

84/347

UNIVERSITE DE NANCY I

U.E.R. SCIENCES MATHÉMATIQUES

Se N 84 /

CENTRE DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE DE NANCY

380 A

ADJONCTION D'E/S VOCALES ET GRAPHIQUES EN E.A.O. :

AMÉLIORATION DU DIALOGUE ET NOUVEAUX CHAMPS D'APPLICATIONS

THESE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 13 SEPTEMBRE 1984

A L'UNIVERSITÉ DE NANCY I

POUR L'OBTENTION DU TITRE DE

DOCTEUR DE TROISIÈME CYCLE EN INFORMATIQUE

PAR

MOHAMMED BENNANI

DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN



PRESIDENT :

J.P. HATON

EXAMINATEURS :

D. COULON
M.C. HATON
J.M. PIERREL
M. QUERE

BIBLIOTHEQUE SCIENCES NANCY 1



D 095 179382 2

UNIVERSITE DE NANCY I

U.E.R. SCIENCES MATHÉMATIQUES

CENTRE DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE DE NANCY

ADJONCTION D'E/S VOCALES ET GRAPHIQUES EN E.A.O. :

AMÉLIORATION DU DIALOGUE ET NOUVEAUX CHAMPS D'APPLICATIONS

THESE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 13 SEPTEMBRE 1984

A L'UNIVERSITÉ DE NANCY I
POUR L'OBTENTION DU TITRE DE
DOCTEUR DE TROISIÈME CYCLE EN INFORMATIQUE

PAR

MOHAMMED BENNANI
DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN



PRESIDENT :
EXAMINATEURS :

J.P. HATON
D. COULON
M.C. HATON
J.M. PIERREL
M. QUERE

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Je remercie vivement monsieur J.P. HATON, Professeur à l'Université de Nancy I, pour la confiance qu'il m'a accordée en m'accueillant dans son laboratoire, pour les moyens matériels qu'il a mis à ma disposition et la formation en informatique que je lui dois. C'est un grand plaisir pour moi de le voir présider ce jury.

Je tiens à exprimer ensuite ma gratitude à monsieur J.M. PIERREL, Professeur à l'Université de Nancy I et directeur de mes recherches, pour les nombreuses et plaisantes suggestions, les précieux conseils et les orientations fructueuses qu'il m'a prodigués tout au long de la réalisation de ce travail. C'est un honneur qu'il me fait en participant à ce jury.

Je remercie également mesdames M.C. HATON et M. QUERE, respectivement Maître-Assistante et Professeur à l'Université de Nancy II, pour l'intérêt qu'elles n'ont cessé de porter à mon travail, les discussions fructueuses que nous avons engagées et les modifications qu'elles m'ont suggérées d'apporter à la première version de cette thèse. Elles m'ont fait un grand plaisir en acceptant de siéger à ce jury.

Je remercie monsieur D. COULON, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Lorraine, pour l'intérêt qu'il porte à mon travail en participant à ce jury.

Je ne puis oublier de remercier madame M. KUHLMANN qui a assuré avec beaucoup de soin et de gentillesse la frappe de ce mémoire.

Merci enfin à tous mes amis du Centre de Recherche en Informatique de Nancy et plus particulièrement à ceux de l'équipe "Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle".

II.2. "DIANE" : réalisation d'un système d'E.A.O.	18	II.1.3. Analyse de la parole	42
II.2.1. Objectifs de DIANE	18	II.1.4. Synthèse de la parole	43
II.2.1.1. Fonctionnalités de DIANE	19	II.1.4.1. Synthèse par phrases	44
II.2.1.1.1. Les types d'objets manipulés	19	II.1.4.2. Synthèse par mots	44
II.2.1.1.2. Les fonctions définies	21	II.1.4.3. Synthèse par phonèmes	45
II.2.3. Création de didacticiels dans DIANE	22	II.2. Synthèse musicale	46
II.2.4. Interprétation de didacticiels dans DIANE	23	II.2.1. Définition	46
CONCLUSION	25	II.2.2. Synthèse musicale et série de Fourier	46
PARTIE B : VERS DE NOUVEAUX OUTILS POUR L'E.A.O.	26	II.2.3. Théorème de Dirichlet	47
INTRODUCTION	27	II.2.4. Composition des sons musicaux	48
CHAPITRE I : INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET E.A.O.	28	II.3. TAG	53
I.1. Les Systèmes Experts S.E.	29	II.3.1. Acquisition de graphique	53
I.1.1. Définition	29	II.3.2. Visualisation de graphique	53
I.1.2. Conséquence de l'introduction des S.E. en E.A.O.	29	CHAPITRE III : APPORTS DU TAP ET DU TAG EN E.A.O.	55
I.2. Amélioration de la communication homme-machine	31	III.1. Amélioration du confort du dialogue homme-machine	55
I.2.1. Traitement Automatique du Langage Naturel (TALN)	32	III.2. Nécessité d'entrées-sorties vocales et graphiques pour des applications spécifiques	56
I.2.2. Traitement Automatique de la Parole (TAP)	32	III.3. Nécessité d'entrées-sorties vocales pour améliorer les stratégies pédagogiques	58
I.2.3. Traitement Automatique de l'Image (TAI)	33	CONCLUSION	58
I.2.4. Traitement Automatique du Graphique (TAG)	34	PARTIE C : PRESENTATION ET REALISATION DE QUELQUES OUTILS	61
I.2.5. Conclusion	34	INTRODUCTION	62
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LE TAP, LE TAG ET LA SYNTHESE MUSICALE	37	CHAPITRE I : EDETEUR : DESCRIPTION GENERALE	63
II.1. TAP	37	I.1. Editeur des textes parlés	65
II.1.1. Acquisition de la parole	37	I.2. Editeur des objets de type parole	66
II.1.2. Reconnaissance de la parole	38		
II.1.2.1. Approche globale	38		
II.1.2.2. Approche analytique	40		

I.3. Editeur des textes musicaux	67	IV.4. "VISU" : Visualisation de paramètres caractéristiques du Traitement Automatique de la Parole	100
I.4. Editeur des objets de type graphique	67	IV.5. "T" : Analyseur d'information textuelle	102
CHAPITRE II : SPECIFICATION DES EDITEURS	69	IV.6. "COMPA" : Analyseur d'information textuelle	104
II.1. Avantages de la spécification formelle	69	IV.7. "G" : Analyseur d'information graphique	106
II.2. Spécification formelle des nouveaux types	73	IV.8. "RECOG" : Analyseur de graphique manuscrit	107
II.2.1. Type catalogue CTF	73	CHAPITRE V : "GRAPES", LOGICIEL POUR LA CREATION ET L'INTERPRE- TATION DE DIDACTICIEL UTILISANT LA PAROLE ET LE GRAPHIQUE	110
II.2.2. Type générique TF	77	V.1. Généralités sur GRAPES	110
II.2.3. Type texte musical TM	78	V.2. Création de leçon dans GRAPES	114
CHAPITRE III : "EDIT" : EDITEUR D'OBJETS PAROLE ET GRAPHIQUE	79	V.2.1. Création de R.I.	114
III.1. Caractéristiques de EDIT	80	V.2.2. Exemple de création de R.I.	118
III.2. Présentation générale de EDIT	82	V.2.3. Exemples de R.I. créée	121
III.3. Fonctions de EDIT	84	V.2.3.1. Dictée français	121
III.4. Exemples d'utilisation de EDIT	87	V.2.3.2. Lecture musicale	122
III.4.1. Impression d'un TP	87	V.3. Interprétation de R.I.	123
III.4.2. Création d'un TM	89	V.4. Validation de leçon	128
CHAPITRE IV : ANALYSEURS DE REPONSES SPECIALISES	91	CONCLUSION	129
IV.1. "RECO" : Analyseur d'information de type parole	92	BIBLIOGRAPHIE	132
IV.1.1. Reconnaissance de la réponse de l'élève	93	ANNEXES	138
IV.1.2. Reconnaissance de mots	93		
IV.2. "MELODIE" : Analyseur de la hauteur de la voix	96		
IV.2.1. Analyseur avec auto-évaluation	96		
IV.2.2. Analyseur avec évaluation automatique	97		
IV.3. "RYTHME" : Analyseur de la cadence de la production vocale	98		
IV.3.1. Analyseur avec auto-évaluation	98		
IV.3.2. Analyseur avec évaluation automatique	98		

INTRODUCTION
GENERALE

The text in this section is extremely faint and illegible, appearing to be the beginning of an introductory paragraph.

The text in this section is extremely faint and illegible, appearing to be the middle of an introductory paragraph.

The text in this section is extremely faint and illegible, appearing to be the end of an introductory paragraph.

The text in this section is extremely faint and illegible, appearing to be the start of a new section or paragraph.

L'Enseignement Assisté par Ordinateur (E.A.O.) a connu une période d'expansion rapide ; par la suite, ce rythme a été freiné par la réticence d'une partie des enseignants, la difficulté de créer des didacticiels, la qualité insuffisante des dialogues avec les machines et l'absence d'analyseurs de réponse intelligents et performants. Les outils de l'Intelligence Artificielle (I.A.) améliorent les possibilités de l'E.A.O. et font reculer certaines des limites énumérées précédemment. Pour ces raisons, les liaisons entre l'Enseignement Assisté par Ordinateur et l'Intelligence Artificielle sont de plus en plus étroites et reposent essentiellement sur deux aspects complémentaires apportés par l'I.A. et utilisés par l'E.A.O. [PIER, 84]. Ceci est schématisé par la figure B.2. (page 30).

- des nouveaux moyens de raisonnements pour la machine : les systèmes experts,
- de nouveaux moyens de communication entre l'homme et la machine : le langage naturel écrit, la parole, le graphique et l'image.

Le premier volet de nos études traite de ce second point et plus particulièrement de l'apport de l'adjonction du Traitement Automatique de la Parole et du Graphique (T.A.P. et T.A.G.) en E.A.O.

La spécification des fonctionnalités des systèmes d'E.A.O. élaborée par une équipe d'experts du Centre de Recherche en Informatique de Nancy (C.R.I.N.) a été à l'origine de notre travail. Un des apports importants de cette étude présentée dans [ECRI, 82] est la définition des didacticiels en termes de types d'objets et de fonctions agissant sur ces types.

Le second volet de notre étude est la définition puis l'implantation des types d'objets et les fonctions nécessaires pour l'adjonction d'entrées-sorties vocales et graphiques en Enseignement Assisté par Ordinateur.

Nous présentons l'essentiel des études que nous avons menées en trois parties : dans la première partie, nous décrivons des généralités sur l'E.A.O., ses avantages, ses limites et les tendances actuelles des recherches dans ce domaine. Dans la seconde partie, nous exposons le savoir-faire acquis dans le T.A.P. et le T.A.G. et nous montrons comment ces deux domaines étendent le champ d'utilisation de l'E.A.O. et diversifient les modes de dialogue entre les utilisateurs et les didacticiels. La troisième partie est consacrée à la description de l'ensemble des outils que nous avons développés dans le but de les intégrer dans les systèmes d'E.A.O. existants pour favoriser l'utilisation d'objets de type "parole" et "graphique". C'est dans ce but que nous proposons de nouveaux types d'objets et des fonctions permettant de manipuler ces objets, ainsi que des analyseurs de réponses spécialisés ; cette partie sera pour nous l'occasion de présenter les logiciels "EDIT" et "GRAPES" que nous avons réalisés et qui permettent respectivement de créer et manipuler des objets "parole" et "graphique" puis de créer et interpréter des leçons faisant appel à ces nouveaux moyens de communication.

Enfin, nous terminons en récapitulant les points les plus importants cités dans ce mémoire et dégageons les conclusions qui ressortent de cette étude.

PARTIE A
GENERALITES SUR L'ENSEIGNEMENT
ASSISTE PAR ORDINATEUR

INTRODUCTION

L'ordinateur, riche en possibilités de traitement et de stockage de données, est utilisé avec succès dans plusieurs domaines, en particulier dans l'enseignement. Cependant, si son utilisation dans ce domaine présente plusieurs avantages, elle soulève en contrepartie des difficultés non négligeables aussi bien pour l'enseignant, l'apprenant que pour le processus de l'enseignement lui-même. Ainsi l'objectif de cette première partie sera de présenter :

- une définition de l'Enseignement Assisté par Ordinateur, souvent désigné par "E.A.O.", puis un bilan de ces avantages et de ces limites, dans un premier chapitre,

- le deuxième chapitre expose les tendances actuelles de l'Enseignement Assisté par Ordinateur. Ainsi, nous présenterons brièvement le projet "ECRIN" qui était le point de départ de nos études puis le système "DIANE" qui est la réalisation pratique de ECRIN.

CHAPITRE I - L'ENSEIGNEMENT ASSISTÉ PAR ORDINATEUR (E.A.O.)

I.1. Définition

Nous considérons l'E.A.O. au sens strict, c'est-à-dire :
*"La conduite par ordinateur d'un dialogue entre un apprenant et une
 "matière", dialogue préparé par un auteur et éventuellement aménagé
 par l'enseignant de l'apprenant" [QUER, 83].*

Dans cette définition, il faut distinguer le rôle primordial de trois agents :

- l'enseignant qui fournit à l'ordinateur l'ensemble des connaissances à transmettre aux apprenants et qui reçoit, sous forme de statistiques, globales ou personnalisées, des données sur le comportement des apprenants lors de la phase d'acquisition des connaissances,
- l'apprenant qui est la personne en situation d'apprentissage (réception des connaissances),
- l'ordinateur qui assure la transmission de l'information fournie par l'enseignant pour les apprenants.

L'ensemble de ces transactions peut se schématiser comme indiqué sur la figure A.1 :

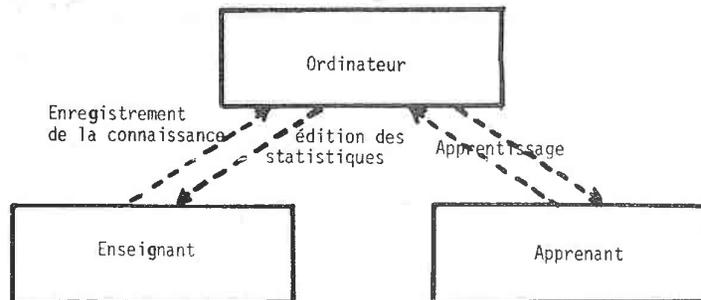


Figure A.1 : Interactions en E.A.O.

I.2. Avantages de l'E.A.O.

L'introduction de l'ordinateur dans l'enseignement présente plusieurs avantages tant pour l'apprenant et l'enseignant que pour le processus d'enseignement lui-même. Le but de ce paragraphe est de présenter ces principaux avantages.

I.2.1. Pour les élèves -

L'E.A.O. favorise l'individualisation de l'enseignement : chaque élève est libre de choisir le rythme et le moment qui lui conviennent pour travailler ainsi que le thème qu'il veut étudier. On peut préciser comme suit les principales conséquences de l'utilisation de l'E.A.O. du point de vue de l'élève :

- l'élève faible a l'impression qu'il est capable d'apprendre alors que les méthodes traditionnelles lui donnent souvent la conviction du contraire. En effet, l'ordinateur, interlocuteur anonyme, travaille au rythme de chacun. Il est prêt à répéter "n" fois la même information pour les apprenants présentant des difficultés d'apprentissage, sans exprimer aucune réaction négative d'impatience ou de découragement. Il peut également accélérer le rythme pour les élèves doués,

- l'E.A.O. est un moyen très efficace pour les élèves timides qui éprouvent des difficultés à s'exprimer devant des personnes étrangères à leur proche entourage car l'ordinateur peut être programmé pour les inciter à poser des questions qu'ils hésitaient à poser en enseignement traditionnel,

- l'E.A.O. peut prendre en charge (totalement ou en partie) certains enseignements, ce qui entraînera une diminution de la surcharge des classes due à l'augmentation continue du nombre d'élèves et du besoin croissant en formation. Ceci permettra aux enseignants de consacrer plus de temps à faire des remarques et conseils personnalisés,

- l'élève faible peut utiliser l'ordinateur pour un complément d'information sur les parties qu'il n'a pas bien comprises. L'ordinateur peut alors servir de répétiteur et permettre ainsi à des élèves éprouvant des difficultés de se mettre à niveau en dehors des horaires scolaires,

- l'apprenant déficient, souvent négligé dans la société, peut trouver dans l'E.A.O. un partenaire facteur de progrès. On peut faire à ce niveau le lien avec les travaux de M.C. HATON [HATO, 84] sur l'aide aux sujets non entendants et ceux de S. LAFONT [LAFO, 83] pour l'aide aux personnes handicapées physiquement.

I.2.2. Pour les enseignants

Les avantages de l'E.A.O. sont nombreux (mais, à ce niveau, nous considérons l'E.A.O. au sens large : "*l'ensemble des applications utilisant l'ordinateur à des fins pédagogiques*") ; nous citons :

- l'ordinateur, en prenant en charge l'exécution de certaines tâches répétitives jusqu'alors du ressort du professeur (la gestion de notes, la correction des exercices ou le contrôle automatique des connaissances), peut permettre à ce dernier de consacrer plus de temps à l'élaboration du contenu de ses cours et à un suivi personnalisé de chacun de ses élèves.

- l'ordinateur peut être programmé pour fournir à l'enseignant des statistiques individuelles ou globales, pour l'aider à juger le travail de ses élèves, la qualité de ses didacticiels ainsi que l'avancement de chacun. En effet, l'ordinateur peut stocker dans sa mémoire et éditer à la demande de l'enseignant une trace du cheminement que les élèves ont suivi dans le didacticiel. Il peut aussi calculer le taux de bonnes réponses, réponses fausses, etc. : ce qui permettra à l'enseignant de mesurer la qualité de son didacticiel.

- de par sa nature, l'ordinateur exige de l'utilisateur d'être très rigoureux et d'effectuer un travail soigneusement fait pour éviter toutes les improvisations. Ceci se traduit par la nécessité de maîtriser parfaitement et totalement le domaine du didacticiel à créer. Là, notre objectif n'est pas de sous-estimer ou de remettre en cause la compétence des enseignants lors de l'exécution de leurs tâches mais de soulever un point important : l'enseignant étant responsable de la formation de ses élèves, il doit extraire de la connaissance (souvent trop importante) du thème à enseigner, une partie qu'il estime nécessaire et qu'il va transmettre à ses élèves. Il leur présentera donc certaines connaissances tout en cachant d'autres. L'élève intéressé par plus de détails devra alors les rechercher lui-même. Par contre, lors de la création d'un didacticiel, il faut donner à la machine le plus possible de connaissances car l'élève est responsable de sa formation et il est important qu'il trouve toutes les informations qu'il désire ou qui sont nécessaires pour acquérir les connaissances dans de bonnes conditions. L'élaboration du didacticiel peut alors permettre une étude d'un sujet à divers niveaux d'approfondissement : de l'introduction générale des idées maîtresses à une étude très précise et très détaillée de tel ou tel sous terme.

I.2.3. Pour l'enseignement -

- l'ordinateur peut être programmé pour simuler une loi que l'élève doit découvrir et dont l'expérimentation sur place est impossible, faute de matériel ou par la nature même du phénomène étudié. On peut inclure à ce niveau le vaste domaine de la simulation dont on peut consulter des exemples dans [JERO, 81] et [PAGE, 70],

- l'ordinateur, grâce à sa grande vitesse, peut être utilisé pour faire des calculs longs et complexes, ce qui permettra à l'élève de consacrer le maximum de son temps à l'étude des phénomènes plutôt que de faire

des calculs fastidieux. (Il ne s'agit pas pour nous de nier ici le caractère éducatif de l'apprentissage du calcul, l'E.A.O. est d'ailleurs utilisé avec succès à l'école primaire pour faciliter cet apprentissage),

- l'ordinateur, grâce à sa grande capacité de mémoire, peut contenir des bases de données documentaires que l'élève aussi bien que l'enseignant peuvent consulter,

- l'ordinateur peut être utilisé pour tester la qualité de nouvelles stratégies pédagogiques en analysant le comportement des élèves reflété par leurs réponses, que la machine peut stocker et restituer à l'enseignant.

