIL= 4
 CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?
 REPONSE : NUMERO EN I2,SCORE EN I2 PAR ORDRE DECROISSANT

1 POUR-QUE	2 DEPUIS-QUE	3 SI	4 PARCE-QUE
5 BIEN-QUE	6 LORSQUE	7 ALORSQUE	8 COMME
9 QUAND			

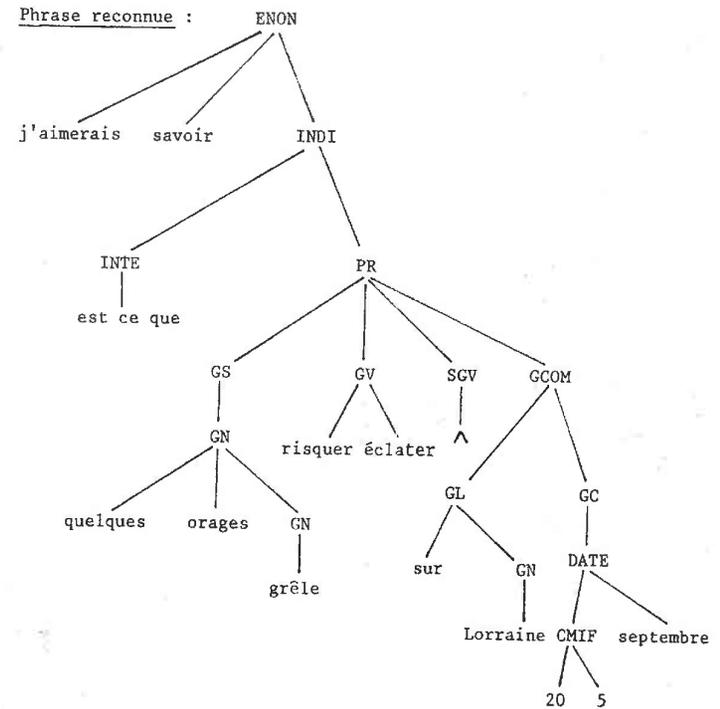
?
 PROCED 1 DE ENON ENTREE 2 PPIL= 4
 --->>FIN D ANALYSE DE ENON ON REPART DANS

PHRASE RECONNUE

((J'AIMERAIS SAVOIR (EST-CE-QUE) *INTE (((QUELQUESORAG
 (GRELE) *GN) *GN) *GS (RISQUER ECLATER) *GV () *SGV (((SUR (LORRAINE) *GN) *GL (((20 5) *CHIFSEPTEMBRE) *
 DATE) *GC) *GCOM) *PR) *INDI) *ENON
 NEGATION DE L ENONCE

"5"

"septembre"



!MYRT2

EXECUTION F4LIB VERSION V11-02 20*24*40*
VOULEZ-VOUS COMME SCORE LA MOYENNE ARITHM.?

?NON

PRISE EN COMPTE DES SUBORDONNES CIRCONS. (OUI, NON)

?NON

SUB=1.0= SEUIL1=50=

? ?

TREP=0.5= SEUIL2=70=

? ?

TELIS=0.5= SEUIL3=45=

? ?

GAMA=0.4=

? ?

FLOUTG=(VALEUR CONSEILLEE 02)

?02

VOULEZ-VOUS LA TRACE DE LA RECONNAISSANCE PHONETIQUE
DE CHAQUE HYPOTHESE ?

?NON

VOULEZ-VOUS UNE TRACE DES HYPO. EMISES?

?OUI

DEBUT D ANAL DE ENON IND= 1 PPIL= 4

PROCED 9 DE ENON ENTREE 0 PPIL= 4

PROCED 5 DE ENON ENTREE 2 PPIL= 4

DEBUT D ANAL DE INTE IND= 27 PPIL= 7

PROCED 10 DE INTE ENTREE 0 PPIL= 7

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

1 EST-CE-GUE	2 AVANT	3 DEPUIS	4 APRES
5 POUR	6 JUSQU'A	7 MALGRE	8 QUAND
9 JUSQUA-QUAND	10 DEPUIS-QUAND	11 OU	12 D'OU
13 PAR-OU	14 COMBIEN	15 POURQUOI	16 COMMENT
17 QUI	18 GUE		

REPONSE DE LA RECONNAISSANCE PHONETIQUE

HYPOTHESE : 6 ENTRE LES PHONEMES 0 ET 5 AVEC UN SCORE DE : 51

209005 ((

DEBUT D ANAL DE GN IND=113 PPIL= 10

PROCED 21 DE GN ENTREE 0 PPIL= 10

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

1 QUEL 2 COMBIEN-DE

REPONSE DE LA RECONNAISSANCE PHONETIQUE

DEBUT D ANAL DE INDI IND= 34 PPIL= 13

PROCED 2 DE INDI ENTREE 0 PPIL= 13

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

1 J'AIMERAIS	2 JE-VOUDRAIS	3 JE-DESIRE(RA	4 JE-VEUX
5 JE-SOUHAITE(

REPONSE DE LA RECONNAISSANCE PHONETIQUE

HYPOTHESE : 2 ENTRE LES PHONEMES 0 ET 5 AVEC UN SCORE DE : 97

203002 ((

PROCED 6 DE INDI ENTREE 1 PPIL= 13

CES MOTS SONT-ILS PRESENT DANS LA CHAINE D ENTREE?

1 SAVOIR

Phrase testée : "je voudrais savoir s'il peut aux alentours de
Nancy"

Chaîne de pseudo-phonèmes : LG = 28

z F y d e F o z o o F s l p e i a l p y l p d m a n s c
z v u t e f a v d a s i r t d s o â t u r d e n â m f i
p s e z k o f t

tentative de reconnaissance d'un groupe interrogatif.

début de la reconnaissance d'un groupe interrogatif
commençant par "jusqu'à ... "

début d'analyse d'une interrogative indirecte

reconnaissance de "Je voudrais"

!MYRT2
 EXECUTION F4LIB VERSION V11-02 20*55*26*
 VOULEZ-VOUS COMME SCORE LA MOYENNE ARITHM.?
 ?OUI
 PRISE EN COMPTE DES SUBORDONNES CIRCONS. (OUI,NDN)
 ?NON
 SUB=1.0=
 ?
 TREP=0.5=
 ?
 TELIS=0.5=
 ?
 GAMA=0.4=
 ?
 SEUIL1=50=
 ?55
 SEUIL2=70=
 ?
 SEUIL3=45=
 ?50
 FLOUTG=(VALEUR CONSEILLEE 02)
 ?02
 VOULEZ-VOUS LA TRACE DE LA RECONNAISSANCE PHONETIQUE
 DE CHAQUE HYPOTHESE ?

?NON
 VOULEZ-VOUS UNE TRACE DES HYPO. EMISES?
 ?NON

309003	((((
502002	((((SOLEIL) *GN) *GS	(
14	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER							
301004	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((
214001	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG						
E) *GN) *SGV	((
318020	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG						
E) *GN) *SGV	((EN								
222001	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG						
E) *GN) *SGV	((EN (PAU) *GN) *GL	(((
222005	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG						
E) *GN) *SGV	((EN (PAU) *GN) *GL	(((
223002	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG						
E) *GN) *SGV	((EN (PAU) *GN) *GL	(((
208008	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG						
E) *GN) *SGV	((EN (PAU) *GN) *GL	(((

PHRASE RECONNUE

((((SOLEIL) *GN) *GS (PERCER T-IL) *GV ((NUAGE
) *GN) *SGV ((EN (PAU) *GN) *GL) *GCOM) *PR) *ENON
 INVERSION DU SUJET PRONOMINAL

SCORE DE RECONNAISSANCE = 100

Phrase testée : "Le soleil percera-t-il les nuages samedi
 prochain".

Chaîne de pseudo-phonèmes LG = 28

l e F o e i p j s j a p i r e m o e b s â â b e p a s ô
 r e s a e j t e F o o t s l e n u o g f a n d i t o j ê
 j > k e j a k a d j o m g k >

Trace simplifiée de la reconnaissance

Codage des mots reconnus

14	t-il	301004	nuage
208008	un(e)	309003	soleil
214001	en	318020	Pau
222001	un(1)	502002	perc
222005	cinq(5)		
223002	onze(11)		

Phrase reconnue : "Le soleil percera-t-il les nuages en Pau"

le score de reconnaissance ne tient pas compte du nombre de
 phonèmes non pris en compte.

REPRESENTATION SYNTAXICO-SEMANTIQUE DE L ENONCE
VOULEZ-VOUS LA REPRESENTATION INTERNE ? (O/N)
?NON

DANS CETTE SOLUTION NOUS AVONS TESTE LES
COMPLEMENTS DANS L ORDRE GL,GC!

DANS LE CAS D UN ORDRE INVERSE NOUS OBTENONS :

224006	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG
E) *GN) *SGV	(((
222005	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG
E) *GN) *SGV	(((SAMEDI (
223004	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG
E) *GN) *SGV	(((SAMEDI (
223005	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG
E) *GN) *SGV	(((SAMEDI (
223002	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG
E) *GN) *SGV	(((SAMEDI (
223006	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG
E) *GN) *SGV	(((SAMEDI (
410001	((((SOLEIL) *GN) *GS	(PERCER T-IL) *GV	((NUAG
E) *GN) *SGV	(((SAMEDI		

PHRASE RECONNUE

((((SOLEIL) *GN) *GS (PERCER T-IL) *GV ((NUAGE
) *GN) *SGV (((SAMEDI PROCHAIN) *DATE) *GC) *GCOM) *PR) *
ENON
INVERSION DU SUJET PRONOMINAL

SCORE DE RECONNAISSANCE = 66

REPRESENTATION SYNTAXICO-SEMANTIQUE DE L ENONCE
VOULEZ-VOUS LA REPRESENTATION INTERNE ? (O/N)
?NON
VOULEZ-VOUS UNE AUTRE SOLUTION
LA SOLUTION CI-DESSUS EST LOCALEMENT LA MEILLEURE
?NON
STOP 0

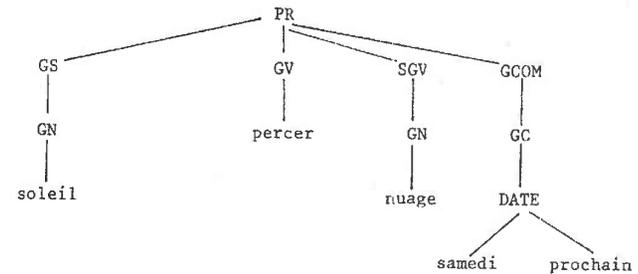
Dans la reconnaissance précédente on avait testé le groupe
complément de lieu en premier.

Dans le cas contraire on obtient :

Codage des mots reconnus

222005 : cinq	223006 : quinze
223002 : onze	224006 : samedi
223004 : treize	410001 : prochain
223005 : quatorze	

Phrase reconnue en seconde position



MYRT2
 EXECUTION F4LIB VERSION V11-02 21*33*33*
 VOULEZ-VOUS COMME SCORE LA MOYENNE ARITHM.?
 ?OUI
 PRISE EN COMPTE DES SUBORDONNES CIRCONS. (OUI, NON)
 ?NON
 SUB=1.0=
 ?
 TREP=0.5=
 ?
 TELIS=0.5=
 ?
 GAMA=0.4=
 ?
 SEUIL1=50=
 ?
 SEUIL2=70=
 ?
 SEUIL3=45=
 ?
 FLOUTG=(VALEUR CONSEILLEE 02)
 ?02
 VOULEZ-VOUS LA TRACE DE LA RECONNAISSANCE PHONETIQUE
 DE CHAQUE HYPOTHESE ?
 ?NON
 VOULEZ-VOUS UNE TRACE DES HYPO. EMISES?
 ?NON

```

209004 ( (
201001 ( (
307001 ( (QUAND ) *INTE ( ( (
303001 ( (QUAND ) *INTE ( ( (
311006 ( (QUAND ) *INTE ( ( (
301001 ( (QUAND ) *INTE ( ( (HAUSSE (
401001 ( (QUAND ) *INTE ( ( (HAUSSE (
208004 ( (QUAND ) *INTE ( ( (HAUSSE (
217007 ( (QUAND ) *INTE ( ( (HAUSSE ) *GN ) *GS (
14 ( (QUAND ) *INTE ( ( (HAUSSE ) *GN ) *GS (FALLOIR
12 ( (QUAND ) *INTE ( ( (HAUSSE ) *GN ) *GS (FALLOIR
217003 ( (QUAND ) *INTE ( ( (HAUSSE ) *GN ) *GS (
14 ( (QUAND ) *INTE ( ( (HAUSSE ) *GN ) *GS (POUVOIR
12 ( (QUAND ) *INTE ( ( (HAUSSE ) *GN ) *GS (POUVOIR
305002 ( (QUAND ) *INTE ( ( (
319008 ( (QUAND ) *INTE ( ( (JOUR(NEE) (
208004 ( (QUAND ) *INTE ( ( (JOUR(NEE) (
405002 ( (QUAND ) *INTE ( ( (JOUR(NEE) (
401005 ( (QUAND ) *INTE ( ( (
309005 ( (QUAND ) *INTE ( ( (FORT
301001 ( (QUAND ) *INTE ( ( (FORT

```

Phrase testée : "quand gâlera-t-il ?"

Résultat du traitement acoustico-phonétique

LG = 11
 ∂ p â F e F a p s i z
 ε t o ʒ ∂ r o t z ʒ r
 r d z l

Trace sommaire de la reconnaissance

Ce test fait apparaître beaucoup de retours en arrière car la construction utilisée est pénalisée dans le réseau à noeuds procéduraux.

Remarque : Voir page suivante le codage des mots reconnus.