Les points positifs cités dans ce paragraphe montrent que l'E.A.O. peut être utilisé bénéfiquement comme complément ou comme nouvel outil pour l'enseignement classique. D'autres caractéristiques de l'E.A.O. et son champ d'application peuvent être consultées dans [QUER, 80], [BIPE, 80 tome 1], [BIPE, 80 tome 2].

I.3. Limites de l'E.A.O.

Face aux avantages indiqués dans le paragraphe précédent, l'E.A.O. présente des limites que nous passerons en revue dans ce paragraphe.

I.3.1. Pour les élèves -

- le fait de se placer devant une console peut être ennuyeux et monotone ; cela fatigue les yeux et nécessite de plus une grande motivation préalable et une volonté d'apprendre qui font souvent défaut particulièrement chez les enfants en bas âge,

- la relation maître-élève n'existe plus, ce qui fait perdre l'apport pédagogique dû à cette relation. En effet, si le travail en groupe est meilleur pour les élèves d'âge moyen, la présence d'un enseignant est fondamental pour les jeunes élèves (enseignement primaire),

- l'utilisation de l'ordinateur fait disparaître l'ambiance de classes traditionnelles et les liens sociaux existant entre les apprenants. Ceci fait disparaître par conséquent l'émulation entre ces derniers, paramètre important dans l'enseignement.

I.3.2. Pour les enseignants -

La création d'un didacticiel est encore une tâche très difficile car elle nécessite l'apprentissage du mode de fonctionnement du système (les dialogues ne sont pas suffisamment clairs pour l'utilisateur non informaticien) et celui d'un langage spécialisé ; ceci alourdit la tâche des enseignants.

I.3.3. Pour l'enseignement -

- les didacticiels ne sont pas suffisamment intelligents ; ils sont la plupart du temps incapables de résoudre eux mêmes les exercices qu'ils proposent aux apprenants. Ils ne sont pas capables non plus d'analyser profondément les réponses des élèves pour détecter les sources des erreurs et donner des indications précises pour aider à la correction. L'analyse des réponses la plus utilisée consiste à comparer deux réponses : celle prévue par l'auteur et celle de l'élève et de sanctionner cette dernière par tout ou rien. Ceci n'est pas satisfaisant car les analyses ne donnent pas des informations pour aider à la correction,

• l'aspect le plus intéressant dans un système d'E.A.O. est la qualité et la facilité de dialogue avec la machine. Or, sur la plupart des ordinateurs :

- les seuls modes de communication sont le clavier et l'écran qui sont d'une utilisation peu pratique. Cette limite réduit le champ des types d'exercices que l'on peut effectuer en E.A.O. et ne permet pas des dialogues aisés et diversifiés,
- le dialogue est réduit à la formulation de commandes dans un langage informatique donc artificiel.

Certaines insuffisances et limites de l'E.A.O. que nous avons signalées trouvent des solutions dans les nouveaux outils informatiques ; les techniques dites d'intelligence artificielle peuvent fournir à la machine des moyens de perception, de compréhension et de décision. La machine acquiert alors un comportement se rapprochant de celui de l'être humain. Dans le chapitre suivant, nous présentons différents aspects de ces techniques.

CHAPITRE II - TENDANCES ACTUELLES DE L'E.A.O.

II.1. ECRIN : Spécification d'un système d'E.A.O.

Ce paragraphe présente rapidement des éléments du système d'E.A.O. que certains experts et chercheurs du C.R.I.N. avaient proposé en réponse à un appel d'offres de l'Agence de l'Informatique. Ces personnes s'intéressant à des domaines différents avaient voulu appliquer à l'E.A.O. les résultats de leurs recherches dans les domaines des types abstraits, du graphique, des images, de la parole et de la compréhension des langues naturelles. Nous ne présentons ici que les types d'objets manipulés et les fonctions définies sur ces types, la création des didacticiels par un enseignant-auteur puis l'interprétation de ceux-ci par des apprenants.

Pour écrire ce chapitre, nous nous sommes inspiré du rapport ECRIN [ECRIN, 82], pour plus de détails, nous suggérons donc au lecteur de consulter ce document.

II.1.1. Objectifs du système ECRIN -

- développer un système d'E.A.O. puissant combinant un mode de communication utilisateur-machine simple et diversifié,
- intégrer de nouveaux types d'objets et de nouvelles fonctionnalités intéressantes pour l'E.A.O.,
- décrire les didacticiels en termes d'objets et de fonctions sur ces objets,
- distinguer les enseignants-auteurs des enseignants-utilisateurs et permettre aux premiers la création aisée des didacticiels et fournir aux seconds les moyens de les approprier après d'éventuelles adaptations.

II.1.2. Fonctionnalités du projet ECRIN -

ECRIN permet à l'enseignant de manipuler plusieurs types d'objets ; à chacun de ces types est associé un sous-système lui permettant de les créer, les gérer et de les exécuter.

II.1.2. Types d'objets

- **Didacticiel** : ensemble de dialogues reliés entre eux par des conditions. Ces conditions sont définies à l'aide des unités de liaison,
 - **Dialogue** : ensemble de situations pédagogiques. De même que pour les didacticiels, les situations pédagogiques sont reliées par des conditions,
 - **Situation pédagogique** : unité pédagogique minimale ; elle permet d'établir une transaction avec l'apprenant. A une situation pédagogique correspond un "item",
 - **Item** : composé de plusieurs actions, il permet de :
 - . envoyer à l'apprenant un ou plusieurs messages informatifs,
 - . choisir le mode de pré-traitement à effectuer sur la réponse de l'élève puis l'analyseur qui compare celle-ci à la réponse de l'enseignant,
 - . décider l'enchaînement à effectuer en fonction des résultats de l'analyseur de réponse et des conditions associées aux différentes situations pédagogiques.
 - **Sollicitation** : permet d'envoyer un message demandant à l'apprenant de formuler sa réponse et acquisition de celle-ci,
 - **Texte écran** : objet de type alphanumérique,

- **Texte parlé** : décrit dans le paragraphe C.I.1.,
- **Parole** : décrit dans le paragraphe C.I.2.,
- **Graphique** : décrit dans le paragraphe C.I.4.,
- **Texte musical** : décrit dans le paragraphe C.I.3.,
- **Image numérique** : ECRIN permet de traiter des images discrétisées et quantifiées,
 - **Diapo** : le système devrait piloter un carrousel, ce qui permet d'utiliser des diapositives,
 - **Image analogique** : ECRIN permet aussi de traiter le signal vidéo correspondant aux images naturelles.

II.1.2.2. Fonctions définies dans ECRIN

Dans ECRIN, il existe plusieurs types de fonctions :

- un sous-système associé à chaque type d'objets permet de manipuler celui-ci,
- fonctions externes ou ressources hors didacticiels que les auteurs peuvent utiliser,
- des fonctions-commandes spécifiques pour l'apprenant, l'enseignant-auteur et l'enseignant-utilisateur.

Pour plus de détails sur ces fonctions, nous conseillons au lecteur de consulter le document ECRIN [ECRI, 82].

II.1.3. Création de didacticiels dans ECRIN -

ECRIN considère différemment les enseignants auteurs et utilisateurs. Il ne leur autorise pas les mêmes fonctions.

II.1.3.1. Création d'un didacticiel par un enseignant-auteur

Pour créer un didacticiel, l'auteur peut procéder de deux façons différentes :

- créer tous les objets devant apparaître dans le didacticiel, puis les regrouper en situations pédagogiques, puis dialogues et enfin didacticiels,

- créer en parallèle le didacticiel et les objets auxquels celui-ci fait référence, puis définir les conditions qui les relie.

II.1.3.2. Appropriation de didacticiel par l'enseignant-utilisateur

Ce dernier n'a pas accès aux fonctions permettant la création des didacticiels, des dialogues ou des situations pédagogiques ; il ne peut que recopier les objets pédagogiques créés par des enseignants-auteurs et/ou modifier les messages informatifs qu'ils contiennent.

On dit, dans ces conditions, que l'enseignant-utilisateur a approprié les didacticiels qu'il a recopiés et que ces derniers seront dès lors accessibles à ses étudiants.

II.1.4. Interprétation d'un didacticiel -

L'apprenant doit choisir le didacticiel à exécuter en fournissant à la machine le nom de ce dernier. Le dialogue commence alors par la première situation pédagogique du premier dialogue du didacticiel choisi.

A tout moment, l'apprenant peut demander l'interruption (momentanée ou définitive) de son travail. Après l'acquisition de la réponse de l'élève, elle est analysée puis, en fonction du résultat de cette analyse et des conditions fixées par l'auteur, le système détermine la situation pédagogique suivante à interpréter.

II.2. DIANE : Réalisation d'un système d'E.A.O.

Ici sont décrites les principales caractéristiques du système *DIANE* de l'Agence de l'Informatique (ADI). Il s'inspire largement des documents "*Projet DIANE*" [ADI, 83a] et de "*Présentation interne*" [ADI, 83b]. Après la présentation des objectifs de ce système, il présente les principaux objets et fonctions qu'il inclut, puis une description sommaire de la création et de l'interprétation de didacticiel dans ce même système.

II.2.1. Objectifs du système DIANE -

- privilégier les modes d'expression offerts aux auteurs pour permettre à tout pédagogue non nécessairement informaticien de créer aisément des didacticiels de qualité,
- assurer un bon degré de portabilité pour favoriser la diffusion des didacticiels sur un grand nombre de matériels informatiques,
- permettre l'intégration de nouvelles fonctionnalités tout en préservant le bon fonctionnement des didacticiels précédemment écrits, en vue de garantir une évolution du système,
- faciliter la diffusion par la constitution de banques de didacticiels accessibles par réseau téléphonique,
- offrir un traitement centralisé du suivi des apprenants et des didacticiels pour pouvoir obtenir des statistiques d'évaluation.

II.2.2. Fonctionnalités du système DIANE -

Dans la version actuelle de l'éditeur fonctionnel de *DIANE*, l'auteur dispose de plusieurs types d'objets pédagogiques (pour développer *DIANE*, l'ADI a retenu la nouveauté apportée par le projet *ECRIN* consistant à décrire les didacticiels à l'aide de types d'objets et d'actions sur ces types) qu'il peut créer, modifier et supprimer, etc. à travers des fonctions spécifiques regroupées en fonctions (une fonction pour chaque type d'objet). Ainsi, *DIANE* inclut les fonctions propres aux objets décrits ci-après :

II.2.2.1. Types d'objets du système DIANE :

- didacticiel : un objet didacticiel est considéré comme une suite de dialogues reliés par des conditions. Ces objets permettent de définir l'enchaînement des dialogues. Un didacticiel consiste à associer à chaque dialogue une condition qui doit être vérifiée avant son exécution. Les conditions sont des expressions booléennes sur les variables de l'environnement du didacticiel (116 variables dans *DIANE*),
- dialogue : un objet dialogue est une séquence pédagogique d'interaction entre l'apprenant et la machine (situation pédagogique). L'objet dialogue permet de structurer les situations pédagogiques en dialogues, selon la stratégie pédagogique de l'auteur,
- situation pédagogique : un objet de ce type est la véritable unité pédagogique. Il permet une transaction entre l'élève et la machine. Un objet "situation pédagogique" est complètement défini par la connaissance de ses composants (une ou plusieurs scènes), une sollicitation, une analyse et un jugement de réponse,

- scène : permet d'assembler une séquence d'informations destinée à être présentée aux apprenants. Un objet "scène" est complètement défini par la connaissance des informations (texte, graphique, ...) qui la composent et les durées séparant la restitution de deux informations successives,

- zonage : permet de décomposer l'écran en zones dans lesquelles sont affichés textes et graphiques avec visualisation éventuelle des limites de zones,

- texte : permet la création de messages informatifs, alphanumériques à l'intérieur d'une zone de l'écran,

- police : permet de définir un jeu de caractères substituables au jeu de caractères courant,

- graphique : permet de créer des objets graphiques,

- sollicitation : c'est l'objet pédagogique qui met le système en attente d'une action de l'apprenant. Cet objet permet de créer les caractéristiques de l'interaction : temps maximum accordé, requêtes autorisées...

- analyse de réponse : aide à définir les préparations devant être effectuées sur la réponse de l'apprenant et les modèles de réponses avec lesquels celle-ci doit être comparée,

- jugement de réponse : a pour objet de créer, modifier, détruire une suite de conditions-actions portant sur les résultats de l'analyseur de réponse. A une série de conditions sont associées des scènes explicatives : le maintien dans la même situation ou le passage à la suite,

- environnement : permet de gérer les variables servant pour :
 - . le suivi des élèves,
 - . l'enchaînement à effectuer (transaction d'un dialogue à l'autre, dans le didacticiel, transaction d'une situation pédagogique à

- . une autre dans le même dialogue),
- . le bilan pour l'apprenant.

Les types d'objets "parole" et "graphique" que nous décrivons dans la partie C doivent être intégrés à la version actuelle de *DIANE*. La figure A2 donne la hiérarchie entre les types d'objets précédemment définis et le moyen d'accéder aux éditeurs correspondants.

II.2.2.2. Les fonctions définies sur les types d'objets de *DIANE* : *DIANE* distingue deux types de fonctions :

- fonctions communes à tous les types d'objets :

- . prendre : choisit un objet dans un catalogue et elle le définit comme objet courant,
- . sauver : catalogue l'objet courant,
- . détruire : supprime du catalogue l'objet indiqué,
- . renommer : change le nom de l'objet indiqué,
- . consulter : consulte l'objet indiqué sans modifier l'objet courant,
- . lister : édite les noms des objets catalogués,
- . imprimer : édite le contenu de l'objet indiqué,
- . référence : affiche la liste des références d'objets constituant l'objet courant,
- . vérifier : vérifie la cohérence de l'objet indiqué.

Ces fonctions servent à gérer les objets dans les catalogues.

- fonctions propres à chaque type d'objet ;
elles permettent de composer les objets, de les restituer, etc.
- Nous ne donnerons pas la liste de ces fonctions par type d'objet :
pour la consulter nous renvoyons le lecteur à [ADI, 83a].

II.2.3. Création d'un didacticiel dans CIANE -

Pour créer un didacticiel, il faut créer des situations pédagogiques puis regrouper celles-ci en dialogues, en définissant les conditions de cheminement entre ces situations pédagogiques. L'étape suivante consiste à structurer ces dialogues en didacticiels. Pour cela, il faut décrire les conditions associées à chaque dialogue que la machine doit vérifier avant l'exécution de celui-ci.

La création d'une situation pédagogique consiste à créer la représentation interne qui lui correspond ; celle-ci est formée par plusieurs actions qu'il faut définir :

- la succession des scènes à présenter à l'élève,
- la nature de la réponse telle qu'elle doit être formulée par l'enseignant lors de l'exécution de la situation pédagogique (type de la réponse, zone prévue pour la saisie et l'affichage de celle-ci, délai maximum pour la fournir, ...),
- le modèle de pré-analyse à appliquer à la réponse proposée par l'élève et l'analyseur choisi pour la comparaison de celle-ci avec la réponse de l'auteur,
- enfin, le branchement à effectuer et les scènes d'encouragement et d'explication à fournir à l'élève selon le résultat de la comparaison de sa réponse.

Ces différentes composantes seront codées sous forme d'une R.I., puis conservées en mémoire.

II.2.4. Interprétation de didacticiel dans DIANE -

L'exécution commence à la première situation pédagogique du premier dialogue du didacticiel choisi par l'apprenant ou reprend à partir du point de rupture lors de la session antérieures.

L'interprétation de chaque élément de la R.I. est équivalente à l'exécution d'une procédure au sens du langage PASCAL. A la fin de l'exécution d'une situation pédagogique et si l'élève ne veut pas terminer le travail, le dialogue continue avec les situations suivantes jusqu'à la dernière situation du dialogue courant, puis celui-ci reprend avec la première situation du dialogue suivant, etc.

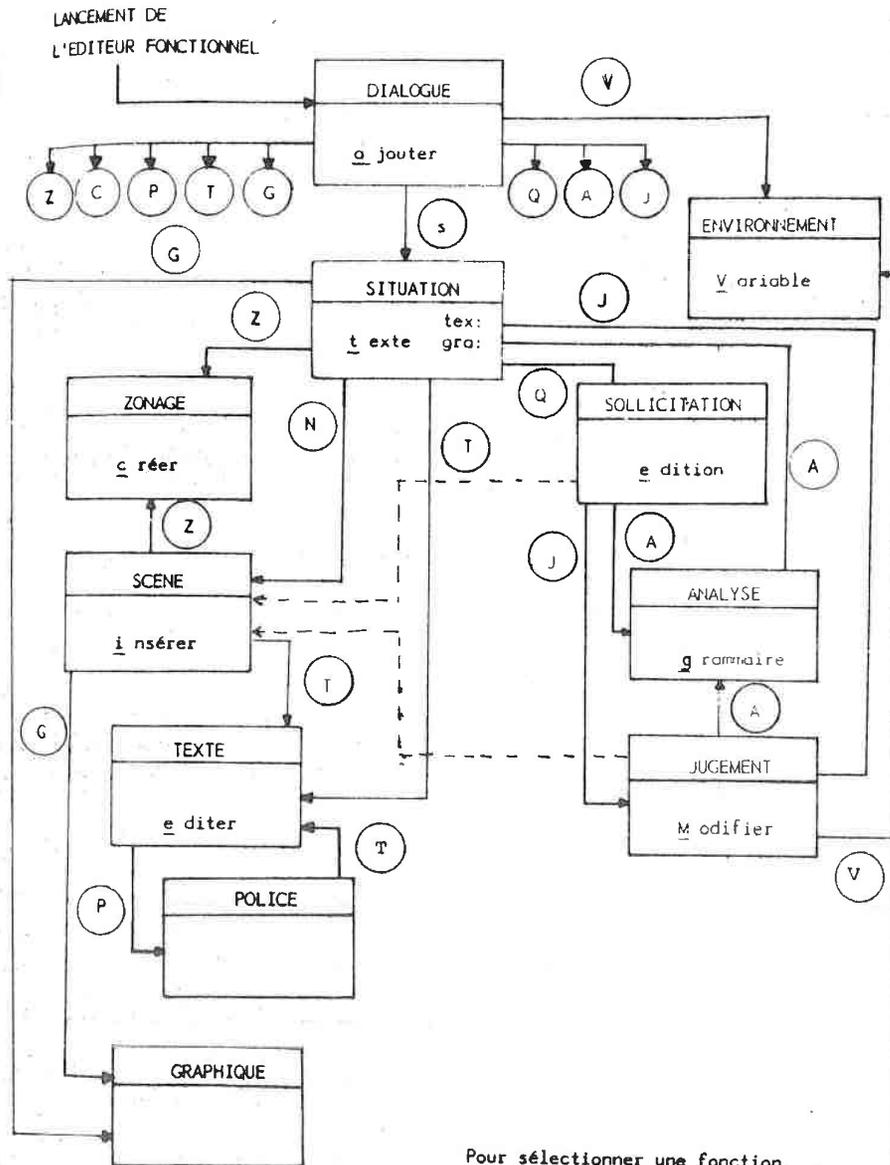


Figure A.2. : Navigation dans l'éditeur fonctionnel de DIANE.
(schéma extrait de [ADI, 83a].

CONCLUSION

La principale conclusion qui ressort de cette première partie, c'est la nouveauté apportée par ECRIN et qui consiste à définir les didacticiels en termes d'objets pédagogiques et d'opérations sur ces objets.

Dans ECRIN comme dans DIANE, à chaque type d'objet est associé un éditeur (ensemble de fonctions définies sur ce type) et dans ces conditions un didacticiel est considéré comme une suite de situations pédagogiques (une situation pédagogique est une suite d'appels de ces fonctions).