On peut remarquer que la plupart des mots reconnus dans cette chaîne de pseudo-phonèmes sont des mots courts.

```

401010 ( (QUAND ) *INTE ( ( (
309005 ( (QUAND ) *INTE ( ( (FREQUENT
401011 ( (QUAND ) *INTE ( ( (
309005 ( (QUAND ) *INTE ( ( (RARE
406002 ( (QUAND ) *INTE ( ( (
309005 ( (QUAND ) *INTE ( ( (FROID
305004 ( (QUAND ) *INTE ( ( (FROID
208003 ( (QUAND ) *INTE ( ( (
307001 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(T
303001 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(T
301001 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(T
309005 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(T
311006 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(T
401005 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(T
309005 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(TFORT
301001 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(TFORT
401001 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(T
401011 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(T
309005 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(TRARE
406002 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(T
309005 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(TFROID
305004 ( (QUAND ) *INTE ( ( (CE(TFROID
501004 ( (QUAND ) *INTE ( (
14 ( (QUAND ) *INTE ( (GELER

```

PHRASE RECONNUE

```

( (QUAND ) *INTE ( (GELER T-IL) *GV ( ) *SGV ) *PR ) *ENDN
INVERSION DU SUJET PRONOMINAL

```

SCORE DE RECONNAISSANCE = 66

```

REPRESENTATION SYNTAXICO-SEMANTIQUE DE L ENONCE
VOULEZ-VOUS LA REPRESENTATION INTERNE ? (O/N)
?NON
VOULEZ-VOUS UNE AUTRE SOLUTION
LA SOLUTION CI-DESSUS EST LOCALEMENT LA MEILLEURE
?NON
*STOP* 0
!
```

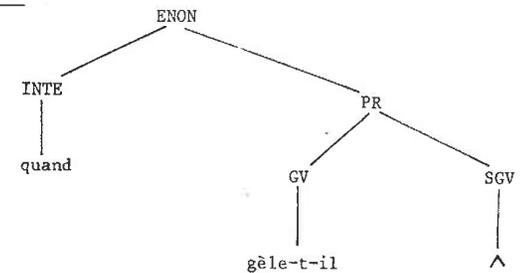
Codage des mots reconnus

```

12 : pas
14 : t-il
201001 : quand
208003 : ce(t)
208004 : plusieurs
209004 : pour
217003 : pouvoir
217007 : falloir
301001 : pluie
303001 : écart
305002 : jour
305004 : soir
307001 : force
309005 : ciel
311006 : hausse
319008 : août
401001 : petit
401005 : fort
401010 : fréquent
401011 : rare
406002 : froid
501004 : geler

```

Phrase reconnue :



ANNEXE V

PRESENTATION SYNOPTIQUE DES SYSTEMES MYRTILLE I

ET MYRTILLE II (RESUME)

SYSTÈME MYRTILLE I

- objectifs : compréhension de langages artificiels
système paramétré par le langage (syntaxe et vocabulaire)
- définition du langage : grammaire à contexte libre
vocabulaire de quelques dizaines de mots
- principe de base : hypothèse - test - validation
- principales informations utilisées lors de l'émission des hypothèses : syntaxe
- organisation : hiérarchisée
système guidé par la syntaxe

- processus : descendant
- sens de la reconnaissance :
de gauche à droite

- stratégie de recherche de solution optimale :
meilleur d'abord

- utilisation d'une procédure de dialogue :
propre à chaque application
- type d'applications possibles :
 - contrôle ou commande de processus
 - application au service de spécialistes

SYSTÈME MYRTILLE II

- objectifs : compréhension de langages pseudo naturels
système paramétré par le vocabulaire de l'application
- définition du langage : réseaux à noeuds procéduraux et lexique
vocabulaire de plus de 300 mots
- principe de base : hypothèse - test - validation
- principales informations utilisées lors de l'émission des hypothèses : syntaxe, sémantique, phonologie
- organisation : pseudo parallèle
coopération entre syntaxe, sémantique, prosodie,
phonologie
- processus : mixte (ascendant descendant)
- sens de la reconnaissance :
de gauche à droite (version 1)
du milieu vers les côtés (en cours de réalisation)
- stratégie de recherche de solution optimale :
- meilleur d'abord+détection d'éléments principaux
- en faisceau (en cours d'étude)
- utilisation d'une procédure de dialogue :
propre à chaque application
- type d'applications possibles :
- centre de renseignements, interrogation de bases
de données
- application grand public

BIBLIOGRAPHIE

Il existe une importante bibliographie dans le domaine ... Celle qui suit ne prétend pas être exhaustive. Elle regroupe un certain nombre d'articles, de communications ou d'ouvrages dont nous avons fait référence dans la présentation de notre travail.

Nous avons choisi pour ces références un ordre alphabétique sur le nom du premier auteur et avons utilisé diverses abréviations pour référencier les revues ou congrès les plus importants dans notre domaine, à savoir :

- Pour les revues

- . I.E.E.E. T.A.S.S.P. : Transactions of Acoustic, Speech and Signal Proceeding of I.E.E.E. et, plus rarement, "Computer" ou "Information Theory".
- . J.A.S.A. : Journal of the Acoustical Society of America.
- . A.I. : Revue "Artificial Intelligence".

- Pour les congrès

- . I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. : International Conference of Acoustic, Speech and Signal Processing (Conference annuelle des I.E.E.E.).
- . J.E.P. - G.A.L.F. : Journée d'Etude sur la Parole du Groupement des Acousticiens de Langue Française.
- . I.J.C.P.R. : International Joint Conference of Pattern Recognition.
- . I.J.C.A.I. : International Joint Conference of Artificial Intelligence.
- . A.F.C.E.T. - R.F. - I.A. : Congrès AFCET "Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle".

[AHO-73]

V.A. AHO and J.D. HULLMANN

"The Theory of Parsing Translation and Compiling",

Vol. 1, Princite Hall, 1972

Vol. 2, Princite Hall, 1973.

[ALIN-78]

P. ALINAT

"Etudes des traits permettant de distinguer les trois classes de consonnes explosives PB, TD, KG".

IX^e J.E.P., G.A.L.F., Lannion, Mai 1978.

[ALTE-68]

R. ALTER

"Utilization of Contextual Constraints in Automatic Speech Recognition".

I.E.E.E., Trans. on Audio and Elect.

Vol. AU-16, n° 1, March 1968.

[ANDR-78]

A. ANDREWSKY et al.

"Une expérience d'aide linguistique à la reconnaissance automatique de la parole".

Note interne du LIMSI, Février 1978.

[ARPA-74]

"The Use of Speech for Man-Computer Communication".

Rapport ARPA, R-1386, January 1974.

[BAHL-78]

L.R. BAHL, F. JELINEK, J.K. BAKER

"Automatic Recognition of Continuous Spoken Sentences from a Finite State Grammar".

I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 78, Tulsa, April 1978, pp. 418-421.

[BAKE-75]

J.K. BAKER

"The DRAGON System : a Overview".

I.E.E.E. T.A.S.S.P., vol. 23, 1975, pp. 24-29.

[BATE-75]

M. BATES

"The Use of Syntax in a Speech Understanding System".
I.E.E.E., T.A.S.S.P., vol. 23, 1975.

[BATT-75]

G. BATTANI, H. MELONI

"Mise en oeuvre de contraintes phonologiques, syntaxiques
et sémantiques dans un système de compréhension automatique
de la parole".
Thèse de 3ème Cycle, Université d'Aix-Marseille, 1975.

[BAUD-78]

M. BAUDRY, B. DUPEYRAT

"Utilisation des méthodes syntaxiques et de filtrage logi-
que en reconnaissance de la parole".
Congrès A.F.C.E.T. - R.F. - I.A., Paris, Février 1978,
pp. 466-479

[B.B.N.-76]

W. WOODS and al.

"Speech Understanding System".
Vol. I - IV, report n° 3438, B.B.N., Cambridge M.A., 1976.

[BEL-78]

C. BELLISANT

"Contribution à l'analyse et à la reconnaissance automati-
que de la parole".
Thèse d'Etat, Grenoble, 1978.

[BELA-79]

A. BELAID

"Reconnaissance structurelle de caractères manuscrits et
de formules mathématiques".
Thèse de 3ème Cycle, Université de Nancy I, 1979.

[BELL-71]

Laboratoires BELL

"Experimental Voice Controlled Device Gives, Command and
Performances".
J.A.S.A., 50, n° 6, 1971, pp. 1450 ...

[BELL-79]

L. BELLENGER

"L'expression orale" Que sais-je ?
1785, P.U.F., 1979.

[BONN-78]

A. BONNET

"BAOBAB, a Parser for a Rule-based System using a Semantic
Grammar".
Stanford Computer Science Dep^t, Report STAN-CS-78-668,
September 1978.

[BREK-79]

H.E. BREKLE

"Sémantique".
Collection linguistique, Armand Colin, Paris, 1974.

[BRID-79]

J.S. BRIDLE

"Pattern Recognition Techniques for Speech Recognition".
N.A.T.O. A.S.I. Spoken Language Generation and Understan-
ding, Bonas, France, July 1979.

[BURT-76]

R. BURTON

"Semantic Grammar : an Engineering Technique for Construc-
ting Natural Language Understanding System".
B.B.N., report n° 3453, December 1976.

[CAEL-78]

G. CAELEN et G. MAURAND

"La durée des phonèmes et la reconnaissance des débuts et
fins de mots : études acoustiques de traits homophoniques
chez deux locuteurs".
IX^e J.E.P., G.A.L.F., Lannion, Mai 1978.

[CAEL-79]

J. CAELEN

"Un modèle d'oreille, analyse de la parole continue, re-
connaissance phonémique".
Thèse d'Etat, Toulouse, 1979.

[CARB-73]

N. CARBONELL

"Rôle des fonctions récursives primitives de ramifications dans la définition d'une langue naturelle : application à la syntaxe du français".

Thèse de 3ème Cycle, Université de Nancy II, 1973.

[CARR-79]

R. CARRE, J.P. HATON, J.S. LIENARD

"Reconnaissance et synthèse de la parole : état des recherches et du développement".

Les synthèses du SESORI, I.R.I.A., 1979.

[CAST-76]

R. CASTANET

"Les grammaires en chaînes".

Ecole Informatique de l'I.R.I.A. : linguistique appliquée, I.R.I.A., Octobre 1976.

[CAUS-76]

B. CAUSSE, D. DOURS, R. FACCA, G. PERENNOU

"Evaluation d'une méthode ascendante d'analyse lexicale dans le discours continu".

VIII^e J.E.P., G.A.L.F., Nancy, 1976.

[CHAR-76]

E. CHARNIAK and Y. WILKS

"Computational Semantics".

North Holland Publishing Compagny, 1976.

[CHOM- 59]

N. CHOMSKY

"On certain Formal Properties of Grammars".

Information and Control, vol. 2, 1959.

[CHOM-71]

N. CHOMSKY

"Aspect de la théorie syntaxique".

Edition du Seuil, Paris, 1971.

[COLD-66]

B. COLD

"Word Recognition Computer Program".

Technical report n° 452, Lincoln Lab., M.I.T., 1966.

[COLM-77]

A. COLMERAUER

"Programmation en logique du 1er ordre".

Actes des Journées de Travail sur la Programmation, Arc et Senans, 17-18 Mai 1977.

[CONV-79]

Revue Communication numéro spécial sur la conversation, n° 30, Seuil, Paris, 1979.

[COUL-74]

D. COULON

"Construction d'un modèle interprétatif pour comprendre les énoncés".

Thèse d'Etat, Université de Paris VI, Décembre 1974.

[COUL-76]

D. COULON, D. KAYSER et al.

"Essai de compréhension à l'aide d'un réseau sémantique de procédures".

Congrès A.F.C.E.T., Paris, Novembre 1976.

[COUL-78]

D. COULON

"Les réseaux sémantiques et les modèles continus".

Journée de travail sur la compréhension, Arc et Senans, Mai 1978.

[COUR-77]

J. COURTIN

"Algorithmes de traitement interactif de langues naturelles".

Thèse d'Etat, Grenoble, 1977.

[CRIS-75]

A. di CRISTO

"Recherche sur la structuration prosodique de la phrase française (essai d'analyse phonosyntaxique)".

VI^e J.E.P. G.A.L.F., Toulouse, Mai 1975.

[DAVE-52]

K.H. DAVES et al.

"Automatic Recognition of Spoken Digits".

J.A.S.A., 24, November 1952, pp. 637-642.

[DENE-59]

P. DENES

"The Design and Operation of the Mechanical Speech Recognizer at University College of London".

J. Brit. Int. Radio Eng., 19, 1959, pp. 219-229.

[DILL-77]

T.C. DILLER

"Automatic Lexical Generation for Speech Recognition".

I.E.E.E., I.C.A.S.S.P.-77, Hartford, May 1977, pp. 803-806.

[DREY-50]

J.A. DREYFUS-GRAF

"Sonograph and Sound Mechanics".

J.A.S.A., 22, 1950, pp. 731-739.

[DREY-79]

J.A. DREYFUS-GRAF

"Reconnaissance de mots quasi-naturels et phonocodés".

X^e J.E.P., G.A.L.F., Grenoble, Mai 1979.

[DUBO-76]

J. DUBOIS

"Grammaire de base du français".

Librairie Larousse, Paris, 1976.

[DULE-58]

H. DULEY and S. BALASHEK

"Automatic Recognition of Phonetic Patterns in Speech".

J.A.S.A., 30, 1958, pp. 721-732.

[ERMA-77]

L.D. ERMANN

"A Fonctionnal Description of the HEARSAY II Speech Understanding System".

I.E.E.E., I.C.A.S.S.P.-77, Hartford, May 1977.

[FILL-67]

J. FILLMORE

"The Case for Case" in "Universals in Linguistic Theory".