Nous avons aussi présenté dans cette partie les avantages et les limites de l'E.A.O. ; la seconde partie sera pour nous l'occasion de décrire les nouveaux outils informatiques qui tendent à faire reculer ces limites et les conséquences de l'intégration de ces outils en E.A.O.

PARTIE B
VERS DE NOUVEUX OUTILS
POUR L'E.A.C.

INTRODUCTION

Cette partie sera consacrée à l'étude de certains outils informatiques utilisables bénéfiquement en E.A.O. Ainsi nous passerons en revue l'ensemble de ces outils, l'état des recherches dans les domaines correspondants puis les conséquences de leur intégration en E.A.O.

Le premier chapitre expose les outils informatiques (Systèmes Experts "S.E.", Traitement Automatique de la Parole "T.A.P.", de l'Image "T.A.I.", du Graphique "T.A.G." et du Langage Naturel écrit "T.A.L.N.") capables d'atténuer certains aspects des limites énumérés ci-dessous :

- amélioration du dialogue homme-machine,
- nouveaux champs d'application de l'E.A.O.,
- nouvelles fonctionnalités de l'E.A.O.

Le savoir-faire des domaines T.A.P. et T.A.G. (acquisition, analyse et reconnaissance de la parole et du graphique, puis la synthèse de la parole et de la musique et, enfin, visualisation du graphique) fera l'objet du deuxième chapitre.

Enfin, le troisième chapitre amènera quelques idées sur les apports de l'adjonction du T.A.P. et du T.A.G. dans l'E.A.O.

CHAPITRE I - INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (I.A.) et E.A.O.

Certains outils informatiques, tels que les techniques d'Intelligence Artificielle, permettent :

- d'atténuer une partie des limites de l'E.A.O. énumérées dans A.I.3.,
- de rendre plus attrayante et plus accessible l'utilisation d'un ordinateur par des non informaticiens.

Le but de ce chapitre est de présenter ces différentes techniques puis les conséquences de leur intégration dans des systèmes d'E.A.O.

La figure B.1. ci-dessous résume les principaux apports de l'I.A. utilisables par l'E.A.O.

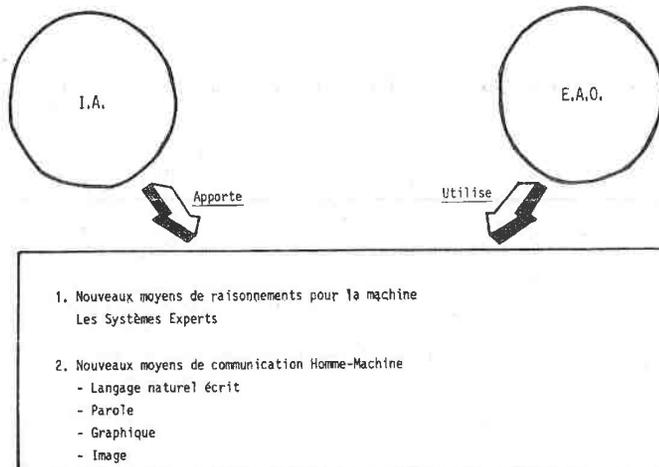


Figure B.1. : Apport de l'I.A. en E.A.O.

I.1. Les Systèmes Experts (S.E.)

I.1.1. Définition -

Un Système Expert est un programme qui imite le comportement d'un expert humain confronté à des problèmes à résoudre dans un domaine précis. Pour cela le S.E. dispose :

- d'une base de connaissances de ce domaine. Cette base est fournie par un expert humain sous forme de règles de déductions et de faits (nous parlerons dans ce cas de transfert de l'expertise vers la machine),
- d'un moteur d'inférence qui utilise la base de connaissances pour élaborer un raisonnement, répondre à une question ou résoudre un problème. Le début du raisonnement est l'énoncé du problème à résoudre ou l'hypothèse à vérifier puis par applications successives des règles de déduction, on aboutit soit au résultat escompté, soit à l'échec total : impossibilité de continuer le raisonnement.

I.1.2. Conséquences de l'introduction des S.E. en E.A.O. -

- la résolution automatique des exercices proposés aux apprenants et la mise en évidence des méthodes utilisées pour résoudre ces problèmes, ce qui permettra en particulier de guider l'étudiant au cours de l'élaboration de sa solution ou de lui expliquer ses erreurs. Dans la base de connaissances, on peut prévoir des règles rendant compte des erreurs habituelles des élèves. Le système peut par conséquent comprendre les erreurs des élèves et leurs causes, ainsi, il peut guider ces derniers dans la correction de leurs erreurs et peut aussi proposer de nouveaux exercices du même type.

- la génération automatique des exercices de complexité dépendant de la réponse de l'élève, de son niveau ou de l'ensemble de son comportement depuis le début du travail. Ceci multiplie à l'infini le nombre d'exercices potentiels.

• l'enchaînement libre et personnalisé des dialogues ne dépendant que du comportement de l'apprenant.

Les programmes d'E.A.O. faisant appel à des S.E. seront en un certain sens intelligents. Des auteurs parlent alors de l'E.I.A.O. ou "*Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur*". Les programmes d'enseignement conçus en E.I.A.O. sont "censés" être des experts du domaine d'enseignement. Ils peuvent résoudre des problèmes suivant différentes méthodes et critiquer les solutions proposées par les élèves en cas d'erreur. La figure B.2, extraite de [BONN, 81], présente les différentes composantes des systèmes d'E.A.O. futurs.

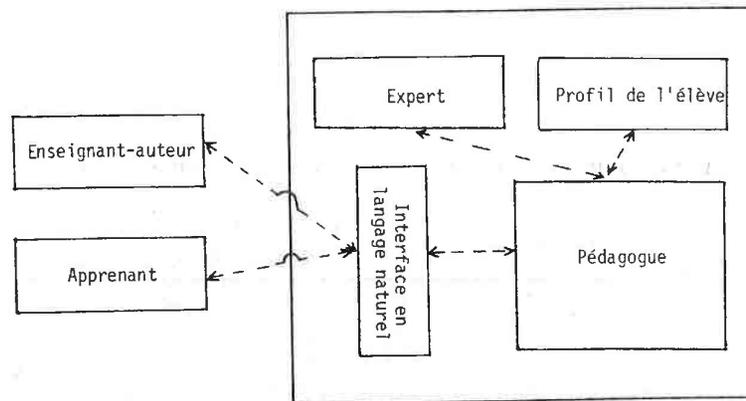


Figure B.2 : Système d'E.I.A.O.

- . Expert : c'est un programme capable de générer et résoudre des problèmes et d'évaluer les solutions proposées par les élèves dans un domaine d'enseignement,
- . Pédagogue : c'est un programme capable de déterminer les exercices à proposer aux apprenants (sujets, difficultés, ...). Il guide le dialogue avec les élèves (il peut les orienter ou les aider à résoudre les exercices) et il mémorise enfin le profil de chaque élève,
- . Interface en langage naturel : c'est un module capable de transformer des commandes exprimées en langage naturel par l'utilisateur sous forme codée accessible par la machine et, réciproquement, transformer une phrase codée en une phrase en langage naturel ou quasi naturel, compréhensible par l'utilisateur non informaticien,
- . Profil : c'est l'ensemble du comportement de l'élève.

I.2. Amélioration de la communication homme-machine

L'amélioration du dialogue homme-machine passe par l'usage des résultats de plusieurs branches de l'informatique, en particulier le traitement automatique

- du langage naturel,
- de la parole,
- de l'image,
- du graphique.

Nous présentons dans la suite les apports de chacune des disciplines citées ci-dessus, dans le sens de l'amélioration du dialogue.

I.2.1. Traitement automatique du langage naturel (T.A.L.N.) -

Les recherches dans ce domaine favorisent :

- l'élaboration d'un dialogue libre et naturel avec l'utilisateur car il ne fait plus appel à des langages artificiels pour la communication entre l'homme et la machine. Ceci permet aussi bien aux enseignants qu'aux apprenants de s'exprimer librement.

- . l'enseignant peut créer des didacticiels sans l'intervention des informaticiens car, face à un problème, les auteurs au lieu d'écrire entièrement des programmes dans des langages de programmation spécialisés, utiliseront l'environnement logiciel disponible pour composer le programme en question dans un langage plus naturel pour lui,
- . l'apprenant peut soumettre ses propres exercices en langage écrit (naturel ou quasi naturel) à l'ordinateur ; ce dernier les résoud ou aide l'élève à la recherche d'une solution. Dans [FAY, 84], on trouve la présentation d'un programme pour la résolution automatique des problèmes de Mathématique de C.E.1 formulés par les élèves.

- l'élaboration d'analyseurs de réponse perfectionnés et performants dépassant la limite des analyseurs classiques (sanctionnant par tout ou rien, ou utilisant uniquement les techniques de mots clés).

I.2.2. Traitement automatique de la parole (T.A.P.) -

Les résultats acquis dans ce domaine de recherche contribuent à l'amélioration du dialogue avec les utilisateurs grâce aux messages vocaux. Ils permettent aussi :

- de fournir à la machine le moyen de communication le plus naturel qui est la parole. La machine pourra alors entendre et parler.

- la diversification au niveau des modes d'entrées-sorties importante pour rompre la trop grande monotonie des dialogues limités aux modes classiques,

- l'extension du champ d'application de l'E.A.O. à des exercices jusqu'alors impossibles à définir car nécessitant l'entrée et/ou la sortie vocale. Par exemple :

- dictée ou lecture musicale,
- apprentissage de l'écriture ou de la lecture.

I.2.3. Le Traitement Automatique des Images (T.A.I.) -

Comme pour le T.A.P. et le T.A.L.N., l'intégration du T.A.I. dans les systèmes d'E.A.O. favorise :

- l'amélioration de la communication avec la machine dans le sens qu'une image peut remplacer dans certains cas un texte très long et pénible à lire. Une image est porteuse de plus d'informations qu'un texte qu'elle illustre avantageusement.

- le fait de présenter une image tout en exposant un cours est très important et lui donne une dimension supplémentaire, surtout pour l'enseignement de certaines disciplines telles que les sciences naturelles, la physique, l'histoire. Pour ces enseignements, l'utilisation de cartes, de photographies ou la projection de diapositives est très importante ; pour pouvoir les présenter, l'ordinateur doit piloter un projecteur de diapositives et/ou un vidéo-disque.

I.2.4. Le Traitement Automatique du Graphique (T.A.G.) -

Un graphique peut aider à véhiculer un certain nombre de notions :

- afficher à l'opérateur sous forme visuelle (illustrations) une quantité importante de données ou les liaisons entre elles,

- saisir des informations transcrites sur un écran tactile ou une tablette graphique par un opérateur, ce qui en fait un outil précieux et mieux adapté que la saisie alphanumérique et offre un champ d'enseignement plus large :

- . domaine nécessitant un traitement de caractères symboliques,
- . enseignement musical : solfège, lecture, dictée,
- . enseignement de l'écriture,
- . enseignement de la conception assistée par ordinateur.

I.2.5. Conclusion -

Nous avons présenté brièvement dans ce paragraphe l'apport de l'intégration dans l'E.A.O. du T.A.P., T.A.L.N., T.A.I. et T.A.G. Nous avons montré que cet apport se situe à plusieurs niveaux :

- amélioration du dialogue homme-machine,
- diversification au niveau des modes d'entrée-sortie,
- extension du champ d'application de l'EA.O.

Nous pensons par conséquent que les systèmes d'E.A.O. du futur seront multi-média. Ils intégreront les résultats des différents domaines cités précédemment.

A titre d'exemple, nous présentons dans la suite un des didacticiels que nous avons définis [BENN, 84] et qui est impossible à réaliser en E.A.O. classique : il s'agit de l'enseignement de la lecture musicale.

Lire le texte musical suivant :

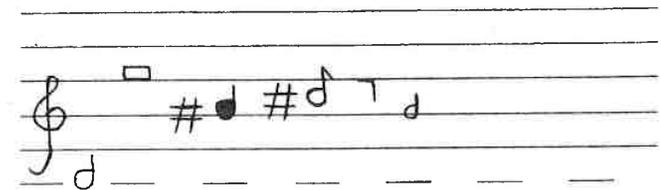


Figure B.3

Le programme demande à l'élève de lire le texte affiché sur l'écran graphique (figure B.3) en prononçant les noms des différentes notes composant le texte musical. La réponse de l'élève est comparée ensuite à celle de référence et le résultat de la comparaison est fourni à l'apprenant sous forme de l'émission d'un message sonore :

- encouragements en cas de réponse correcte,
- visualisation des deux réponses (celle de l'apprenant et celle de référence) en notant en pointillé les symboles erronés.

Réponse attendue



Réponse de l'apprenant

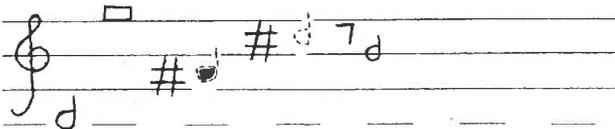


Figure B.4

Figures B.3 et B.4 : exemples d'exercices de lecture musicale.

L'apprenant doit donner une autre proposition (on suppose que la première proposition était fausse) qui sera elle aussi comparée à la réponse de l'enseignant et ceci jusqu'à ce que l'élève trouve la bonne réponse ou que le nombre d'essais dépasse le nombre maximum prévu par l'auteur. Dans ce dernier cas, le programme fournit la réponse correcte.

CHAPITRE II - GENERALITES SUR LE T.A.P., LE T.A.G. ET LA SYNTHESE MUSICALE

II.1. Traitement Automatique de la Parole (T.A.P.)

La parole est le moyen de communication le plus naturel et le plus spontané entre les individus. Dans le paragraphe I.2.2., nous avons mentionné l'intérêt que présente pour une machine la faculté de produire et de comprendre la parole. Cet intérêt a motivé les nombreuses recherches menées depuis plusieurs années dans ce domaine. Le but du paragraphe est de présenter l'état d'avancement de ces recherches à différents niveaux : acquisition, analyse, reconnaissance et synthèse de la parole.

II.1.1. Acquisition de la parole -

L'acquisition s'effectue par un microphone ; ce dernier transforme la phrase prononcée par un locuteur en un signal analogique. Pour être traité par un ordinateur, le signal doit être numérisé et compressé. La numérisation consiste à déterminer, à partir du signal analogique, un ensemble de valeurs numériques caractérisant le signal. La compression consiste à éliminer le bruit et une partie de l'information redondante. Si on veut conserver le caractère naturel de la parole, celle-ci doit être transmise avec un débit de 300 000 bits par seconde alors que 50 bits sont suffisants pour représenter un message vocal de 10 phonèmes codés chacun sur cinq bits (avec l'hypothèse que la prononciation de 10 phonèmes s'effectue en une seconde).

Parmi les appareils codeurs et compresseurs des signaux de parole, nous citerons les "vocodeurs" ou codeurs des voix. Le vocodeur que nous avons utilisé dans notre étude calcule toutes les 10 ou 20 ms (au choix des utilisateurs), sous forme numérique, l'intensité du signal dans 15 canaux de fréquence répartis entre 250 et 5 000 Hz. La sortie de chaque canal étant

codée sur 3 bits, cela permet d'obtenir un débit de 4 500 bits/s ou 2 250 bits/s, plus une information sur la fréquence fondamentale (pitch). Les paramètres extraits à la sortie du vocodeur sont suffisants pour faire la reconnaissance de la parole, la synthèse à partir de ces éléments donne des sons de qualité assez pauvre, mais intelligibles. Pour synthétiser des messages avec une qualité meilleure, il faut augmenter le débit.

II.1.2. Reconnaissance de la parole -

Elle correspond à la situation dans laquelle la machine perçoit des informations vocales de la part de l'utilisateur qu'elle doit transformer en un message écrit ou "comprendre" dans le but d'effectuer une action. Habituellement, on distingue deux approches différentes pour la reconnaissance de la parole.

II.1.2.1. l'approche globale :

Dans cette approche, la forme inconnue à reconnaître est considérée comme étant une entité non sécable. La reconnaissance globale consiste alors à comparer le mot inconnu prononcé isolément à différents mots de référence. Le résultat de la reconnaissance est l'intitulé du mot qui ressemble le plus au mot inconnu au sens d'un certain nombre de critères de distance que l'on cherche à minimiser.

Cette approche nécessite au préalable la constitution d'un lexique ou dictionnaire des références : l'utilisateur doit fournir pour chaque mot une ou plusieurs prononciations. Pour plus de renseignements sur cette approche, nous renvoyons le lecteur à [DIMA, 81], [DIMA, 84], [RABI, 78] et [SAKO, 78].

Plusieurs équipes se sont intéressées à ce sujet et plusieurs systèmes sont actuellement disponibles sur le marché ou opérationnels dans des laboratoires, nous citerons :

- le système "QUICK-TALK" réalisé en 1980 par Threshold (USA) pour la reconnaissance de mots isolés (100 mots),

- le système "DYNAMO" du C.N.E.T. (mots isolés),

- au C.R.I.N., plusieurs systèmes de reconnaissance de mots isolés (100 mots), dont un système autonome sur microprocesseur Z80, en collaboration avec la société BERTIN, sont réalisés :

- * les avantages de cette méthode de reconnaissance sont :

- . son niveau de développement : plusieurs systèmes de reconnaissance de mots isolés basés sur ce principe sont opérationnels et permettent la reconnaissance d'un mot parmi quelques dizaines de mots,
- . sa simplicité de mise en oeuvre par opposition à la méthode analytique décrite ci-dessous,
- . sa rapidité et son bon degré de confiance. On peut reconnaître un mot inconnu parmi un vocabulaire de quelques dizaines de mots pratiquement en temps réel et avec un très bon taux de reconnaissance (> 95 %) ;

- * les limites de cette méthode sont :

- . la dégradation des performances, taux de bonne reconnaissance et temps de comparaison pour un vocabulaire important : plus de 100 formes de référence,
- . la dégradation des performances lorsque la vocabulaire comprend des mots phonétiquement voisins. Des listes de mots très voisins sont souvent utilisées pour tester les limites de ces systèmes, c'est ce que l'on appelle "test par séries minimales" telles que : *capot, cabot, catho, cadeau, canot, cachot, caveau, carreau, etc.*

- . l'aspect "monolocuteur" de cette méthode car, pour obtenir de bons résultats, chaque utilisateur doit disposer de son propre lexique de références. Les études multilocuteurs n'ont pas encore fourni les résultats souhaités à ce niveau,
- . l'inadaptation au discours continu car le nombre de mots du vocabulaire connu est limité et l'utilisateur doit énoncer son message mot à mot (au moins 2/10 de seconde de silence entre chaque mot).

Les nouvelles recherches menées dans plusieurs laboratoires sur le thème de la reconnaissance des "mots enchaînés" tendent à atténuer la dernière limite mais ces recherches ne sont, à l'heure actuelle, qu'à un état de pré-développement. Pour plus de détails nous renvoyons le lecteur à [DIMA, 84].

■ dans le cadre de notre travail, nous avons réalisé un analyseur de réponses "RECO" basé sur ce principe de reconnaissance ; cet analyseur sera présenté dans le paragraphe C.IV.1.

II.1.2.2. L'approche analytique

Elle consiste à segmenter le message parlé en ses constituants élémentaires : phonèmes, phonotomes, syllabes... et de composer ces traits primitifs de façon à décrire l'objet inconnu. Pour la reconnaissance d'un message avec cette approche, on doit procéder en deux étapes :

- la première consiste à détecter les éléments primitifs [LAZR, 83],
- la seconde a pour but de construire la phrase à partir des traits primitifs afin de comprendre et d'interpréter le message énoncé par l'utilisateur [PIER, 75], [PIER, 81].

L'utilisation de ces deux étapes peut être :

- séquentielle, dans ce cas lors de la première étape, il faut conserver un nombre important d'hypothèses (tous les sons primitifs probables) pour assurer le bon déroulement de l'étape suivante,
- simultanée, chaque niveau contribue à la reconnaissance de la phrase en proposant : "validant ou infirmant" les hypothèses proposées par l'autre niveau.