E. Bach, R.T. Harms Editors, Rinehard and Winston INC, April 1967.

[FINA-79]

J.P. FINANCE

"Etude de la construction des programmes : méthodes et langages de spécification et de résolution de problèmes".

Thèse d'Etat, Université de Nancy I, 1979.

[FLAN-65]

J.L. FLANAGAN

"Speech Analysis, Synthesis and Perception".

Berlin/Heidelberg/New York, Springer Verlag, 1965.

[FLUH-77]

C. FLUHR

"Algorithmes à apprentissage et traitement automatique de langues".

Thèse d'Etat, Université de Paris Sud, 1977.

[FORG-74]

R.W. FORGIE and al.

"An Overview of the Lincoln Laboratory Speech Recognition System".

88th Meeting of the Acoustic Society of America, Saint-Louis, November 1974.

- [FOX-76]
M.S. FOX and F. HAYES-ROTH
"Approximation Techniques of the Learning of Sequential Symbolic Patterns".
3th I.J.C.P.R., Coronado, November 1976.
- [FU-74]
K.S. FU
"Syntactic Methods in Pattern Recognition".
Academic Press, 1974.
- [GLAW-78]
R.D. GLAWE and G. van der GIET
"The David Speech Recognition System".
I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 78, Tulsa, April 1978, pp. 429-432.
- [GOOL-77]
G. GOLMANN, D. SCELZA, B. BEEK
"An Application of Connected Speech to the Cartography Task".
I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 77, Hartford, May 1977, pp. 811-814.
- [GOUA-79]
G. GOUARDERES
"Les lexiques automatiques pour le traitement de la parole : la version 3 du lexique du projet ARIAL".
X^e J.E.P., G.A.L.F., Grenoble, Mai 1979, pp. 316-323.
- [GREN-78]
Y. GRENIER
"Speaker Identification from Linear Prediction".
4th I.J.C.P.R., Kyoto, Japan, November 1978, pp. 1019-1021.
- [GRES-73]
J.Y. GRESSER and R. VIVES
"A Similary Index between Strings of Symbols, Application to Automatic Word and Language Recognition".
First I.J.C.P.R., Washington, October 1973.

- [GREVIS]
M. GREVISSE
"Précis de grammaire française".
Collection Grevisse, 27eme Edition.
- [GRIE-71]
D. GRIES
"Compiler Construction for Digital Computers".
Wiley International Edition, New-York, 1971.
- [GRIF-74]
M. GRIFFITHS
"LL(1) Grammars and Analysers" in Compiler Construction : an Advanced Course, lecture notes in Computer Science, vol. 21, Springer Verlag, 1974.
- [GROC-78]
B. GROC et D. TUFFELI
"Compilation d'un méta-langage de définition de structures relationnelles et son utilisation en reconnaissance de la parole".
Congrès A.F.C.E.T. - R.F. - I.A., Paris, Février 1978, pp. 97-106.
- [GROS-68]
M. GROSS
"Grammaire transformationnelle du Français, Syntaxe du Verbe".
Larousse, Paris 1968.
- [GRUN-70]
A. GRUNDSTROM
"Intonation des questions en français standard"
dans Interrogation et Intonation, Studia Phonetica n° 8, Didier ed., Ottawa, 1970.
- [HATO-74-a]
J.P. HATON
"A Pratical Application of a Real Time Isolated Word Recognition System Using Syntactic Constraints".
I.E.E.E. T.A.S.S.P., 22, n° 6, 1974, pp. 416-419.

[HATO-74-b]

J.P. HATON

"Contribution à l'analyse, la paramétrisation et la reconnaissance de la parole".

Thèse d'Etat, Université de Nancy I, 1974.

[HATO-75]

J.P. HATON et J.M. PIERREL

"Essai d'automatisation d'un standard téléphonique à l'aide d'un système de reconnaissance de la parole continue".

Colloque "L'Acoustique dans les télécommunications",

FASE-75, Paris, Octobre 1975.

[HATO-76-a]

J.P. HATON, J.S. LIENARD, G. MERCIER

"Compte rendu d'une mission d'étude en URSS : analyse, synthèse et reconnaissance automatique de la parole".

Rapport CEI/CSE/28, C.N.E.T., Lannion, Mars 1976.

[HATO-76-b]

J.P. HATON et R. MOHR

"Méthodes syntaxiques en reconnaissance des formes".

Rapport final du contrat SESORI 76-039, CRIN, Nancy, 1976.

[HATO-76-c]

J.P. HATON et J.M. PIERREL

"Interactions entre les niveaux syntaxique, sémantique et lexical en reconnaissance de la parole continue".

VII^e J.E.P., G.A.L.F., Nancy, Mai 1976.

[HATO-78-a]

J.P. HATON et G. PERENNOU

"Reconnaissance et compréhension de la parole".

Cours de l'Ecole d'Eté Informatique de l'A.F.C.E.T., Namur, Belgique, Juillet 1978.

[HATO-78-b]

J.P. HATON, G. MESSENET, J.M. PIERREL et C. SANCHEZ

"La chaîne de compréhension parlée du système MYRTILLE II".

Actes du Congrès de l'A.F.C.E.T., Théorie et Technique de l'Informatique, ed. Hommes et Techniques, Paris, Novembre 1978, pp. 315-326.

[HATO-78-c]

J.P. HATON and J.M. PIERREL

"Data Structures and Organization of the MYRTILLE II System".

4th I.J.C.P.R., Kyoto, Japan, November 1978.

[HATO-79-a]

J.P. HATON

"The Representation and Use of a Lexicon in Automatic Speech Recognition and Understanding".

NATO A.S.I., Spoken Language Generation and Understanding, Bonas (France), July 1979.

[HATO-79-b]

J.P. HATON and C. SANCHEZ

"An Experimental System for Acoustic-Phonetic Decoding of Continuous Speech".

I.E.E.E., I.C.A.S.S.P. - 79, Washington DC, April 1979.

[HATO-80]

J.P. HATON, J.F. MARI, J.M. PIERREL, S. SABBAGH

"Représentation et mise en oeuvre de contraintes syntaxiques et sémantiques en reconnaissance du discours continu".

Séminaire "Syntaxe et Sémantique", G.A.L.F. - A.F.C.E.T., Rennes, Septembre 1980.

[HATO-81]

J.P. HATON et J.M. PIERREL

"Analyse et reconnaissance de la parole au CRIN : Approches, motivations et résultats obtenus".

Proposé aux XII^e J.E.P. G.A.L.F., Montreal, Mai 1981.

[HATO.MC-81]

M.C. HATON

"Rééducation vocale assistée par ordinateur des enfants non-entendants : le système SIRENE"

Thèse d'Etat à paraître, Université de NANCY I.

[HARR-71]

Z.R. HARRIS

"Structures mathématiques du langage".

Dunod, Paris, 1971.

[HEB-71]

J. HEBENSTREIT

"L'enseignement et l'ordinateur".

28^e Journées d'Information de l'Association Suisse pour
l'automatisme (A.S.S.P.A.), document NT Nr 8, 1971.

[HEND-75]

G.C. HENDRIX

"Semantic Processing for Speech Understanding".

S.R.I., A.I.C., Technical Note 113, 1975.

[HERS-72]

M.B. HERSCHER and R.B. COX

"An Adaptative Isolated Word Recognition System".

C.R. Conf. on Speech Comm. and Proc., Boston, 1972,
pp. 89-92.

[HORM-74]

M. HORMANN

"Introduction à la psycholinguistique".

Collection Langue et Langage, Larousse, 1974.

[HORN-74]

J.J. HORNING

"LR Grammars and Analysers" in Compiler Construction :
An Advanced Course.

Lecture Notes in Computer Science, vol. 21, Springer
Verlag, 1974.

[JELI-75]

F. JELINEK and al.

"Design of a Linguistic Statistical Decoder for the
Recognition of Continuous Speech".

I.E.E.E. Trans. of Inf. Theory, vol. II-21, n° 3, 1975,
pp. 250-256.

[KEOW-77]

D.M. Mc KEOWN

"Word Verification in the HEARSAY II Speech Understanding
System".

I.E.E.E. I.C.A.S.S.P., Hartford, May 1977.

[KING-66]

J.H. KING, C.J. TUNIS

"Some Experiments in Spoken Word Recognition".

I.B.M. Journal, 10, n° 1, 1966, pp. 65-79.

[KLAT-75]

D.H. KLATT

"Word Verification in a Speech Understanding System".

Speech Recognition I.E.E.E. Symposium, New York, 1975.

[KLIN-78]

A. KLINGER

"Recent Computer Science Research in Natural Language
Processing".

American Journal of Computational Linguistic, 1978.

[LAPO-80]

M. LAPORTE

"Etude du lexique dans un système de compréhension du
discours continu".

Rapport de D.E.A., Nancy, Septembre 1980.

[LAUB-79]

J.H. LAUBSCH

"Interfacing a Semantic Net with an Augmented Transition
Network".

I.J.C.A.I. - 79, Tokyo, 1979, pp. 516-518.

[LEA-78]

W.A. LEA and J.E. SHOUP

"Gaps in the Technology of Speech Understanding System".

I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 78, Tulsa, April 1978, pp. 405-408.

[LEA-80]

W.A. LEA

"Trends in Speech Recognition".

Princite Hall, Signal Processing Series, 1980.

[LESS-75]

V.R. LESSER, R.D. FENNEL, L.D. ERMANN, D.R. REDDY
"Organization of the HEARSAY II Speech Understanding System".
I.E.E.E. T.A.S.S.P., vol. A.S.S.P. - 23, 1975, pp. 11-23.

[LIEN-78]

J.S. LIENARD
"Les processus de communication parlée".
Masson Ed., Paris, 1978.

[LIEN-79]

J.S. LIENARD
"An Overview of Speech Synthesis".
NATO A.S.I. Spoken Language Generation and Understanding,
Bonas, France, 1979.

[LOWE-76]

B.T. LOWERRE
"The HARPY Speech Recognition System".
Ph. D. Dissertation, C.M.U.-C.S.D., Carnegie Mellon University, 1976.

[LOWE-77]

B.T. LOWERRE
"Dynamic Speaker Adaptation in the HARPY Speech Understanding System".
I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 77, Hartford, May 1977.

[MALM-71]

G. MALMBERG
"La phonétique" Que sais-je ?.
n° 637, P.U.F., Paris, 1971.

[MAR-78]

J.J. MARIANI et J.S. LIENARD
"ESOPE O : un programme de compréhension automatique de la parole".
Congrès A.F.C.E.T. - R.F. - I.A., Paris, Février 1978,
pp. 169-175.

[MARI-79]

J.F. MARI
"Contribution à l'analyse syntaxique et à la recherche lexicale en reconnaissance du discours continu".
Thèse de 3ème Cycle, Université de Nancy I, 1979.

[MART-60]

A. MARTINET
"Eléments de linguistique générale".
Paris, 1960.

[MART-75]

P. MARTIN
"Intonation et reconnaissance automatique de la parole".
VIe J.E.P., G.A.L.F., Toulouse, Mai 1975.

[MART-76]

T.B. MARTIN
"Practical Applications of Voice Input to Machines".
Proceeding of the I.E.E.E., vol. 64, n° 4, April 1976.

[MASI-78]

G. MASINI
"Réalisation d'un système de reconnaissance structurelle et d'interprétation de dessins".
Thèse de 3ème Cycle, Université de Nancy I, 1978.

[MEDR-78]

M.F. MEDRESS and al.
"Speech Understanding Systems".
Report of a Steering Committee, Artificial Intelligence n° 9,
1978, pp. 307-316.

[MELO-79]

H. MELONI
"Système de traitement de contraintes linguistiques en reconnaissance automatique de la parole".
Congrès A.F.C.E.T. - R.F. - I.A., Toulouse, 1979, pp. 377-383.

[MERC-77]

G. MERCIER

"Analyse acoustique et transcription phonétique du signal de parole".

Ecole de l'I.R.I.A., Reconnaissance et compréhension du dialogue écrit et parlé, Nancy, Novembre 1977.

[MERC-78]

G. MERCIER, P. QUINTON, R. VIRES

"KEAL : un système pour un dialogue oral avec une machine".

Congrès A.F.C.E.T., T.T.I., Paris, Novembre 1978, pp. 304-314.

[MICL-79]

L. MICLET

"Inférence de grammaires régulières".

Thèse de Docteur Ingénieur, E.N.S.T., Paris, Décembre 1979.

[MILL-75]

P.L. MILLER

"A Locally Organized Parser for Spoken Input".

Communication of the A.C.M., vol. 17, n° 11, 1975.

[MOHR-76]

R. MOHR and J.P. HATON

"A New Parsing Algorithm and its Application in Speech and Pictures Analysis".

3^d I.J.C.P.R., San Diego, 1976

[MOHR-79]

R. MOHR

"Description structurée et analyse de formes complexes, application à la reconnaissance de dessin".

Thèse d'Etat, Université de Nancy I, 1979.

[MOOR-78]

R.K. MOORE

"A Multilevel System for Automatic Speech Understanding".

Speech-Hearing ; Work in Progress : Dept. Phonetics, University College, London, 1978.

[MORE-81]

O. MOREL

"Reconnaissance de suites de chiffres".

Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy I, à paraître.

[MORI-78]

R. de MORI

"Recent Advances in Automatic Speech Recognition".

4th I.J.C.P.R., Kyoto, Japan, November 1978, pp. 106-124.

[MORI-79]

R. de MORI

"Automatic Phoneme Recognition in Continuous Speech : a Syntactic Approach".

NATO A.S.T. Spoken Language Generation and Understanding, BONAS, France, July 1979.

[NAKA-76]

S.I. NAKAGAWA

"A Machine Understanding System for Spoken Japanese Sentences".

Ph. D. Thesis, Dept. of Information Science, Kyoto University, October 1976.