Pour reconnaître une phrase avec une méthode analytique, il faut utiliser plusieurs traitements :

- le traitement acoustique : acquisition de la parole et pré-traitement du signal, puis extraction des paramètres pertinents,
- le traitement phonétique et phonologique : à partir des paramètres extraits dans le niveau précédent, formuler des hypothèses sur la présence de sons élémentaires (phonèmes, par exemple), les sons élémentaires seront le point de départ pour l'analyseur lexical. On trouve la description d'un système de décodage acoustico-phonétique dans [LAZR, 83],
- l'analyse lexicale : son rôle est de regrouper les sons élémentaires reconnus au niveau inférieur en une suite de mots, en faisant référence à un lexique et des règles phonologiques pour traiter les insertions et élisions des phones,
- l'analyse syntaxique : centré sur un analyseur syntaxique qui, à partir de la grammaire du langage utilisé, formule ou valide des hypothèses sur la présence de mots ; elle permet de lever certaines ambiguïtés (choix entre deux mots candidats), d'une part et de minimiser le temps de recherche lexicale, d'autre part.

● l'analyse sémantique : elle a pour but d'affecter un sens à la phrase reconnue, de l'interpréter à partir du sens de chaque mot ou de signaler des erreurs dans la construction de la phrase : par exemple, la présence d'un mot exclut celle d'un autre. Ces erreurs sémantiques ne peuvent être détectées aux niveaux inférieurs (syntaxique, lexical, ...).

Les méthodes dites de reconnaissance analytique sont les seules adaptées au discours continu car la machine dispose d'une référence de chaque son de base (en nombre réduit : 37 phonèmes en français, la liste de ces phonèmes sera présentée en annexe) et, par regroupement de ces sons élémentaires, on peut engendrer un vocabulaire illimité. Cette approche favorise aussi le traitement multilocuteur, soit par autoadaptation au locuteur [PIST, 84], soit en disposant de plusieurs références des mêmes éléments de base ou de règles multilocuteurs.

L'impact de cette approche de reconnaissance ne sera important que lorsque tout le monde (ou une grande majorité des individus) pourra dialoguer librement avec la machine.

Des systèmes fonctionnant sous ce principe commencent à voir le jour mais le temps de calcul dépasse le temps réel et les scores de reconnaissance sont encore inférieurs à ceux de la reconnaissance globale.

III.1.3. Analyse de la parole -

Sous le terme d'"analyse de la parole" sont rassemblés deux aspects complémentaires du traitement du signal de parole :

● prétraitement du signal : phase entre l'acquisition des messages parlés par le microphone et leur exploitation par une machine. Dans le paragraphe II.1.2., nous avons brièvement présenté quelques aspects de ce point. Dans [HATO, 74], on peut trouver une description plus détaillée de cet aspect.

● étude de paramètres particuliers liés à la production vocale.

Nous citerons, à titre non limitatif :

- étude de la hauteur (mélodie) de la voix par l'étude de la valeur du fondamental (fréquence des vibrations des cordes vocales),
- étude de l'intensité : amplitude des vibrations sonores,
- étude du rythme par l'étude de l'évolution de l'énergie totale ou l'énergie dans une bande de fréquence bien choisie en fonction du temps,
- étude des caractéristiques fréquentielles des sons.

L'étude de ces paramètres peut être effectuée dans le but :

- d'aider à corriger ou de rééduquer la production des sujets déficients. Nous citerons dans ce domaine les travaux effectués par M.C. HATON dans le projet SIRENE (Système Interactif pour la Rééducation vocale des Enfants Non Entendants) [HATO, 75], [HATO, 81] et [BENN, 84],
- de favoriser l'enseignement de la lecture et de l'écriture au niveau de l'enseignement élémentaire chez les jeunes enfants,
- de remplacer les enseignants dans les tâches pénibles et fastidieuses que constitue l'enseignement des langues étrangères.

II.1.4. Synthèse de la parole -

Elle correspond à la reproduction artificielle de messages parlés, à partir d'éléments primitifs qui décrivent tout ou partie du message vocal à émettre. Dans ces conditions, la machine acquiert la faculté de parler.

Habituellement, on distingue plusieurs procédés de synthèse de la parole suivant les éléments de base que l'on considère (phrase, mot, syllabe ou phonème).

II.1.4.1. Synthèse par phrase ou restitution de parole :

Cela correspond à la restitution de messages préalablement saisis, codés, analysés et stockés dans la machine. La qualité du son restitué dépend de l'analyseur utilisé pour comprimer le signal de parole. Ce procédé est caractérisé par sa simplicité de mise en oeuvre et par la bonne qualité des sons qu'il permet d'obtenir (si le débit n'est pas trop faible) par comparaison à d'autres procédés de synthèse.

La synthèse par phrases est utilisable dans le cas où le nombre total de phrases à restituer est réduit ou si la qualité du son à produire est un facteur important. Dans notre étude, nous avons utilisé cette méthode de synthèse pour l'envoi des textes de dictées ; la raison qui nous a conduit à ce choix est que dans ce cas il est nécessaire de conserver le caractère naturel de la voix : intonation, rythme, articulation, ... La principale limite de cette méthode est l'encombrement en mémoire : en effet, tous les messages sont saisis globalement et on ne peut pas réutiliser des mots ou éléments de phrases pour en créer un nouveau message.

II.1.4.2. Synthèse par mots ou éléments de phrases :

La machine dispose d'une prononciation de chaque mot ou suite de mots connus : ceci correspond à un lexique de référence. La reconstitution du message consiste à juxtaposer les éléments de base composant le message les uns à la suite des autres. Pour éviter la prononciation mot à mot du message, un traitement spécifique est nécessaire pour résoudre le problème des liaisons entre les mots. Les principaux avantages de cette méthode de synthèse sont :

- sa simplicité de mise en oeuvre par rapport à la synthèse par phonème (par exemple),

- son encombrement mémoire moindre : pour synthétiser les mêmes messages, l'encombrement en mémoire est moins important que dans le cas de la synthèse par phrase car les mots communs à plusieurs messages ne sont saisis qu'une seule fois,

- la qualité du son engendré qui est comparable à celle d'un locuteur prononçant le message mot à mot.

Dans notre étude, nous avons retenu ce procédé de synthèse pour la restitution de sollicitations vocales aux utilisateurs. Nous détaillerons davantage cette application dans la partie concernant l'éditeur de textes parlés (C.I.1.).

II.1.4.3. Synthèse par syllabes ou phonèmes

Pour synthétiser n'importe quel message (langage parlé), les deux procédés décrits précédemment ne sont pas utilisables et la synthèse par syllabes ou phonèmes s'impose. Si on considère le cas des phonèmes en français, il existe environ 37 phonèmes et on peut supposer que le regroupement de ces phonèmes permet d'engendrer tous les mots du français. Or cette constatation est fautive car la représentation d'un phonème dépend de son contexte et de sa position dans le mot ou le message (transition) ; ceci nécessite l'usage de règles pour traiter ces variations intra et extra phonémiques lors de la reproduction du message.

Nous ne présenterons pas en détail cette approche, son étude détaillée dépassant le cadre de notre travail ; cependant, plusieurs synthétiseurs fonctionnant sur ce principe existent et sont présentés dans [GUIB, 45] et [FERR, 83].

II.2. - Synthèse musicale

Nous avons présenté dans les paragraphes précédents différentes techniques de synthèse de parole et nous avons soulevé la difficulté de la synthèse à partir de phonèmes ou syllabes et l'encombrement de mémoire qu'entraîne la synthèse par mot ou phrase. Dans cette partie, nous présentons quelques éléments sur la synthèse musicale.

II.2.1. Définition -

Un signal correspond à un son musical et est caractérisé par sa régularité et sa périodicité dans le temps et il est complètement décrit par sa hauteur, son intensité et son timbre :

- la hauteur est proportionnelle à la fréquence des vibrations du son. Elle est d'autant plus grande que le nombre de vibrations est important ou que la durée de ces vibrations est faible,

- l'intensité est déterminée par l'amplitude des vibrations sonores,

- le timbre renseigne sur le nombre et l'importance des harmoniques qui accompagnent le son. Il permet ainsi à l'oreille de distinguer le son d'un violon, celui d'une flûte ou d'une clarinette... exécutant la même note à la même hauteur.

Connaissant ces trois paramètres et la durée du son à produire, on peut synthétiser des notes de bonne qualité.

II.2.2. Synthèse musicale et série de Fourier -

Soit f une fonction définie sur le segment $[-\pi, \pi]$. On appelle "série de Fourier" la série trigonométrique :

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \quad (1)$$

où les coefficients a_n et b_n , appelés "coefficients de Fourier" de f , sont donnés par les formules suivantes :

$$\forall n \in \mathbb{N} : a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx \, dx \quad (2)$$

$$\forall n \in \mathbb{N} : b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx \, dx \quad (3)$$

Remarque 1 :

. si f est paire, alors :

$$a_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x) \cos nx \, dx \quad \text{et} \quad b_n = 0$$

. si f est impaire, alors :

$$a_n = 0 \quad \text{et} \quad b_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x) \sin nx \, dx$$

Ceci étant, on a le théorème fondamental suivant.

II.2.3. Théorème de Dirichlet -

Soit f une fonction périodique, de période 2π , satisfaisant dans un intervalle d'amplitudes 2π aux conditions suivantes :

- les discontinuités de f sont de première espèce et en nombre fini sur une période,
- f est monotone par morceaux.

Alors : la série de Fourier de f converge et a pour somme :

- . $f(x)$ en tout point x où f est continue,
- . $\frac{1}{2} [f(x+0) + f(x-0)]$ en tout point x où f présente une singularité de première espèce.

Remarque 2 :

. si f est une fonction continue par morceaux et est de période T ($T \neq 2\pi$), on se ramène au cas cité précédemment en faisant le changement de variables suivant :

$$x \longrightarrow \frac{T}{2\pi} x$$

Ainsi les formules (1), (2), et (3) deviennent :

$$(4) \quad \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi}{T} n x\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi}{T} n x\right)$$

$$(5) \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos\left(\frac{2\pi}{T} n x\right) dx$$

$$(6) \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin\left(\frac{2\pi}{T} n x\right) dx .$$

II.2.4. Composition des sons musicaux -

Pour synthétiser un son (une note), il suffit de :

- connaître ses caractéristiques :
 - . sa hauteur : fréquence (valeur de x dans (4)),
 - . le nombre d'harmoniques et leur intensité (valeur des coefficients des a_1 et b_1).

- utiliser le théorème de Dirichlet et calculer la série de Fourier sur une période avec un pas dépendant de la qualité du son que l'on désire écouter (tous les 1/10 000 seconde). La fréquence d'échantillonnage correspondant à 10 000 Hz permet d'engendrer des notes de qualité suffisante. Mais pour des sons de haute fidélité, il faut utiliser une fréquence d'échantillonnage beaucoup plus élevée (300 000 Hz). Plus la fréquence augmente, meilleure est la qualité,

- compléter le signal par concaténation jusqu'à la durée totale de la note.

Remarque 3 :

Après excitation d'un instrument de musique (corde d'un violon, par exemple), le son résultant est composé de trois parties :

- la première, période durant laquelle l'intensité augmente jusqu'à atteindre une "valeur plafond" : temps de montée,
- la seconde, l'intensité reste constante, égale à la "valeur plafond" : temps de maintien,
- la troisième, l'intensité décroît jusqu'à ce qu'elle devienne nulle : temps de descente.

D'après cette constatation, après le calcul de la série de Fourier, il faut amplifier les valeurs trouvés pour tenir compte du temps de montée, de maintien et de descente. L'enveloppe que nous avons utilisée a la forme suivante, présentée sur la figure B.5.

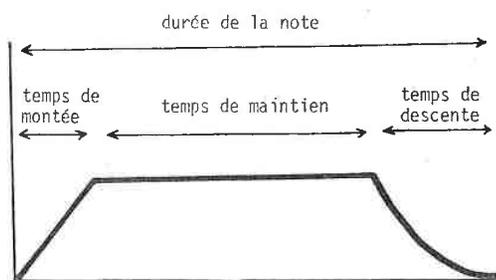


Figure B.5 : Enveloppe pour l'amplification du signal musical.

La figure B.6 représente la courbe correspondant à la note "la" à 440 Hz, sans harmonique ; pour la synthétiser, nous avons utilisé les coefficients suivants :

$$\begin{cases} a_i = 0 & \forall i > 0 \\ b_i \neq 0 & \\ b_i = 0 & \forall i > 0 \end{cases}$$

A l'audition, le son résultant est doux, manque d'énergie et de charme (on l'appelle "son pendulaire").

La figure B.7 représente la courbe correspondant à la même note "la" à 440 Hz mais avec des harmoniques ; pour l'obtenir, nous avons utilisé les coefficients ci-dessous :

$$a_i = 0 \quad \forall i > 0$$

$$b_i \neq 0 \quad \forall i = i_1, i_2, \dots, i_k \text{ tel que } b_i \neq 0 \quad \forall i = i_1, i_2, \dots, i_k$$

k étant le nombre d'harmoniques.

Le son résultant est plein, harmonieux et doux ; il est plus riche que le son de la même note sans harmonique.

Enfin, sur la figure B.8 on voit la même note avec harmoniques mais visualisée sur toute la durée (20/100 de seconde). Sur cette figure, on remarque clairement ; le temps de montée, de maintien et de descente.

En annexe, nous présenterons les fréquences des notes de la gamme tempérée et un tableau donnant les fréquences audibles et la place des différents instruments de musique et des voix. Dans notre programme, nous avons considéré les notes entre la troisième et la cinquième octave (de 262 Hz à 2 000 Hz) ce qui donne des sons agréables.

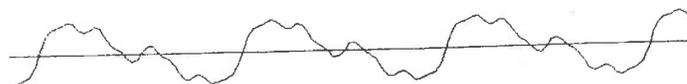


Figure B.6 : La note "la" (440 Hz) avec des harmoniques.

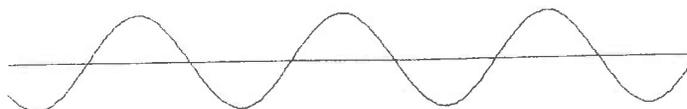


Figure B.7 : La note "la" (440 Hz) sans harmonique.

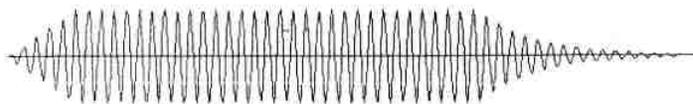


Figure B.8 : La note "la" sans harmonique et sur une durée de 20/100 de seconde.

II.3. - Graphique

Le graphique a pour objet de représenter un ensemble de données numériques sous forme visuelle. Cette représentation fournit plus de renseignements à l'opérateur que la liste des données elle-même ; elle permet aussi de tirer des conclusions sur ces données plus aisément et plus rapidement.

Dans notre étude, nous avons retenu le graphique sous un double aspect : l'acquisition et la visualisation.

II.3.1. L'Acquisition -

Elle s'effectue à l'aide d'une tablette graphique et d'un crayon électronique. Ce dernier, à intervalles de temps réguliers (tous les centièmes de seconde, par exemple), transmet à l'ordinateur les coordonnées du point de contact avec la tablette s'il est entraîné de dessiner ou une valeur particulière correspondant au lever de crayon. Les données seront ensuite échantillonnées, lissées et utilisées pour la reconnaissance du message. Dans la suite, paragraphe C.IV.6, nous présentons un analyseur pour la reconnaissance de partitions musicales transcrites manuellement sur une tablette graphique.

II.3.2. La Visualisation -

C'est l'opération inverse de l'acquisition : elle consiste à représenter un ensemble de données sous forme visuelle. Le principe est d'utiliser des points, des segments de droite comme éléments de base. Un dessin sera ainsi constitué par une suite ordonnée de ces éléments de base.

Nous avons utilisé la visualisation dans deux applications que nous détaillerons dans les parties C.IV.4 et C.IV.8 :

- visualisation de l'évolution de certains paramètres liés à la production vocale de l'utilisateur, dans le but d'aider à la production chez les apprenants déficients,
- visualisation de partitions musicales dans le but d'enseigner le solfège, la dictée ou la lecture musicale. Il existe bien sûr d'autres applications possibles du graphique en E.A.O. que nous ne citerons pas dans ce mémoire.

CHAPITRE III - APPORT DU T.A.P. ET DU T.A.G. EN E.A.O.

L'un des principes de base de l'Enseignement Assisté par Ordinateur est l'interactivité entre le didacticiel et l'apprenant. Les études présentées dans ce mémoire vont dans le sens de la mise à la disposition des enseignants et des élèves d'un environnement logiciel leur permettant une utilisation facile de la parole et du graphisme dans la conception et la mise en oeuvre de nouveaux didacticiels. Les motivations de ces études et l'apport potentiel de la parole et du graphique en E.A.O. peuvent se classer ainsi :

III.1. Amélioration du confort du dialogue homme-machine

L'utilisation actuelle par la plupart des systèmes d'E.A.O. des seuls modes de communication classiques limite fortement les possibilités pédagogiques : les échanges de l'information entre l'homme et la machine ne sont pas naturels et le type d'exercices traités est réduit. S'il est évident pour tout le monde que le graphisme peut aider à véhiculer un certain nombre de notions (on peut, à ce niveau, faire un parallèle avec les illustrations de tous les bons ouvrages pédagogiques), la parole fournit des échos vocaux qui seront mieux perçus et plus rapidement compris par des opérateurs (apprenants ou enseignants). Ceci améliore les dialogues machine-apprenant. On peut, en effet, imaginer, grâce à l'introduction de la parole en E.A.O., de fournir, d'une part, les messages propres au contenu enseigné et, d'autre part, un certain nombre d'autres messages dont les fonctions sont différentes :

- encouragement de l'élève ayant donné la bonne réponse,
- rappel à l'ordre en cas de réponse trop tardive, par exemple,

- rappel de notions précédemment vues ; on obtiendra ainsi la possibilité de définir des didacticiels capables de "souffler" un début de solution à l'apprenant.

Mais il ne faut pas se leurrer : l'utilisation de ces nouveaux moyens de communication reste encore dans le cadre de l'E.A.O., surtout pour la parole (compte tenu de l'état de recherche dans ce domaine) de l'ordre du "gadget", intéressant du point de vue pédagogique mais gadgets tout de même et ne peut à elle seule motiver le surcoût de l'adjonction d'entrées-sorties vocales à un système d'E.A.O.

III.2 Nécessité d'entrées-sorties vocales et graphiques pour des applications spécifiques

Il existe actuellement divers domaines de l'éducation où la formation est encore peu touchée par l'E.A.O. et nécessite l'utilisation d'entrées-sorties vocales. Sans en faire ici une liste exhaustive, on peut néanmoins citer :

- l'enseignement des langues étrangères : l'introduction du traitement automatique de la parole (synthèse de messages, analyse des sons et reconnaissance de la parole) devrait permettre de proposer des didacticiels d'utilisation beaucoup plus souple que ce qui serait proposé par un laboratoire de langues et apporter à l'apprenant une évaluation objective de ses productions sonores. Dans notre équipe, nous étudions aussi l'extension de SIRENE à l'apprentissage d'une langue étrangère,

- l'enseignement de la musique : dictée ou lecture musicale ou plus particulièrement l'enseignement du solfège, matière trop souvent ignorée de la part de beaucoup d'élèves,

- la rééducation vocale : et plus particulièrement ici rééducation des jeunes enfants malentendants ou non-entendants. Au risque de nous répéter, nous rappelons que ces enfants trouvent dans l'ordinateur un interlocuteur attentif et patient. Il peut leur proposer des exercices pour étudier les caractéristiques des voix ou la prononciation de sons particuliers sous forme de jeux avec retour visuel,

- apprentissage ou réapprentissage de la lecture et de l'écriture : on peut penser ici à l'enseignement primaire pour lequel l'enseignement de la lecture et l'écriture est une tâche répétitive et pénible pour l'enseignant. Nous espérons que les progrès continus en T.A.P. et T.A.G. favoriseront la prise en charge par l'ordinateur de ces tâches,

- enseignement professionnel et, plus particulièrement dans le cadre de mise en oeuvre de certains simulateurs : les simulateurs d'entraînement pour les pilotes ou les contrôleurs aériens. Il s'agit de permettre la saisie directe et le traitement automatique par l'ordinateur des commandes fournies par l'élève-pilote ou contrôleur. Dans ce cas, il est nécessaire de conserver l'aspect vocal de certaines situations de dialogue où l'aspect vocal est important. Il ne s'agit plus cette fois de "gadget" ; bien au contraire, l'adjonction d'entrées-sorties vocales est ici indispensable pour permettre, dans le cadre de ces diverses applications, une utilisation effective et efficace de l'Enseignement Assisté par Ordinateur.