[NAKA-79]

S.I. NAKAGAWA and T. SAKAI

"A Parallel Tree Search Method".

I.J.C.A.I. - 79, Tokyo, 1979, pp. 628-632.

[NASH-75]

B. NASH-WEBER

"Semantic Support for a Speech Understanding System".

I.E.E.E. T.A.S.S.P., vol. A.S.S.P. - 23, n° 1, february 1975, pp. 124-129.

[NEEL-74]

R.B. NEELY and G.M. WHITE

"The Use of Syntax in a Low Cost Real Time Speech Recognition System".

Inf. Processing - 74, North Holland Publishing Company, 1974.

[NEWE-71]

A. NEWELL and al.

"Speech Understanding Systems : Final Report of a Study Group".

North Holland, 1971.

[NIIM-78]

Y. NIIM and Y. KOBAYASHI

"A Voice Input Programming System Using a Basic Like Language".

I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 78, Tulsa, April 1978, pp. 425-428.

[NISH-78]

H. NISHINO

"P.I.P.S. (Pattern Information Processing Signal). Project : Background and Outlines".

4th I.J.C.P.R., Kyoto, Japan, 1978, pp. 1152-1161.

[NORA-78]

S. NORA and A. MING

"L'informatisation de la société".

Rapport à Monsieur le Président de la République,
La Documentation Française, 1978.

[OLSO-56]

H.F. OLSON and H. BELAR

"Phonetic Typewriter".

J.A.S.A., 28, 1956, pp. 1071-1081.

[PAIR-73]

C. PAIR

"Analyse syntaxique".

Ecole d'Eté E.D.G. - C.E.A. - I.R.I.A., 1973.

[PAIR-74]

C. PAIR

"Langages et automates".

Cours E.N.S.M.I.M., Nancy, 1974.

[PAIR-78]

C. PAIR et M.C. GAUDEL

"Les structures d'information et leurs représentations".

I.R.I.A., Rocquencourt, 1978.

[PAXT-76]

W.H. PAXTON

"A Framework for Language Understanding".

S.R.I., A.I.C., Technical note 131, 1976.

[PERE-79-a]

G. PERENNOU

"Reconnaissance de mots isolés dans le cas d'un grand vocabulaire".

Congrès A.F.C.E.T. - R.F. - I.A., Toulouse, 1979, pp. 334-342.

[PERE-79-b]

G. PERENNOU et G. TEPP

"Grands lexiques et traitements phonologiques : une structure de composante phonologique adaptée au traitement automatique".

Xe J.E.P., Grenoble, Mai 1979.

[PERE-80-a]

G. PERENNOU, A. FATHOLAZADEH et M. de CALMES

"Le filtrage syntaxique pour l'entrée vocale de texte".

Séminaire G.A.L.F. - A.F.C.E.T. "Syntaxe et Sémantique",
Rennes, Septembre 1980.

[PERE-80-b]

G. PERENNOU

"System for Speech Recognition".

5th I.J.C.P.R., Miami (USA), Décembre 1980.

[PIAG-79]

J. PIAGET, N. CHOMSKY et al.

"Théorie du langage, théorie de l'apprentissage".

Centre Royaumont pour une science de l'homme, Seuil,
Paris, 1979.

- [PIE-69]
J.R. PIERCE
"Whither Speech Recognition ?".
J.A.S.A., 46 n° 6, October 1969, pp. 1049-1051.
- [PIER-75]
J.M. PIERREL
"Contribution à la reconnaissance automatique du discours continu".
Thèse de Doctorat de Spécialité, Université de Nancy I,
Novembre 1975.
- [PIER-78-a]
J.M. PIERREL
"Un système de compréhension du discours continu utilisant des contraintes morphologiques, syntaxiques et sémantiques".
Revue RAIRO, Informatique/Computer Science, vol. 12, n° 2, 1978.
- [PIER-78-b]
J.M. PIERREL
"MYRTILLE II : un système de compréhension du discours continu".
Actes de la VIIIe Ecole Internationale de l'A.F.C.E.T.,
NAMUR, Belgique, Juillet 1978, pp. 63-85.
- [PIER-79-a]
J.M. PIERREL, J.F. MARI, J.P. HATON
"Le niveau lexical dans le système MYRTILLE II : représentation du lexique et traitements associés".
Xe J.E.P., G.A.L.F., Grenoble, Mai 1979.
- [PIER-79-c]
J.M. PIERREL and J.P. HATON
"The MYRTILLE II Speech Understanding System".
In Spoken Language Generation and Understanding, D. Reidel
Publishing Compagny, actes de l'Ecole de l'OTAN, Bonas,
Juillet 1979.

- [PIER-80-a]
J.M. PIERREL and J.P. HATON
"Syntactic-Semantic Interpretation of Sentence in MYRTILLE II Speech Understanding System".
I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 80, Denver, Colo., April 1980.
- [PIER-80-b]
J.M. PIERREL et J.P. FINANCE
"Spécification et évaluation d'un système de compréhension du discours continu".
Publication C.R.I.N. 80.R.058. rapport intermédiaire de l'A.T.P. 4279, Nancy, Novembre 1980.
- [PIER-81]
J.M. PIERREL et S. SABBAGH
"Interprétation et gestion du dialogue dans le système MYRTILLE II".
Rapport C.R.I.N., 81.R.004, proposé au Congrès A.F.C.E.T. R.F. - I.A., Nancy, Septembre 1981.
- [QUIN-75]
P. QUINTON, R. VIVES, J.Y. GRESSER
"Dialogue avec un robot".
6e J.E.P., Toulouse, Mai 1975.
- [QUIN-77]
P. QUINTON
"Utilisation d'un analyseur syntaxique pour la reconnaissance de la parole continue".
Annales des Télécommunications, tome 32, n° 9-10, Septembre 1977.
- [QUIN-79]
P. QUINTON
"Reconnaissance structurale et algorithmes heuristiques : application à la reconnaissance de la parole continue".
Congrès A.F.C.E.T. - R.F. - I.A., Toulouse, Septembre 1979.
- [QUIN-80]
P. QUINTON
"Contribution à la reconnaissance de la parole : utilisation de méthodes heuristiques pour la reconnaissance de phrases".
Thèse d'Etat, Université de Rennes, 1980.

[RABI-72]

A.S. RABINOWITZ

"On the Value of the FANO Algorithm in Establishing the Graphenic Form of Machine Derived Phonetic String".

Th. D. Thesis, University of North California, March 1972.

[RABI-75]

L.R. RABINER and M.R. SAMBUR

"An Algorithm for Determining the End-points of Isolated Utterances".

The Bell System Technical Journal, vol. 54, n° 2, February 1975.

[REDD-66]

D.R. REDDY

"Segmentation of Speech Sounds".

J.A.S.A., 40, 1966, pp. 307-312.

[REDD-68]

D.R. REDDY and A.E. ROBINSON

"Phoneme to Grapheme Translation of English".