III.3. Nécessité des entrées-sorties vocales pour avoir des stratégies pédagogiques plus performantes

En Traitement Automatique de la Parole on peut étudier le son produit par une personne pour déterminer son état émotionnel à un instant donné ; l'évaluation de la fréquence fondamentale de la voix est un paramètre qui peut partiellement en rendre compte. La comparaison entre la valeur moyenne habituelle de cette fréquence et les valeurs calculées sur les nouvelles réponses permet à la machine de déterminer l'état émotionnel de l'apprenant (motivé, fatigué ou ennuyé...). Ceci permet d'enchaîner avec le travail qui convient à l'élève selon son état. Ceci permet de rendre les stratégies pédagogiques qui étaient jusqu'alors adaptatives uniquement en fonction du niveau et du profil de chaque élève, adaptatives aussi en fonction de leur état émotionnel, ce qui constitue un facteur important pour l'amélioration des stratégies pédagogiques et mérite donc d'être étudié plus profondément.

III.4. Conclusion

Dans cette partie, nous avons présenté les outils nécessaires pour améliorer la qualité et développer le champ d'application de l'Enseignement Assisté par Ordinateur? Nous avons présenté d'abord les Systèmes Experts qui rendent "intelligents" les systèmes d'E.A.O. puis le traitement automatique de la parole, de l'image, du graphique et du langage naturel qui améliore le dialogue. Nous nous intéresserons par la suite aux derniers outils (T.A.P., T.A.I....) pour lesquels diverses fonctionnalités doivent être mises en oeuvre pour permettre la prise en compte de nouveaux modes de communication ; ces fonctionnalités se situent à trois niveaux :

- . acquisition des messages vocaux et graphiques (réponses des élèves, par exemple),
- . analyse ou reconnaissance de ces messages,
- . mise en oeuvre d'un dialogue (encouragements, explication, enchaînement vers un autre dialogue...).

La troisième partie est consacrée à la présentation de l'ensemble des nouveaux objets et des nouvelles fonctions que nous avons réalisés pour favoriser l'amélioration du dialogue. Notre objectif est de permettre, dans le cadre de système d'E.A.O., un choix diversifié et simple des modes de communication ; nous pouvons schématiser notre proposition par la figure B.9.

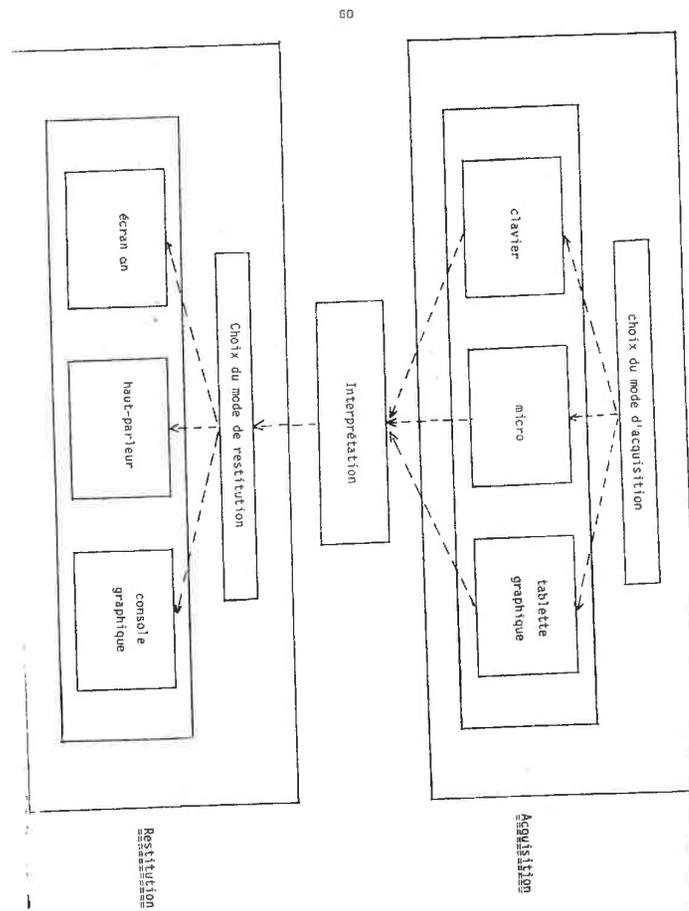


Figure 8.9 : Différents modes de communication homme-machine en E.A.O.

- . acquisition des messages vocaux et graphiques (réponses des élèves, par exemple),
- . analyse ou reconnaissance de ces messages,
- . mise en oeuvre d'un dialogue (encouragements, explication, enchaînement vers un autre dialogue...).

La troisième partie est consacrée à la présentation de l'ensemble des nouveaux objets et des nouvelles fonctions que nous avons réalisés pour favoriser l'amélioration du dialogue. Notre objectif est de permettre, dans le cadre de système d'E.A.O., un choix diversifié et simple des modes de communication ; nous pouvons schématiser notre proposition par la figure 8.9.

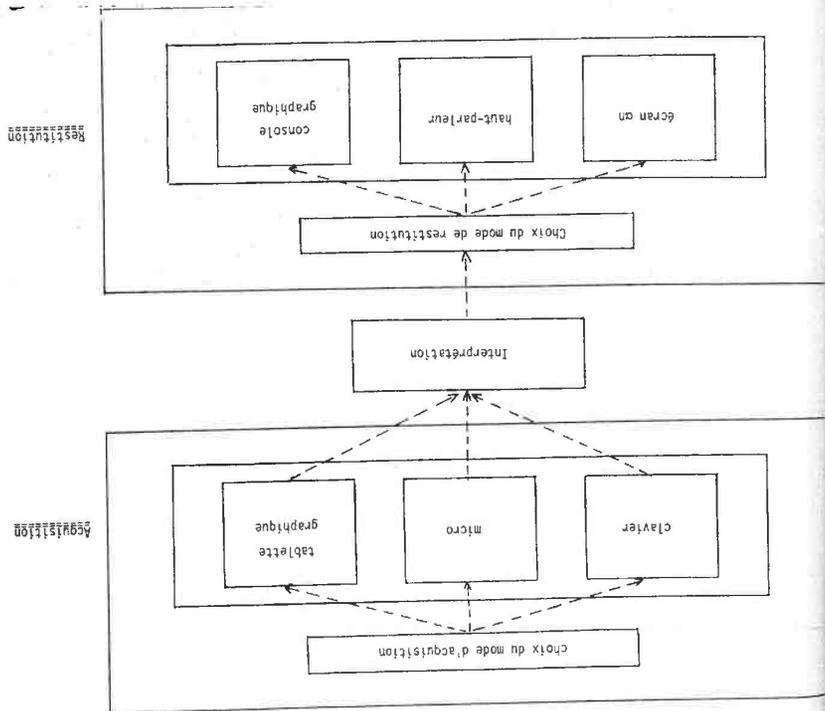


Figure B.9 : Différents modes de communication homme-machine en E.A.O.

PARTIE C
PRESENTATION ET REALISATION
DE QUELQUES OUTILS

INTRODUCTION

Dans cette partie, nous décrivons l'ensemble des outils que nous avons définis et que nous proposons de mettre à la disposition des enseignants et des élèves pour manipuler des didacticiels utilisant des objets de type "parole" ou "graphique".

Les conséquences de l'adjonction de ces outils en E.A.O. ont été présentées dans le chapitre B.III et ne seront donc pas mentionnées dans cette partie. Dans le premier chapitre, nous présentons les éditeurs spécialisés que nous avons définis pour créer, utiliser et cataloguer ces objets. Le second chapitre sera consacré à la spécification formelle de ces types d'objets. La description du système "EDIT" réalisé fera l'objet du troisième chapitre. Le quatrième chapitre présentera les analyseurs de réponses spécialisés, nécessaires pour ces nouveaux types objets. Enfin, le cinquième chapitre décrira le logiciel "GRAPES" que nous avons réalisé et qui permet aux enseignants-auteurs de créer des leçons et aux apprenants de les interpréter.

CHAPITRE I - EDITEURS : DESCRIPTION GENERALE

Un éditeur d'un type d'objets est un ensemble de fonctions mises à la disposition des utilisateurs afin de leur permettre une manipulation aisée des objets de ce type : création, restitution, gestion, cataloguage, etc. Dans la suite, nous distinguerons trois types d'objets :

- "parole" (P),
- "texte parlé" (TP),
- "texte musical" (TM).

Les deux derniers types ("TM" et "TP") utilisent respectivement les types "*symbole musical élémentaire*" (SME) et "*message élémentaire*" (ME). Pour chacun des types énumérés précédemment, nous avons défini un éditeur spécialisé. Le tableau ci-dessous, figure C.1, résume les principales fonctions de ces éditeurs. Pour chacun, il donne la liste des fonctions autorisées ; nous reprenons en détail, dans la suite, ces différents objets et ces fonctions.

Type d'objets / Fonction	Texte parlé	Texte musical	Parole	Message élémentaire	Symbole musical élémentaire
Apprendre	-	-	+	+	+
Créer	+	+	+	+	+
Détruire	+	+	+	-	-
Ecouter	+	+	+	+	+
Imprimer	+	+	+	+	+
Lister	+	+	+	+	+
Prendre	+	+	+	+	+
Renommer	+	+	+	-	-
Sauver	+	+	+	+	+
Visualiser	-	+	+	+	+



la fonction désignée n'est pas définie sur le type d'objets correspondant,



la fonction désignée est définie sur le type d'objets correspondant.

Figure C.1: Fonctions des Editeurs d'objets "TP", "P", "TM", "ME", "SE".

I.1. Editeurs d'objets de type "Texte parlé"

Un texte parlé est une suite de messages élémentaires (un message élémentaire étant un mot ou un groupe de mots) composée par l'auteur à l'aide d'un éditeur de texte vidéo. Ces messages seront restitués à la suite les uns des autres sous forme vocale. Nous ferons à ce niveau une analogie entre la restitution d'un "texte parlé" et la "synthèse par mots" ou par éléments de phrases.

Dans ces conditions, la qualité des sons synthétiques résultant de la restitution d'un "texte parlé" est équivalente à celle d'un texte prononcé mot à mot par un locuteur, si du moins l'apprentissage de l'ensemble des messages élémentaires a été réalisé par le même locuteur. A la création d'un "TP", le programme vérifie s'il possède une représentation orale de chaque message élémentaire contenu dans le "texte parlé". Dans la négative, il demande à l'auteur de lui fournir une prononciation de chacun de ces nouveaux messages élémentaires.

Un même message élémentaire peut être utilisé pour composer plusieurs "textes parlés" avec les seules restrictions que tous les messages élémentaires composant un même "texte parlé" doivent appartenir au même locuteur. Cette restriction est liée bien sûr au confort de l'écoute lors de la restitution, après leur concaténation.

Ce type de message est utilisé pour remplacer les sollicitations textuelles avec les avantages cités dans B.I.2.2. .

Dans notre programme, nous autorisons l'utilisation de variables dans les "textes parlés", une variable ne prenant sa valeur qu'à l'exécution (interprétation) du didacticiel. Ainsi la restitution du texte parlé :

"BRAVO & NOM, TU AS TROUVE LA BONNE SOLUTION"

donne à l'interprétation :

"BRAVO CHARLY, TU AS TROUVE LA BONNE SOLUTION".

(CHARLY : nom de l'apprenant).

A l'heure actuelle, les variables que nous avons envisagées sont le nom, le prénom et le nom du didacticiel (cours) courant. Cependant, cette liste n'est pas limitative ; elle peut s'enrichir à la demande des utilisateurs. Cette possibilité (variables dans les "TP") nous permet de paramétrer les messages, ce qui favorise en particulier l'émission de sollicitations personnalisées aux apprenants.

I.2 - Editeur d'objets de type "Parole"

Par opposition au texte parlé, un "objet-parole" est considéré comme une seule entité. Sa restitution doit s'effectuer de façon continue et non plus mot à mot. Ceci rappelle la synthèse par phrase (B.II.1.4.2.). Ces "objets-parole" sont utilisés lorsque la qualité des messages à restituer est déterminante ; ce qui est le cas pour les exercices de type dictés, lecture ou dans le cas de l'enseignement des langues étrangères. Dans ces situations, il est particulièrement important que l'intelligibilité du message soit bonne et l'élocution naturelle. Ces contraintes obligent à restituer le message dans sa globalité et avec un débit d'information maximal compte-tenu des conditions citées dans B.II.1.3.

I.3. Editeur de "textes musicaux"

Comme pour les textes parlés, un "texte musical" est composé de plusieurs primitives qui sont les notes musicales. L'auteur compose les textes musicaux grâce à un éditeur de texte vidéo, en fournissant les symboles correspondant à chaque note figurant dans le "texte musical" ou directement en transcrivant sur une tablette graphique la partition correspondante. A l'interprétation du didacticiel, chaque note sera synthétisée individuellement à partir de ses caractéristiques (fréquence, durée, ...) ou visualisée sous forme symbolique sur un écran graphique, en fonction du type du didacticiel. La synthèse musicale et le traitement automatique du graphique nous permettront par conséquent de faire plusieurs nouveaux types d'exercices : la dictée et la lecture musicale ainsi que divers exercices liés à l'enseignement du solfège.

I.4. Editeur de graphique

Dans notre étude, nous utilisons le "graphique" pour deux applications différentes :

- interaction son-graphique et visualisation de l'évolution de certains paramètres liés à la production vocale chez les apprenants. Cette interaction présente l'intérêt de fournir une aide visuelle appréciable surtout dans le cas de l'enseignement des langues étrangères, particulièrement pour l'étude du rythme et de la mélodie, ou la rééducation vocale,
- visualisation sur écran graphique ou acquisition à partir d'une tablette graphique de partition musicale avec possibilité de reconnaître automatiquement les différents symboles transcrits.

Ce que nous proposons à ce niveau n'est pas d'écrire un éditeur graphique entièrement mais d'adjoindre aux éditeurs graphiques classiques de nouvelles fonctions leur permettant :

- . la saisie d'un graphique à partir d'une tablette et d'un stylo électronique,
- . la reconnaissance automatique des symboles musicaux,
- . la visualisation d'un graphique à partir d'un ensemble de points.

CHAPITRE II - SPECIFICATION DES EDITEURS

La spécification formelle est une étape importante lors de la conception de nouveaux logiciels ; elle permet de structurer les données en types d'objets, d'établir les liens entre ces types et de décrire les fonctions agissant sur ces objets.

Ce chapitre contient une partie de la spécification formelle que nous avons réalisée avant d'entamer la réalisation pratique des éditeurs et analyseurs spécialisés. Il se compose de deux paragraphes : le premier énumère les principaux avantages de la spécification abstraite, le second présente les spécifications des types d'objets "CTF", "TF" et "TM". Nous n'avons pas détaillé la spécification des autres types qui serait, en fait, proche de la précédente.

II.1. Avantages de la spécification formelle

Les avantages d'une étape de spécification formelle au préalable à la réalisation de l'application automatisée sont nombreux :

- la structuration des données en types d'objets et la définition de ces types en termes d'opérations, ce qui conduit à une double modularité :
 - . modularité des données car on définit des types et des opérations entre ces types,
 - . modularité des programmes, chaque type n'est accessible que par les fonctions prédéfinies qui peuvent opérer sur lui,

■ l'indépendance entre la conception et la réalisation, ce qui permet d'étendre facilement le logiciel développé par de nouvelles fonctions sans remettre en cause la spécification des anciennes fonctions.

■ la notion de type "générique" qui permet de construire des types paramétrés par d'autres types. Ce qui revient à dire que la spécification d'un type d'objets peut être réutilisée pour définir de nouveaux types d'objets,

■ la possibilité pour la spécification de jouer le rôle de cahier des charges entre le concepteur et l'utilisateur. La spécification devient alors un excellent moyen de communication.

Dans la suite, nous présentons la spécification en termes de types abstraits des types : catalogues, type générique "TF" et de type "TM". Le tableau de la figure C2 donne une définition informelle de chacun des types d'objets que l'on utilise. La figure C3 présente la hiérarchie qui existe entre ces types.

TYPE	SPECIFICATION INFORMELLE
CTF	Type catalogue formé d'une liste d'objets de type "TF"
TF	Type générique regroupant les types "parole" (P), "texte parlé" (TPF), "musique" (TM)
TM	Type "texte musical" ou "musique" défini comme une liste de symboles musicaux élémentaires
SME	Type symboles musicaux élémentaires
P	Type "parole"
S-P	Type signal de parole défini comme une table de n prélèvements ; chaque prélèvement étant formé d'un vecteur de n1 valeurs (paramètres d'acquisition)
TP	Type "texte parlé" cataloguable
TPF	Type "texte parlé fictif" qui sera catalogué soit comme "texte parlé" (TP) si tous les messages élémentaires le composant sont connus, soit comme "texte parlé en attente d'apprentissage" (TPA) dans le cas contraire
TPA	Texte parlé en attente d'apprentissage
MEF	Message élémentaire fictif soit connu (ME), soit en attente d'apprentissage (MEA)
ME	Type message élémentaire connu
MEA	Type message élémentaire en attente d'apprentissage
S-ME	Signal de parole correspondant à un message élémentaire

Figure C.2 : Types d'objets utilisés.

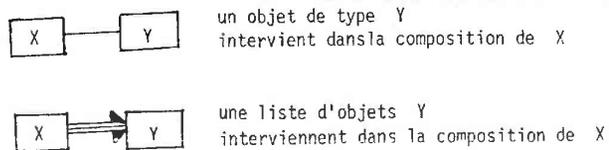
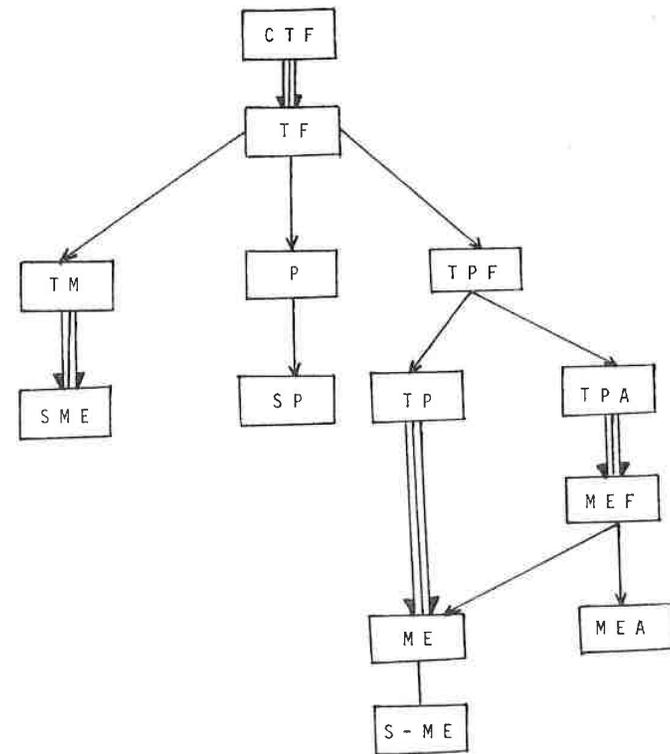


Figure C.3: Synoptique des liaisons entre les différents types définis.

II.2. Spécification formelle des nouveaux types

II.2.1. Type catalogue CTF -

SPECIFICATION FORMELLE	LEXIQUE
<p><u>TYPE</u> CTF (Elem : TF)</p>	<p>TF : est un type générique réunion des types "parole", "texte parlé", "musique"</p>
<p><u>OPERATIONS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> . Cvide → CTF . Sauver CTF x Elem → CTF . Renommer CTF x C1 x C2 x indic → CTF . Accéder CTF x rang x indic → CTF . Détruire CTF x C1 x indic → CTF . Prendre CTF x C1 x indic → TF v {w} . Imprimer CTF x C1 x indic → TF v {w} . Lister CTF x ch1 x ch2 x indic → L - TF . Est catalogué CTF x C1 x indic → Bool 	<p>Elem : une valeur (objet) de type TF</p> <p>C vide } constructeurs du type TF sauver }</p> <p>C vide : création d'un catalogue vide</p> <p><u>Sauver</u> : sauvegarde d'un nouvel objet TF dans le catalogue</p> <p><u>Détruire</u> : suppression d'un objet du catalogue</p> <p><u>Renommer</u> : changement du nom d'un objet catalogué</p> <p><u>Accéder</u> : rend l'objet situé au rang "rang" et de type "indic" comme objet courant</p> <p><u>Prendre</u> : rend l'objet de nom "C1" et de type "indic" comme objet courant</p> <p><u>Imprimer</u> : imprime le contenu de l'objet catalogué de nom "C1" et de type "indic"</p>

SPECIFICATION FORMELLE (suite)	LEXIQUE (suite)
<p>AXIOMES</p> <p>. $t : \text{CTF}, v : \text{TF}$</p> <p>. $C1, C2 : \text{chaîne}, id : \text{indic}$</p> <p>. $num : \text{entier}$</p> <p>. <u>Est catalogué</u> ($vide, C1, id$) = ω</p> <p>. <u>Est catalogué</u> ($\text{sauver}(t, v), C1, id$) = <u>si</u> $ind(v) = id$ et $nom(v) = C1$ <u>alors</u> vrai <u>sinon</u> <u>est catalogué</u> ($t, C1, id$)</p> <p><u>fsi</u></p> <p>. <u>Détruire</u> ($vide, C1, id$) = $vide$</p> <p>. <u>Détruire</u> ($\text{sauver}(t, v), C1, id$) = <u>si</u> $ind(v) = id$ et $nom(v) = C1$ <u>alors</u> t <u>sinon</u> $\text{sauver}(\text{détruire}(t, C1, id), v)$</p> <p><u>fsi</u></p> <p>. <u>Renommer</u> ($vide, C1, C2, id$) = $vide$</p> <p><u>Renommer</u> ($\text{sauver}(t, v), C1, C2, id$) = <u>si</u> $ind(v) = id$ et $nom(v) = C1$ <u>alors</u> $nom(v) = C2$ <u>Détruire</u> ($t, C1, id$) <u>Sauver</u> (t, v) <u>sinon</u> <u>Renommer</u> ($t, C1, C2, id$)</p> <p><u>fsi</u></p>	<p><u>Lister</u> : édite les noms des objets de type "indic" placés entre les objets de même type et de noms "ch1" et "ch2"</p> <p><u>Est catalogué</u> : rend un booléen "vrai" si l'objet de nom "C1" et de type "indic" est cata- logué, "faux" sinon</p>

SPECIFICATION FORMELLE (suite)	LEXIQUE (suite)
<p>. <u>Prendre</u> ($vide, C1, id$) = ω</p> <p><u>Prendre</u> ($\text{sauver}(t, v), C1, id$) = <u>si</u> $ind(v) = id$ et $nom(v) = C1$ <u>alors</u> v <u>sinon</u> <u>Prendre</u> ($t, C1, id$)</p> <p><u>fsi</u></p> <p>. <u>Imprimer</u> ($vide, C1, id$) = ω</p> <p><u>Imprimer</u> ($\text{sauver}(t, v), C1, id$) = <u>si</u> $ind(v) = id$ et $nom(v) = C1$ <u>alors</u> v <u>sinon</u> <u>imprimer</u> ($t, C1, id$)</p> <p><u>fsi</u></p> <p>. <u>Accéder</u> ($vide, num, id$) = ω</p> <p><u>Accéder</u> ($\text{sauver}(t, v), num, id$) = <u>si</u> $ind(v) = id$ et $num = 1$ <u>alors</u> v <u>sinon</u> <u>Accéder</u> ($t, num - 1, id$)</p> <p><u>fsi</u></p> <p>. <u>Lister</u> ($vide, C1, C2, id$) = Liste $vide$</p> <p><u>Lister</u> ($\text{sauver}(t, v), C1, C2, id$) = <u>si</u> $ind(v) = id$ et $C1 \neq nom(v) \neq C2$ <u>alors</u> $concat(1, nom(v))$ <u>lister</u> ($t, C1, C2, id$) <u>sinon</u> <u>lister</u> ($t, C1, C2, id$)</p> <p><u>fsi</u></p>	<p>. la 1ère restriction signifie que l'on ne peut pas sauver un objet si un autre objet catalogué a le même nom</p>

SPECIFICATION FORMELLE (suite et fin)	LEXIQUE (suite et fin)
<p><u>RESTRICTIONS</u></p> <p>. Pré-sauver (t,v) = 1 est catalogué (t,nom(v),ind(v))</p> <p>. Prénommer (t,C1,C2,id) = 1 est catalogué (t,C2,id)</p> <p>FINTYPE</p>	<p>. La 2ème restriction signifie que le nom "C2" ne doit pas être celui d'un objet déjà catalogué</p> <p>L'opération "non" est définie sur le type générique "TF"</p>

II.2.2. Spécification du type générique "TF" -

SPECIFICATION FORMELLE	LEXIQUE
<p><u>Type</u> TF</p> <p>TF = "P" U "TP" U "TM"</p> <p><u>OPERATIONS</u></p> <p>TF - P : P → TF</p> <p>TF - TP : TP → TF</p> <p>TF - TM : TM → TF</p> <p>Ind : TF → Indic</p> <p>Nom : TF → chaîne</p> <p><u>AXIOMES</u> : t1 : P, t2 : TP t3 : TM</p> <p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{indic (TF - P (t1)) = "P"} \\ \text{indic (TF - TP (t2)) = "TP"} \\ \text{indic (TF - TM (t3)) = "TM"} \end{array} \right.$ </p> <p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{nom (TF - P (t1)) = Np (t1)} \\ \text{nom (TF - TP (t2)) = Ntp (t2)} \\ \text{nom (TF - TM (t3)) = Ntm (t3)} \end{array} \right.$ </p> <p>FINTYPE</p>	<p>TF est la réunion des types "P", "TP", "TM" représentant respectivement les types "parole", "texte parlé" et "texte musical"</p> <p> $\left. \begin{array}{l} \text{TF - P} \\ \text{TF - TP} \\ \text{TF - TM} \end{array} \right\} \text{ Constructeur du type TF}$ </p> <p>TF - P, TF - TP, TF - TM transforment respectivement un objet de type "P", "TP" ou "TM" en objet de type TF</p> <p>"Indic" donne le type d'un objet TF (p, tp ou tm)</p> <p>"Nom" donne le nom d'un objet TF Np, Ntp, Ntm opérations externes définies respectivement, sur les objets de type "P", "TP", "TM", comme projection selon le champ nom de l'objet</p> <p>FINTYPE</p>

II.2.3. Spécification du type texte musical (TM) -

SPECIFICATION FORMELLE	LEXIQUE
<p>. Type TM TM = Nom x liste de noms de symboles</p> <p>. OPERATIONS</p> <p>Créer 1 : chaîne → TM Créer 2 : TM x SM → TM Ntm : TM → chaîne</p> <p>Synthèse : TM → son</p> <p>Visu → graphique Visusignal : → graphique</p> <p>. AXIOMES m : SM, t : TM</p> <p>- Ntm (Créer 1 (C)) = C Ntm (Créer 2 (t,m)) = t,nom</p> <p>- Synthèse (Créer 1(C)) = ∅ Synthèse (Créer 2(t,m)) = synthèse(t) synthèse 1(n)</p> <p>- Visu (Créer 1(C)) = ∅ Visu (Créer 2(t,m)) = visu(t)visu1(m)</p> <p>- Visusignal (Créer 1(C)) = ∅ Visusignal (Créer 2(t,m)) = Visusignal (t), visusignal 1(m)</p> <p>FINTYPE</p>	<p><u>TM</u> : texte musical Un texte musical est formé par de produit cartésien de ::</p> <p>. un nom : clé d'accès à l'objet . une liste de noms de symboles élémentaires composant le texte musical</p> <p>. créer 1 } constructeur de type créer 2 }</p> <p>Ntm donne le nom d'un objet de type TM</p> <p><u>Synthèse</u> : synthétise une par- tition musicale</p> <p><u>Visu</u> : Visualise sur une console graphique une partition musicale</p> <p><u>Visusignal</u> : visualise le signal</p> <p><u>Synthèse</u>, <u>visu</u>, <u>visusignal</u> uti- lisent respectivement Synthèse 1, Visu 1, Visusignal 1 définies sur le type SM (symboles musicaux élémentaires</p> <p>Ces 3 dernières fonctions syn- thétisent, visualisent ou res- tituent le signal correspondant à un symbole musical élémentaire</p>

CHAPITRE III - "EDIT" : EDITEUR D'OBJETS PAROLES ET GRAPHIQUES

Ce chapitre présente brièvement, sous un aspect pratique, les éditeurs spécialisés que nous avons exposés dans le chapitre C.I. Pour ce faire, nous allons passer en revue les principales caractéristiques du logiciel "EDIT" que nous avons réalisé pour automatiser les fonctionnalités décrites précédemment. Lors de la conception de ce logiciel, nous avons retenu les choix qui conduisent à des dialogues simples, faciles et agréables pour les enseignants-auteurs, ainsi que pour les apprenants.

Pour décrire "EDIT", nous présentons quatre paragraphes. Le premier résume ses principales caractéristiques ; dans le second paragraphe de ce chapitre, nous donnerons un synoptique des principaux modules composant "EDIT", leurs liens, puis nous les décrirons les uns à la suite des autres.

Dans le troisième paragraphe, nous allons fournir la liste des fonctions disponibles et pour chacune d'elles nous présenterons la liste des paramètres, le type d'objets sur lequel elle s'applique et la nature de l'action qu'elle effectue.

Enfin, dans le quatrième paragraphe et à titre d'exemple, nous simulerons l'exécution de deux fonctions :

- impression du contenu d'un "TP",
- création d'un "TM",

et nous présenterons les écrans et les sollicitations successifs qui s'afficheraient si un enseignant-auteur exécutait ces mêmes fonctions.

III.1. Caractéristiques de "EDIT"

EDIT offre à l'utilisateur plusieurs possibilités :

- il fonctionne en mode pleine page et non en mode ligne par ligne,
- il peut être utilisé sous deux modes : "guidé" ou "libre" ; en mode "guidé" ou "Bavard", EDIT propose pour chaque catalogue un menu des opérations possibles. Le passage d'un mode à l'autre s'effectue par simple appui sur une touche,

- plusieurs touches-fonctions sont à la disposition de l'utilisateur : ces dernières sont détaillées dans le paragraphe III.3,

- sur demande de l'utilisateur, EDIT peut lui restituer des messages sonores correspondant aux principaux messages textuels affichés sur l'écran,

- les messages informatifs envoyés à l'utilisateur sont visualisés avec plusieurs options vidéo :

- . inversion vidéo,
- . clignotement,
- . demi brillance,
- . soulignement.

Ceci dans le but d'engendrer un dialogue agréable qui évite la surcharge de l'écran, qui ressort l'essentiel des informations et qui attire l'attention de l'utilisateur (grâce au clignotement), dans le cas d'opérations particulières telles que la validation de la suppression d'un objet,

- l'écran de l'utilisateur est divisé en cinq parties qui sont :
 - . zone entête,
 - . zone de travail,
 - . zone information,
 - . zone message et validation,
 - . zone commande (pour le cas du mode "muet" seulement).

La figure C.4 donne la description de l'écran tel que nous l'avons défini.

L01	.....	<u>ZONE ENTETE</u>	
L02			
L03	.....	. titre	
L04	.....	. catalogue courant	
L05			
L06			
L07	.....	<u>ZONE DE TRAVAIL</u>	
L08			
L09	.....	. édition des objets	
L10			
L11	.....	. menu général	
L12			
L13	.....	. menu des opérations possibles sur le catalogue (en cas de mode Bavard)	
L14			
L15			
L16			
L17			
L18	.....	<u>ZONE INFORMATION</u>	. objet courant . auteur
L19		Commentaires vocaux	. en hors fonction . mode de dialogue
L20		Liste de commandes disponibles sur le catalogue (mode muet)	
L21		Action des touches fonction valides	
L22		Liste des touches fonction	
L23	.....	<u>ZONE MESSAGE ET VALIDATION</u>	
L24	.....	<u>ZONE COMMANDE</u> (mode muet)	

Figure C.4 : Définition d'un écran dans EDIT

III.2. Présentation générale de "EDIT"

"EDIT" est un éditeur d'objet parole et graphique ; il permet aux enseignants de créer des objets de l'un des types énumérés dans le chapitre C.I. et de les utiliser dans des didacticiels.

Dans ce paragraphe, nous décrivons la structure du programme "EDIT" puis, dans le chapitre V, nous exposerons la façon d'utiliser les fonctions de cet éditeur dans un système d'E.A.O. pour avoir des didacticiels utilisant les possibilités de parole et de dessin. La figure C.5 illustre les principales composantes du logiciel "EDIT" et les liens qui les unissent.

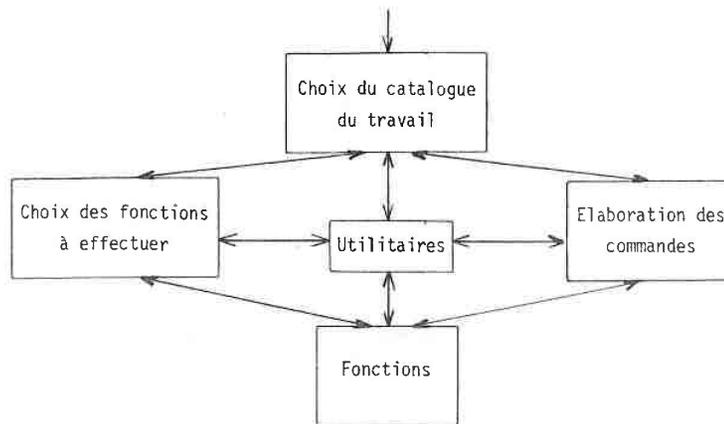


Figure C.5 : Synoptique des différentes composantes du logiciel "EDIT".

- **utilitaires** : ils correspondent à des procédures écrites dans le but d'aider l'utilisateur ou de lui faciliter la tâche lors de l'utilisation du logiciel "EDIT". L'activation de ces fonctions se fait par un simple appui sur une touche du clavier de la machine utilisée. Dans "EDIT", nous avons défini huit utilitaires : "Aide", "Mode", "Parole", "Réécoute", "Menu", "Suite", "Annul" et "Fin Aide". Les touches correspondantes sont successivement : "F1", "F2", "F3", "F4", "F5", "F6", "F7" et "F8" ; nous reprenons en détail ces fonctions dans le paragraphe suivant,

- **fonctions** : ce sont les procédures que nous avons définies sur les types d'objets paroles et graphiques,

- **élaboration de commande** : l'utilisateur familiarisé avec le programme n'a pas besoin de l'affichage du menu pour choisir le traitement qu'il désire. Pour un tel utilisateur, "EDIT" offre un second mode "Muet" qui lui permet de formuler directement sa commande (voir l'exemple de la création d'un "TM" dans le paragraphe C.III.3),

- **choix du catalogue du travail** : l'utilisateur doit choisir et donner à la machine le nom du catalogue des objets sur lequel il veut travailler : catalogue des "TP", "P", "TM", "ME" ou "SE". La figure C.6 donne un exemple de sollicitation envoyée à l'auteur pour faire son choix,

```

Enseignement Assisté par Ordinateur
=====
Gestion des Catalogues

Que voulez-vous faire :

Terminer : 0
Accéder au catalogue des textes Paroles : 1
Accéder au catalogue des objets Parole : 2
Accéder au catalogue des textes musicaux : 3
Accéder au catalogue des Messages Elémentaires : 4

 taper votre réponse (0,1,2,3 ou 4) ?

Option Parole : Active
Auteur : BENHANI
Mode : Bavard

AIDE  MODE  PAROLE  REECOUTE  MENU  SUITE
F1    F2    F3    F4    F5    F6    F7    F8

```

Figure C.6 : Choix du catalogue de travail.

● choix d'une fonction : l'utilisateur a choisi le catalogue de travail, il lui reste alors à déterminer parmi les fonctions définies sur ce catalogue celle qu'il souhaite exécuter. La figure C.7 ci-dessous donne un exemple d'écran qui s'affiche pour l'utilisateur afin que ce dernier choisisse une fonction à exécuter

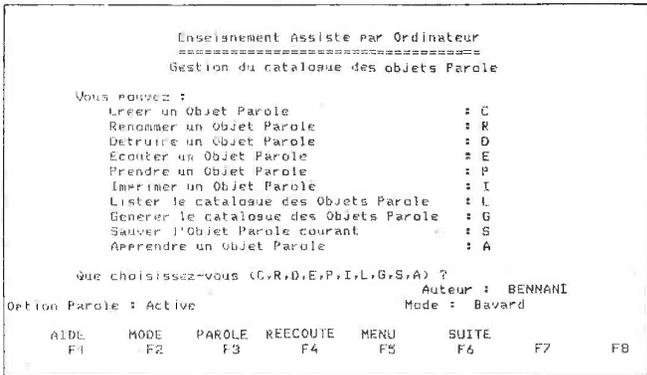


Figure C.7 : Choix de la fonction à exécuter.

III.3. Les fonctions de "EDIT"

Dans ce paragraphe, nous présentons en détail les différentes fonctions que nous avons définies dans "EDIT". L'ensemble de ces fonctions peut être partitionné en trois classes :

● les fonctions nécessaires pour la création, la gestion et la restitution des objets "TP", "P"... Le tableau de la figure C8 résume brièvement les fonctions appartenant à cette classe.

NOM DE LA FONCTION	PARAMETRES	TYPE D'OBJETS MODIFIES	DESCRIPTION INFORMELLE DE LA FONCTION
Apprendre		P, ME	déclenche la saisie au microphone. Les objets de type "P" ou "ME" non encore appris par "EDIT".
Créer	iden	P, TP, ME, TM, SM	créé l'objet de nom "iden".
Détruire	iden	P, TP, ME, TM	détruit l'objet "iden". "iden" est supprimé définitivement du catalogue.
Ecouter	iden, nb	TP, P, ME, SM, TM	restitue sous forme sonore "nb" fois l'objet "iden" s'il est du type "ME", "TP" ou "P" ou le synthétiser "nb" fois s'il est de type "TM", "SM".
Générer		TP, P, ME, SM, TM	réinitialise le catalogue courant. Tous les objets contenus dans le catalogue sont détruits.
Imprimer	iden, perif	TP, P, ME, SM, TM	édite sur le périphérique désigné par "perif" les composantes de l'objet "iden" dans le catalogue courant.
Lister	iden 1, iden 2 perif	TP, P, ME, SM, TM	édite sur le périphérique désigné par "perif" les noms des objets contenus dans le catalogue courant dont le nom est compris entre "iden 1" et "iden 2".
Prendre	iden	TP, P, ME, SM, TM	si l'objet de nom "iden" se trouve dans le catalogue courant, il devient l'objet courant.
Renommer	iden 1, iden 2	TP, P, ME, SM, TM	donne à l'objet "iden 1" le nom "iden 2".
Sauver		TP, P, ME, SM, TM	sauvegarde un objet créé dans la catalogue.
Visualiser	iden, orig	TM, SM	visualise sur l'écran graphique l'objet "iden" sur la portée dessinée à partir du point d'ordonnée "orig".