I.E.E.E. Tran. on audio and Elect., vol. AU-16, n° 2, 1968.

[REDD-76]

D.R. REDDY

"Speech Recognition by Machine : A Review".

Proceedings of I.E.E.E., vol. 64, n° 4, April 1976.

[REMY-78]

J.L. REMY

"Construction, évaluation et amélioration systématiques de structures de données".

RAIRO Informatique théorique, vol. 14, n° 1, 1980, pp. 83-118.

[RITE-75]

B. RITER

"Automatic Speech Understanding System".

Proc. 11th Ann. I.E.E.E. Computer Soc. Conf., Washington, September 1975.

[SAIT-78]

L. SAITTA

"Fuzzy Semantic Network for a Speech Understanding System : an Experimental Study".

I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 78, Tulsa, 1978, pp. 433-436.

[SALK-73]

M. SALKOFF

"Une grammaire en chaîne du français".

Dunod, Paris, 1973.

[SAMA-79]

J. SAMAKE et J.P. HATON

"Un outil conversationnel pour l'analyse et la synthèse de la parole par prédiction linéaire".

Xe J.E.P., G.A.L.F., Grenoble, 1979.

[SAMA-81]

J. SAMAKE

"Sur la synthèse de la parole au C.R.I.N.".

Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy I, à paraître.

[SAMB-75]

M.R. SAMBUR and L.R. RABINER

"A Speaker Independent Digit Recognition System".

The Bell System Technical Journal, vol. 54, n° 1, January, 1975.

[SANC-81]

C. SANCHEZ

"Le niveau acoustico-phonétique dans le système MYRTILLE II".

Thèse de 3ème Cycle, Université de Nancy I, à paraître.

[SCHA-75]

R.C. SCHANK

"Conceptuel Information Processing".

Fundamental Studies in Computer Science, n° 3, North Holland, 1975.

[SHIG-78]

M. SHIGENAGA and Y. SEKEGUCHI

"Speech Recognition of Spoken Fortran Programs".
4th I.J.C.P.R., Kyoto, Japan, November 1978, pp. 990-994.

[SHIK-78]

K. SHIKANO and M. KOHDA

"Linguistic Processor for Train Seat Reservation in
a Conversationnel Speech Recognition System".
4th I.J.C.P.R., Kyoto, Japan, November, pp. 1039-1041.

[SHOR-76]

E.W. SHORTLIFFE

"Computer Base Medical Consultations : MYCIN".
In the Computer Science Library, North Holland, 1976.

[SHUL-59]

G.L. SHULZ

"Investigation Procedures for Speech Recognition".
Proc. Seminar on Speech Comp and Proc., Cambridge, Mass,
September 1959.

[SLOC-75]

J. SLOCUM

"Speech Generation from Semantic Nets".
S.R.I. A.I.C., Technical note 115, 1975.

[SPEC-79]

P. SPECKER

"Etude et réalisation d'un système de reconnaissance de
la parole composé de modules indépendants fonctionnant
en parallèle".
Thèse de Docteur Ingénieur, Grenoble, 1979.

[TUBA-70]

J.P. TUBACH

"Reconnaissance automatique de la parole".
Thèse d'Etat, Université de Grenoble, 1970.

[TAPP-74]

C.C. TAPPERT and N.R. DIXON

"A Procedure for Adaptative Control of the Interaction
between Acoustic Classification and Linguistic Decoding
in Automatic Recognition of Continuous Speech".
Artificial Intelligence, n° 5, 1974, pp. 95-113.

[VEIL-77]

G. VELLON

"Traitements automatiques de langues naturelles et
communication homme-machine".

Cours de l'Ecole I.R.I.A., Communication Homme-Machine,
Nancy, Novembre 1977.

[VIAU-71]

G. VIAUD

"L'intelligence".
Collection Que Sais-je ?
PUF, Paris, 1971.

[VICE-69]

P. VICENS

"Aspects of Speech Recognition by Computer".
Ph. D. Thesis, Stanford University, April 1969.

[VINT-76]

T.K. VINTSIUK

"Generative Grammars and Dynamic Programming in Speech
Recognition with Learning".
I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 76, Philadelphia, 1976, pp. 446-
449.

[VYSO-70]

G.Y. VYSOTSKY and al.

"An Experiment in Oral Control of a Computer".
Engineering Cybernetics, n° 2, 1970, pp. 320-327

[WALK-75]

D.E. WALKER

"The S.R.I. Speech Understanding System".
I.E.E.E. T.A.S.S.P., vol. A.S.S.P. - 23, n° 5, October 1975,
pp. 397-416.

[WALK-78]

D.E. WALKER

"Understanding Spoken Language".

Artificial Intelligence Serie, The Computer Science Library, North Holland, New-York, 1978.

[WEIZ-66]

J. WEIZENBRAUM

"ELIZA : a Computer Program for the Study of Natural Language Communication between Man and Machine".

Communications de l'A.C.M., vol. 9, n° 1, 1966, pp. 36-45.

[WHIT-78]

G.M. WHITE

"Dynamic Programming, the VITERBI Algorithm, and Low Cost Speech Recognition".

I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 78, Tulsa, April 1978, pp. 413-417.

[WINO-72]

T. WINOGRAD

"Understanding Natural Language".

Academic Press, New-York, 1972.

[WINO-76]

T. WINOGRAD

"Current Directions in Natural Language Processing".

Ecole Informatique de l'I.R.I.A., linguistique appliquée, Octobre 1976.

[WOLF-77]

J.J. WOLF and W.A. WOODS

"The HWIN Speech Understanding System".

I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 77, Hartford, May 1977.

[WOOD-70]

W.A. WOODS

"Transition Network Grammars for Natural Language Analysis".

C.A.C.M., vol. 13, n° 10, October 1970, pp. 591-602.

[WOOD-71]

W.A. WOODS and R.M. KAPLAN

"The LUNAR Science Natural Language Information System".

B.B.N., report 2265, September 1971.

[WOOD-74]

W.A. WOODS and J. MAKHOUL

"Mechanical Inference Problems in Continuous Speech Understanding System".

Artificial Intelligence, n° 5, 1974, pp. 73-91.

[WOOD-76]

W.A. WOODS and V.N. ZUE

"Dictionary Expansion via Phonological Rules for a Speech Understanding System".

I.E.E.E. I.C.A.S.S.P. - 76, Philadelphia, 1976.

[YATS-78]

Y. YATSUZUKA and T. ICHIKAWA

"A Speech Detection System".

4th I.J.C.P.R., Kyoto, Japan, November 1978, pp. 1000-1002.

NOM DE L'ETUDIANT : PIERREL Jean-Marie

NATURE DE LA THESE : Doctorat ès Sciences

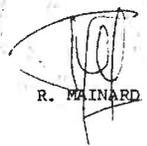


VU, APPROUVE

ET PERMIS D'IMPRIMER

NANCY, le 05 MARS 1981 . 755

LE PRESIDENT DE L'UNIVERSITE DE NANCY I,



R. MAINARD