Figure C.8 : Les fonctions de "EDIT".

• les fonctions utilitaires dont le but est de guider l'utilisateur non informaticien ou de lui donner des informations complémentaires pour accomplir normalement et sans difficulté le travail qu'il souhaite réaliser.

Dans la suite, nous allons passer en revue ces fonctions :

- . Aide : l'activation de cette fonction correspond à la demande de renseignements sur :
 - la signification des différents catalogues,
 - la signification des différentes opérations possibles sur le catalogue courant,
 - la syntaxe d'une commande et/ou la signification de ses paramètres,
 - le fonctionnement d'une opération,
 - l'action des touches valides,
- . Mode : cette touche permet à l'utilisateur de changer le mode de travail (passer de "Bavard" à "Muet" ou inversement),
- . Parole : si cette fonction est activée, l'utilisateur reçoit des échos sonores correspondants aux principaux messages affichés sur l'écran,
- . Réécoute : l'activation de cette fonction entraîne la reproduction du dernier message vocal restitué,
- . Menu : cette fonction permet de revenir au niveau du dialogue précédent (choix du catalogue de travail ou choix d'une fonction à exécuter),
- . Suite : si la machine doit visualiser à l'utilisateur un texte qui dépasse la taille de l'écran ou la zone de travail réservée pour la visualisation de celui-ci, elle visualise une partie du message et attend que l'utilisateur ait appuyé sur la touche "suite" pour afficher le reste du texte,

. Fin aide : permet le retour au point d'appel avant l'activation de la fonction "aide".

III.4. Exemples d'utilisation de "EDIT"

Nous présentons dans la suite des exemples d'exécution de deux fonctions de "EDIT", notre objectif étant de mettre en évidence les caractéristiques que nous avons mentionnées à propos de "EDIT" : sa facilité et sa simplicité d'utilisation et le dialogue agréable qu'il permet d'engendrer.

Dans le premier exemple (impression d'un texte parlé), on a supposé que l'utilisateur est débutant : il veut travailler en mode "guidé". Dans le second exemple, l'utilisateur est supposé maîtriser le fonctionnement du programme et il souhaite créer, en mode "Muet", un texte musical.

III.4.1. Impression d'un "TP" -

```

Enseignement Assisté par Ordinateur
*****
Gestion du catalogue des Textes Parlés

Vous pouvez :
Créer un Texte Parlé           : C
Renommer un Texte Parlé       : R
Détruire un Texte Parlé       : D
Écouter un Texte Parlé        : E
Prendre un Texte Parlé        : P
Imprimer un Texte Parlé       : I
Lister le catalogue des Textes Parlés : L
Générer le catalogue des Textes Parlés : G
Sauver le Texte Parlé courant  : S

Que choisissez-vous (C,R,D,E,P,I,L,G,S) ? I

Option Parole : Active          Auteur : BENNANI
                                Mode : Bavard

AIDE  MODE  PAROLE  REECOUTE  MENU  SUITE  F7  F8
F1    F2    F3    F4        F5    F6

```

Figure C.9 : Choix de la fonction à exécuter.

Après l'affichage du menu ci-dessus (figure C.9), l'utilisateur appuie sur la touche "I" (initiale de la commande "Impression"). Le programme affiche l'écran suivant qui demande à l'utilisateur de fournir le nom de l'objet à imprimer.

```

Enseignement Assiste par Ordinateur
=====
Gestion du catalogue des Textes Parles

Fonction : Imprimer                               Nom de l'Objet : TP1

Option Parole : Active                             Auteur : BENNANI
                                                    Mode : Bavard

AIDE      PAROLE REECOUTE      ANNUL
F1        F2        F3        F4        F5        F6        F7        F8
  
```

Figure C.10 : Saisie du nom de l'objet à imprimer.

Lorsque l'utilisateur a entré le nom de l'objet (soit "TP1"), le programme recherche dans le catalogue des textes parlés l'objet de nom "TP1" et affiche le contenu de celui-ci ou le message "objet inexistant" si "TP1" n'existe pas dans le catalogue.

```

Enseignement Assiste par Ordinateur
=====
Gestion du catalogue des Textes Parles

Fonction : Imprimer                               Nom de l'Objet : TP1
Texte : CECI - EST - UN EXEMPLE - DE - TEXTE PARLE -

                                                    Auteur : BENNANI
                                                    Mode : Bavard

Option Parole : Active                             SUITE
                                                    F6

AIDE      PAROLE REECOUTE      SUITE
F1        F2        F3        F4        F5        F6        F7        F8
Fin d'impression du Texte Parle TP1
  
```

Figure C.11 : Affichage du contenu de l'objet "TP1".

III.4.2. Création d'un "TM" -

Création d'un "TM" en "mode muet", l'utilisateur est supposé connaître les commandes et il les tape directement.

```

Enseignement Assiste par Ordinateur
=====
Gestion du catalogue des Textes Musicaux

Option Parole : active                             Auteur : BENNANI
                                                    Mode : Muet
Commandes disponibles : C,R,D,E,V,P,I,L,G,S
AIDE      NOUVEAU PAROLE REECOUTE      MENU      ANNUL      F8
F1        F2        F3        F4        F5        F6        F7        F8
  
```

Figure C.12 : Création d'un "TM".

L'utilisateur doit ensuite entrer le texte de l'objet à créer.

```

Enseignement Assiste par Ordinateur
=====
Gestion du catalogue des Textes Musicaux

Fonction : Creer                               Nom de l'Objet : MUSIC1
Texte Musical :

                                                    Auteur : BENNANI
                                                    Mode : Muet
Commandes disponibles : C,R,D,E,V,P,I,L,G,S
AIDE      PAROLE REECOUTE      ANNUL
F1        F2        F3        F4        F5        F6        F7        F8
Utilisez - comme separateur de Symboles Musicaux
C MUSIC1
  
```

Figure C.13 : Saisie du texte du nouveau "TM".

Lorsque l'utilisateur a terminé d'entrer le texte du "TM" *Music 1*, il le valide :

```

Enseignement Assisté par Ordinateur
=====
Gestion du catalogue des Textes Musicaux:

Fonction : Creer                               Nom de l'Objet : MUSIC1
Texte Musical : CLE SOL _DO BLANCHE _MI CROCHE _SOUPIR _FA DIESE .

                                         Auteur : BENNANI
Option Parole : Non Active                   Mode : Muet
Commandes disponibles : C,R,D,E,V,P,I,L,G,S
AIDE      F1      PAROLE REECOUTE          F4      ANNUL      F8
F2      F3      F4      F5      F6      F7      F8
Utilisez _ comme séparateur de Symboles Musicaux
C MUSIC1
  
```

Figure C.14 : Fin de la saisie du texte de "Music 1".

Le programme vérifie s'il possède les caractéristiques de chaque composant élémentaire de "TM". Dans la négative, il visualise les nouveaux composants puis abandonne la création comme c'est le cas dans le présent exemple :

```

Enseignement Assisté par Ordinateur
=====
Gestion du catalogue des Textes Musicaux

Les symboles suivants n'existent pas :

CLE SOL          DO BLANCHE          MI CROCHE
SOUPIR          FA DIESE

                                         Auteur : BENNANI
Option Parole : Non Active                   Mode : Muet
Commandes disponibles : C,R,D,E,V,P,I,L,G,S
AIDE      F1      PAROLE REECOUTE          F4      SUITE      F8
F2      F3      F4      F5      F6      F7      F8
Creation abandonnee , pour poursuivre tapez sur SUITE
C MUSIC1
  
```

Figure C.15 : Fin de la création d'un "TM".

CHAPITRE IV - ANALYSEURS DE REPONSES SPECIALISEES

Pour créer des didacticiels faisant appel aux nouveaux objets de type parole, les analyseurs de réponses classiques ne sont pas adaptés. Par conséquent, il faut définir de nouveaux analyseurs spécialisés.

Le tableau représenté sur la figure C.16 récapitule les différents analyseurs que nous avons définis. Il précise pour chacun la nature de la sollicitation et la nature de la réponse de l'apprenant.

nature de la sollicitation / nature de la réponse	Parole	Texte parlé	Sons codés	Texte	Graphique
Parole	Visu Reco Auto-éval	Reco	Reco Compa	Mélodie Rythme	Reco Compa
Musique numérisée					Mélodie Rythme
Texte	COMPA	COMPA	COMPA	T	T
Graphisme (partition)			Reco G COMPA	Reco G COMPA	G

Figure C.16 : Analyseurs de réponses spécialisés.

Dans la suite, nous reprenons successivement ces analyseurs et, pour chacun, nous donnons une description détaillée précisant son mode de fonctionnement, le type de didacticiel dans lequel il intervient, la liste des paramètres dont il a besoin pour fonctionner normalement et le résultat qu'il fournit.

IV.1. "RECO" : Analyseur d'informations de type "parole"

Cet analyseur permet de reconnaître la réponse d'un élève fournie sous forme vocale et l'identifier par le texte de la phrase reconnue. Cette opération nécessite un module de reconnaissance automatique de la parole. Nous avons présenté, dans B.II.1.2. deux approches (la première plus globale, la seconde plus analytique) et nous avons signalé les principales caractéristiques de ces deux approches.

Dans ce paragraphe, nous nous proposons d'expliciter le module de reconnaissance de la parole que nous avons défini. Il présuppose des contraintes sur le langage automatisé, à savoir un langage de type commandes (langage artificiel à syntaxe) avec prononciation mot à mot du message ou des mots isolés, par exemple "oui", "non", etc.

IV.1.1. Reconnaissance de la réponse de l'élève -

Les mots composant la réponse de l'élève sont prononcés isolément, c'est-à-dire qu'ils sont séparés par des pauses. La reconnaissance consiste alors à isoler chaque mot dans le message parlé et le comparer à l'ensemble des formes de références. Le résultat de la comparaison est l'intitulé du mot qui a satisfait au mieux aux critères de comparaison. Le texte de la phrase prononcée est composé par la concaténation des différents intitulés de mots reconnus. Une fois la phrase composée, celle-ci a le même type que la réponse prévue par l'auteur (texte alphanumérique). Par conséquent, on peut comparer les deux à l'aide de tout analyseur d'informations textuel tel que COMPA que nous décrivons dans le paragraphe C.IV.6.

IV.1.2. Reconnaissance de mots -

Il s'agit d'identifier une forme vocale (mot inconnu) en la comparant globalement aux différentes formes de référence. Le résultat de l'identification est l'intitulé de la forme de référence qui a le maximum de ressemblance avec la forme inconnue. La reconnaissance s'effectue par une procédure de normalisation temporelle, dynamique qui associe aux deux formes comparées une échelle de temps commune et qui fournit un "score de ressemblance". La figure C.17 illustre le chemin de mise en coïncidence optimale entre les paramètres caractéristiques du mot-test et du mot de référence. Dans notre étude, ces paramètres caractéristiques sont les résultats de l'analyseur spectral, c'est-à-dire les sorties du vocodeur considérées comme un vecteur de quinze valeurs. Les coûts de mises en coïncidence : somme des distances entre les éléments des vecteurs de la forme test et celle de référence fournissent en réalité un score de dissemblance.

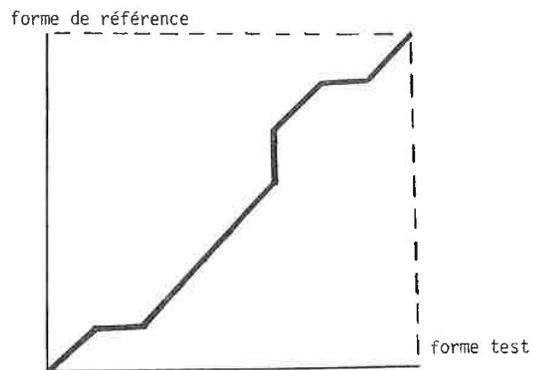


Figure C.17: Exemple de chemin de mise en coïncidence optimale entre deux formes.

Pour obtenir l'intitulé du mot reconnu, il faut comparer la forme inconnue à toutes les formes de référence et prendre l'intitulé de la forme qui correspond à la valeur minimale du score de dissemblance. Les figures C.18 présentent, pour un ensemble de neuf mots de référence, les courbes d'évolution des scores (fig C.18a) et le chemin individuel de comparaison (fig C.18b). Lorsque le score dépasse un seuil préfixé, la comparaison en cours est abandonnée car les deux formes comparées ne peuvent être déclarées similaires. C'est le cas dans l'exemple de la figure C.18a de toutes les références sauf celle de numéro 1. On donne alors à la forme présentée l'étiquette de la référence numéro 1.

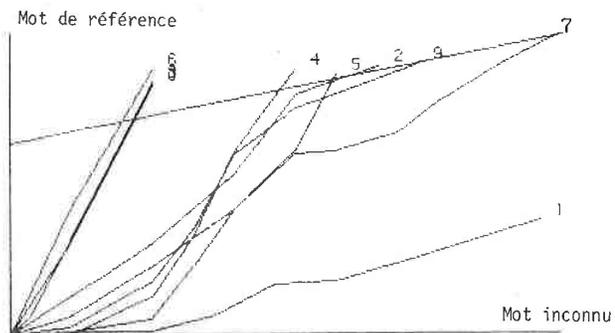


Figure C.18a : Distances cumulées pour chaque chemin de mise en coïncidence.

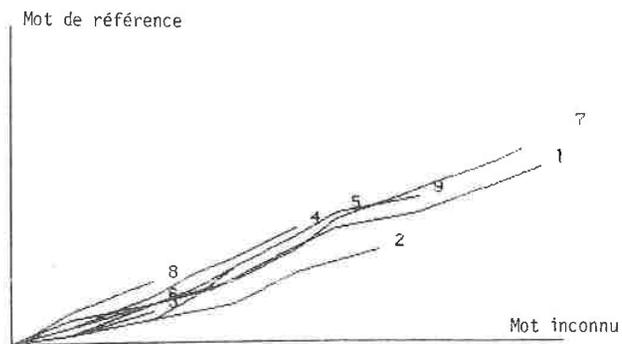


Figure C.18b : Chemin de mise en coïncidence optimale.

IV.2. "MELODIE" : Analyseur de la mélodie

Cet analyseur permet d'étudier la hauteur de la voix de l'élève. Nous présentons deux analyseurs :

IV.2.1. Analyseur avec auto-évaluation -

Il fournit à l'élève une aide visuelle et/ou auditive : courbe de variation de la fréquence fondamentale : "*pitch*", en fonction du temps et/ou restitution sonore de la réponse de l'élève entre deux restitutions du modèle.

L'aide visuelle peut, dans certains cas, compléter la déficience auditive et permettre par conséquent à l'élève de se rendre compte plus facilement des erreurs affectant sa production sonore. Dans ces conditions, l'élève peut juger lui-même la qualité de sa production vocale et c'est lui-même qui décide du cheminement qu'il doit effectuer : enchaînement vers un autre dialogue s'il estime que sa production est suffisamment proche de celle de l'auteur ou enchaînement sur le même dialogue dans le cas contraire.

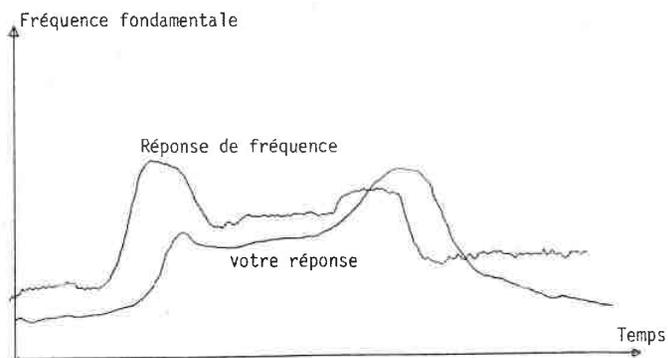


Figure C.19 : Exemple d'analyse de la mélodie avec retour visuel.

IV.2.2. Analyseur avec évaluation automatique -

Dans ce second cas, la machine compare automatiquement la réponse type à celle de l'élève et fournit des encouragements en cas de réussite de la part de ce dernier et indique, par un retour visuel et diverses indications, les cas d'erreur.

- dans le cas de la musique, cet analyseur reconnaît la suite de notes chantées par l'élève à partir de la courbe mélodique puis effectue la comparaison de la suite des intitulés de notes chantées avec ceux du modèle moyennant un recadrage fréquentiel,

- dans le cas de la lecture classique, nous proposons l'étude de certains paramètres sur la courbe mélodique tel que le taux de voisement ou l'évolution de la valeur moyenne du fondamental.

M.C. HATON, dans le système SIRENE [HATO, à paraître] a développé un programme spécialisé pour l'éducation de la parole. Il est centré autour d'un ensemble de jeux dont l'objectif est de valoriser les productions spontanées chez les enfants. Ces jeux sont de complexité croissante : prise de conscience de l'émission sonore, analyse de la hauteur de la voix et de la mélodie dans le texte lu.

IV.3. "RYTHME" : Analyseur des rythmes

Cet analyseur favorise l'étude de la durée et la cadence des productions sonores. Dans ce cas, comme pour l'analyseur MELODIE, nous avons envisagé deux analyseurs :

IV.3.1. Analyseur avec auto-évaluation -

Son principe est identique à celui de MELODIE. Le programme visualise, sous forme d'un graphique, l'évolution de certains paramètres (énergie totale, énergie dans des bancs de filtres déterminés...) permettant à l'apprenant d'apprécier visuellement les structures rythmiques de sa production vocale. Il peut aussi reproduire pour l'apprenant son message entre deux productions de celui de référence, ce qui permettra à l'élève d'apprécier à l'audition les correspondances et les différences entre sa vitesse d'élocution et celle attendue par l'enseignant.

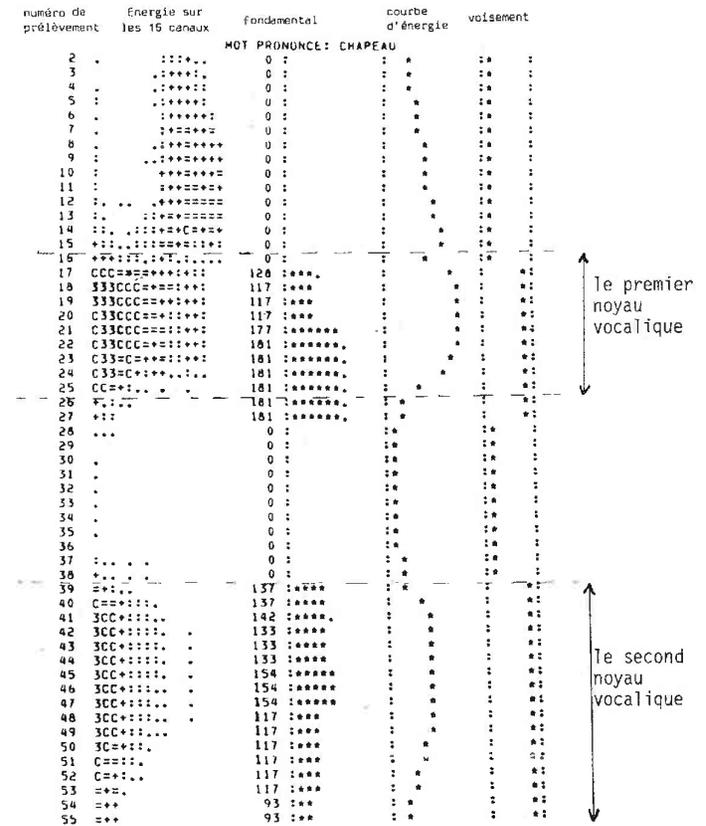
On peut noter à ce niveau que le fait de gérer de la parole numérisée permet une souplesse d'utilisation beaucoup plus grande que dans des laboratoires de langues classiques ; en particulier, il est possible de demander un nombre quelconque de fois une réécoute du message produit alors que, classiquement, cela nécessite d'effectuer des retours en arrière de la bande d'enregistrement.

IV.3.2. Analyseur avec évaluation automatique -

- pour l'enseignement de la musique : cet analyseur mesure la durée de chaque note reconnue : longueur des segments de droites horizontaux correspondant à des tenues de son,

- pour l'enseignement de la lecture : il visualise la courbe d'évolution de l'énergie totale en fonction du temps et cherche sur cette courbe les valeurs des différents maxima et minima d'énergie et les durées entre ces maxima et minima consécutifs.

La figure C.20 donne un exemple de segmentation du mot "chapeau" en noyaux vocaliques :



Scnogramme du mot chapeau

Figure C.20 : Exemple de segmentation en noyaux vocaliques.

IV.4. "VISU" : Visualisation de paramètres liés au T.A.P.

Pour étudier la mélodie et le rythme, nous avons signalé l'intérêt des représentations visuelles et les aides que celles-ci permettent d'apporter aux apprenants. Pour étudier la qualité et l'intelligibilité des sons particuliers, une représentation visuelle fournit beaucoup d'informations à l'apprenant et lui permet de distinguer plus facilement des différences qu'il ne distinguerait pas auditivement.

L'analyseur *VISU* permet aux enseignants, pour des didacticiels de type enseignement de langues, de prévoir la visualisation de l'évolution d'un ou de plusieurs paramètres en fonction du temps ou de faire la projection selon deux axes de deux paramètres pour montrer à l'apprenant la corrélation entre ces deux paramètres.

Dans la suite, nous donnerons deux exemples :

- le premier, figure C.21, représente la visualisation de l'évolution de l'énergie totale en fonction du temps, après la prononciation de la même phrase par un enseignant puis un apprenant,

- le second, figure C.22, donne un exemple de visualisation obtenue par analyse factorielle discriminante pour les classes de sons /f/ , /s/ et // , exemple extrait de [HATO, 76] .

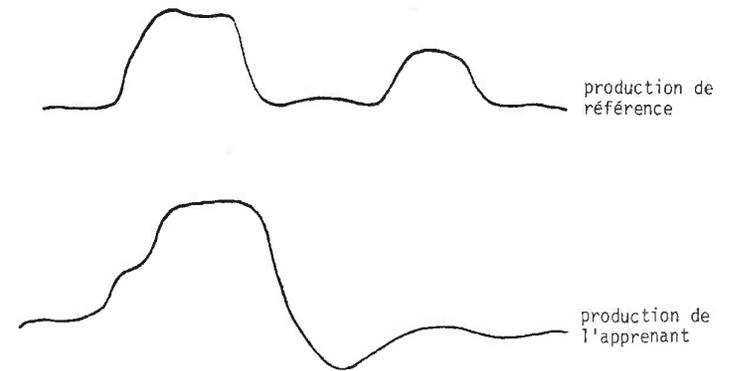


Figure C.21 : Prononciation de la même phrase par deux locuteurs (enseignant puis apprenant).

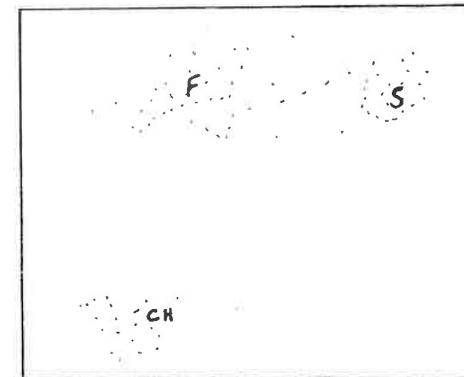


Figure C.22 : Plan de projection pour la discrimination entre les sons /f/ , /s/ , // .

IV.5. "T" : Analyseur d'informations textuelles

"T" est un analyseur qui permet de comparer deux réponses de type alphanumérique (une réponse de référence et celle proposée par l'élève) et il sanctionne la proposition de ce dernier suivant ses performances. Dans ce paragraphe, nous ne décrivons pas un nouvel analyseur que nous avons développé mais nous présentons quelques idées sur ceux qui existent car nos études seront intégrées dans le système *DIANE* de l'Agence de l'Informatique et ce système contient déjà un analyseur de ce type.

La plupart des systèmes existants fonctionnent en deux temps :

- Préparation de l'analyse : elle consiste à appliquer un certain nombre de transformations sur les phrases à comparer avant d'effectuer la comparaison, ceci dans le but d'éviter de signaler des erreurs "évidentes" comme mauvaise ponctuation, remplacement d'un ou plusieurs caractères majuscules par des caractères minuscules ou inversement... Les principales transformations utilisées sont citées ci-dessous et le choix du modèle de transformation à appliquer dépend de la nature de l'exercice :

- . la suppression des consonnes,
- . le dédoublement des consonnes,
- . la transcription de la phrase sous forme phonétique,
- . le remplacement d'un mot par un radical,
- . la suppression des caractères non significatifs (blancs, caractères de ponctuation, ...),
- . le remplacement des caractères majuscules par d'autres en minuscules,
- . la segmentation des phrases en mots,
- ...

Les formes obtenues après pré-analyse de la réponse de référence et de celle de l'élève sont comparées : les différences (erreurs) entre ces deux formes sont signalées à l'apprenant.

- Analyse de la réponse : elle effectue la comparaison de deux formes et positionne des indicateurs :

- . réponse correcte ou fautive,
- . nombre d'erreurs,
- . liste des erreurs,
- ...

Actuellement, plusieurs modèles d'analyse existent :

- Comparaison par phrases : elle consiste à comparer la réponse de l'élève (éventuellement après transcription) avec une liste de réponses prévues par l'auteur. La comparaison peut s'effectuer globalement sur tout le texte ou par une analyse positionnelle qui permet de comparer successivement les mots ou groupes de mots composant les deux réponses après segmentation de chacune,

- Analyse par mots clés : elle permet de détecter, dans la réponse de l'élève, la présence d'un ensemble de mots ou de groupes de mots prévus par l'auteur. Ce dernier peut aussi prévoir l'étude des positions relatives de ces mots : pour cela il doit utiliser des opérateurs tels que "ou", "et", "non", "avant", "après", ...

- Analyse syntaxico-sémantique : comparaison de la réponse de l'élève avec des modèles présentés sous forme de grammaire. Le système dispose d'une grammaire décrivant l'ensemble des mots du langage et d'un analyseur syntaxique capable de vérifier l'appartenance d'une phrase à ce langage.

Afin de détecter des erreurs de sens (phrase sans signification, présence de deux mots incompatibles dans la même phrase) qui ne peuvent être décelées avec l'analyseur syntaxique : ce modèle n'est pas suffisant et il faut le compléter par une analyse sémantique.

D'autres aspects de ces deux derniers modèles d'analyse sont présentés dans [COUL, 79].

IV.6. "COMPA" : Analyseur d'informations textuelles

Comme pour l'analyseur "T", "COMPA" permet de comparer la réponse de l'élève avec la référence (prévue par l'auteur). Nous avons défini cet analyseur pour des exercices de type dictée (dictées classique ou dictée musicale) ou certains exercices de solfège. Cet analyseur compare la réponse type représentée sous forme alphanumérique à celle de l'élève fournie elle aussi sous forme d'un texte alphanumérique, graphique ou parole. Mais, dans ces deux derniers cas, l'appel d'une procédure spécifique est nécessaire pour transformer la réponse vocale ou graphique en un texte alphanumérique équivalent. Avant d'effectuer la comparaison, COMPA applique aux deux réponses (celle de référence et celle de l'élève) les modèles de pré-traitement suivants :

- . élimination des caractères de ponctuation,
- . transformation de tous les caractères majuscules en minuscules,
- . élimination de tous les caractères blancs non significatifs,
- . segmentation des deux phrases en mots.

Nous avons réalisé deux analyseurs COMPA 1 et COMPA 2 qui ont pour but de localiser les erreurs, les préciser en clair pour l'élève et, éventuellement, lui envoyer des messages d'erreurs pour l'aider au cours de la correction.

• COMPA 1 : cet analyseur compare la liste des mots de la réponse de l'élève à celle de l'auteur et fournit comme résultat :

- . un booléen positionné suivant le résultat de la comparaison,
- . une liste de mots sur lesquels il y a une erreur.

Le fait de disposer de la liste des mots erronés nous a permis, lors du jugement de la réponse, de particulariser la visualisation de ceux-ci, alors que le reste de la réponse (mots justes) est affiché normalement. Ainsi, l'élève se rend compte immédiatement des erreurs qu'il a commises et tente de les corriger.

• COMPA 2 : cet analyseur fournit en plus des résultats de COMPA 1 des messages d'erreurs destinés à assister l'élève lors de la correction de ses erreurs. En effet, à la création des dictées, l'auteur doit associer à chaque mot (sur lequel il y a souvent des erreurs) les configurations d'écriture le plus souvent rencontrées (par exemple : les formes grammaticales phonétiquement identiques) et, à chaque configuration, un message d'erreur. A l'interprétation de la dictée, si le mot erroné correspond à une configuration prévue par l'auteur, le message d'erreur correspondant est envoyé à l'élève.

IV.7. "G" : Analyseur d'information graphique

L'analyseur "G" permet aux utilisateurs de composer et de visualiser des objets graphiques. En effet, les analyseurs graphiques classiques disposent de plusieurs "éléments atomiques" tels que le point, le segment de droite, le rectangle, l'arc de cercle... que les utilisateurs assemblent pour former leurs dessins. Certains analyseurs offrent également une seconde possibilité de composition qui consiste à saisir directement le graphique dessiné par l'utilisateur sur une tablette graphique, à l'aide d'un stylo électronique.

A titre d'exemple, nous citerons l'éditeur graphique du projet *DIANE* présenté dans [ADI, 83a] et qui offre les deux possibilités de composition décrites précédemment. En mode composition par primitifs, *DIANE* dispose d'un jeu de fonctions qui permettent à l'utilisateur de créer des objets graphiques en nommant les éléments primitifs, puis de sauvegarder ces objets pour les référencer lors de la composition de nouveaux dessins ou pour les visualiser. Avec le second mode, les dessins saisis sont codés, numérisés et les valeurs numériques obtenues sont stockées en mémoire pour les traitements ultérieurs (visualisation, reconnaissance...). Notre apport à ce niveau est la définition puis la réalisation de l'analyseur "RECO G" qui permet de reconnaître les partitions musicales transcrites sous forme symbolique, sur une tablette graphique. La description de cet analyseur fera l'objet du paragraphe suivant.

IV. . "RECO G" : Analyseur graphique

Dans ce paragraphe, nous ne présentons pas l'environnement logiciel graphique, disponible dans les différents systèmes d'E.A.O. On se contentera de décrire l'ensemble des outils que nous avons réalisés et que nous proposons d'adjoindre aux éditeurs graphiques classiques.

En plus de la visualisation d'une liste de points (visualisation de l'évolution d'un paramètre en fonction du temps, voir *VISU* au paragraphe C.IV.4), nous avons mis au point un programme capable de reconnaître une suite de symboles musicaux tracés sur une tablette graphique, à l'aide d'un crayon électronique. Ce dernier fournit à l'ordinateur, à des intervalles de temps réguliers (tous des centièmes de seconde, par exemple), la position du crayon ou une valeur particulière représentant le "lever du crayon". Après le prétraitement de ces données, les symboles seront décrits par une suite de segments de droite dont on calcule ensuite la direction. Ceci nous permet d'obtenir un vecteur de direction ou encore un mot sur l'alphabet de Freeman : {0,1,2,3,4,5,6,7}. La figure C.23 donne, sur un plan, la codification des directions que nous avons considérée.

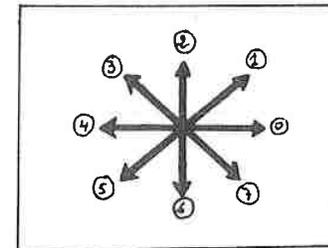


Figure C.23 : Quantification de direction.

Par exemple, le symbole "clé de sol" (figures C24a et C24b) est représenté sur cet alphabet par le mot 1 1 0 0 7 6 5...

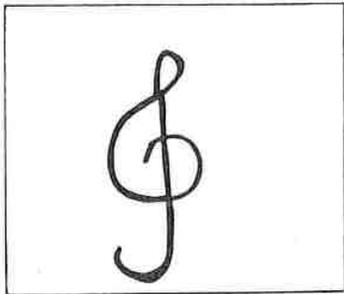


Figure C.24a :
"Clé de sol" avant le
pré-traitement.

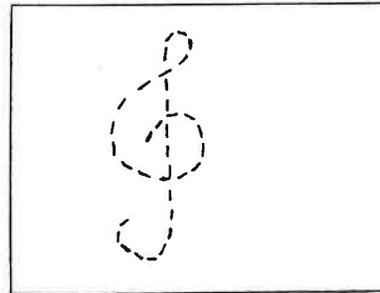


Figure C.24b : Segments de droite
composant le symbole "clé de sol"
après le pré-traitement.

L'identification d'un symbole s'effectue par la comparaison de sa représentation sur l'alphabet de Freeman aux représentations des différents symboles du lexique. Au symbole inconnu, on associe l'intitulé du symbole qui lui ressemble le plus (décision par le plus proche voisin).

La comparaison s'effectue selon le principe de l'approche globale considéré dans le paragraphe B.II.1.2.1.

Il faut rechercher les chemins de mise en coïncidence optimale avec toutes les formes du lexique et retenir l'intitulé de celle qui minimise le coût de mise en coïncidence optimale.

La figure C.25 suivante donne un exemple de chemin optimal obtenu lors de la comparaison de deux symboles graphiques : en abscisse et en ordonnée se trouvent les différentes valeurs des vecteurs de direction des deux formes à comparer :

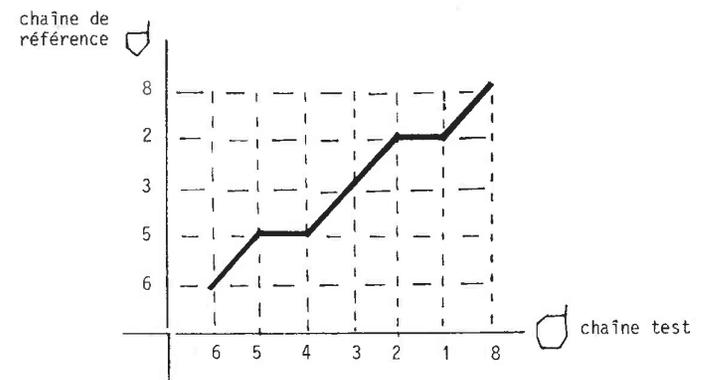


Figure C.25 : Chemin de mise en coïncidence optimale
par la comparaison de deux symboles musicaux.

Les distances locales que nous avons retenues pour le calcul du taux de dissemblance lors de la recherche du chemin optimal sont :

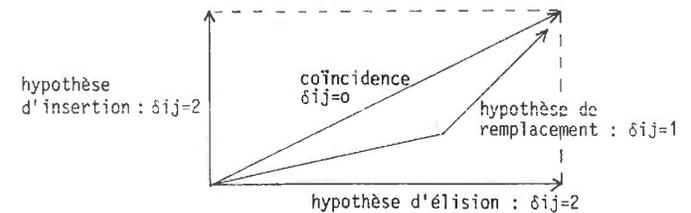


Figure C.26 : Distance locale.

Le score de dissemblance du chemin optimal (figure C.26) pour la comparaison des symboles des figures C24a et C24b se calcule comme suit :

$$d = \frac{1}{l+l'} \sum_{ij} \delta_{ij} = \frac{\delta_{11} + \delta_{22} + \delta_{32} + \delta_{43} + \delta_{54} + \delta_{64} + \delta_{75}}{7 + 5}$$

$$= \frac{0 + 0 + 2 + 0 + 0 + 0 + 2}{12}$$

$$d = \frac{4}{12} = \frac{1}{3}$$

(l et l' étant respectivement le nombre d'éléments de la chaîne de référence et la chaîne test).

Dans nos premiers essais, nous n'avons autorisé qu'un seul remplacement : celui de la direction i par les directions :

- . $(i + 1) \bmod 8$,
- . $(i + 7) \bmod 8$: les directions voisines.

CHAPITRE V - PRESENTATION DU LOGICIEL "GRAPES" (GRAPHIQUES, PAROLE ENTREES-SORTIES)

Introduction

Dans ce qui suit, nous décrivons l'ensemble des outils que nous avons développés dans le but de permettre aux auteurs de créer des leçons multimédia (faisant appel à des objets de type : "parole", "graphique", "texte alphanumérique" et "nombre") et aux élèves d'exécuter ces leçons.

Dans ce chapitre, nous présenterons dans le premier paragraphe les caractéristiques générales du logiciel puis nous décrivons le modèle que nous avons défini pour l'aide à la création de la R.I. (la R.I. est la structure de données permettant de décrire toutes les leçons créées), puis nous donnerons un exemple de dialogue auteur-machine pour l'élaboration de cours : "dictée français". Nous terminerons ce chapitre par la présentation de la R.I. correspondant aux leçons "lecture musicale" et "dictée français" puis par le dialogue que la R.I. permet d'engendrer lors de l'exécution d'une "dictée français".

V.1. Généralités sur le logiciel "GRAPES"

La première caractéristique de GRAPES est la forme du dialogue. En effet, nous avons voulu que celui-ci soit suffisamment simple pour être utilisé facilement par des débutants et qu'il ne soit pas trop directif pour ne pas léser l'utilisateur expérimenté. Pour ces raisons, nous avons conçu un programme fonctionnant sous deux modes complémentaires :

- mode guidé : avec ce mode, l'utilisateur (supposé débutant) est totalement assisté. Avant chaque interaction, le programme lui affiche, sous forme de menu, l'ensemble des traitements autorisés et de ce fait l'utilisateur n'a rien à apprendre, il suffit qu'il choisisse et fournisse à la machine l'initiale du traitement qu'il souhaite effectuer.

■ mode direct : plus intéressant pour l'utilisateur expérimenté ayant utilisé plusieurs fois le programme et qui a acquis une bonne connaissance de son mode de fonctionnement.
L'utilisateur avec ce mode formule directement ses requêtes sous forme de commandes paramétrées.

La caractéristique suivante est le jeu de touches-fonctions que nous avons mis à la disposition de l'utilisateur qui lui permettront directement de passer d'un mode de dialogue à l'autre, d'avoir par exemple des commentaires sur certains points particuliers que l'utilisateur n'a pas bien compris ou a oublié, d'abandonner le dialogue en cours ou encore de passer au dialogue suivant, etc.

La troisième caractéristique est la simplicité des options que nous avons choisies lors de la réalisation de notre programme. Nous n'avons pas développé une stratégie pédagogique performante (qui détermine automatiquement la leçon ou l'exercice que doit subir l'élève compte-tenu de son niveau et/ou de son profil) car l'objectif que nous nous étions fixé était de montrer concrètement, sur des exemples pratiques, les intérêts et la faisabilité de l'adjonction du T.A.P. et T.A.G. en E.A.O. et non pas la réalisation d'un système d'E.A.O. puissant et performant. En effet, dans GRAPES :

- l'élève doit fournir explicitement à la machine le nom de la leçon qu'il veut exécuter (dictée, lecture, etc.),

- la machine choisit automatiquement le nom de l'objet utilisé comme texte de l'exercice. Nous avons décidé de prendre successivement le premier objet du catalogue puis le second et ainsi de suite,

- le programme offre à l'auteur deux fonctions de jugement de réponse (le choix de l'une ou l'autre revient à ce dernier).

■ jugement de réponse avec évaluation automatique (figure C.27)

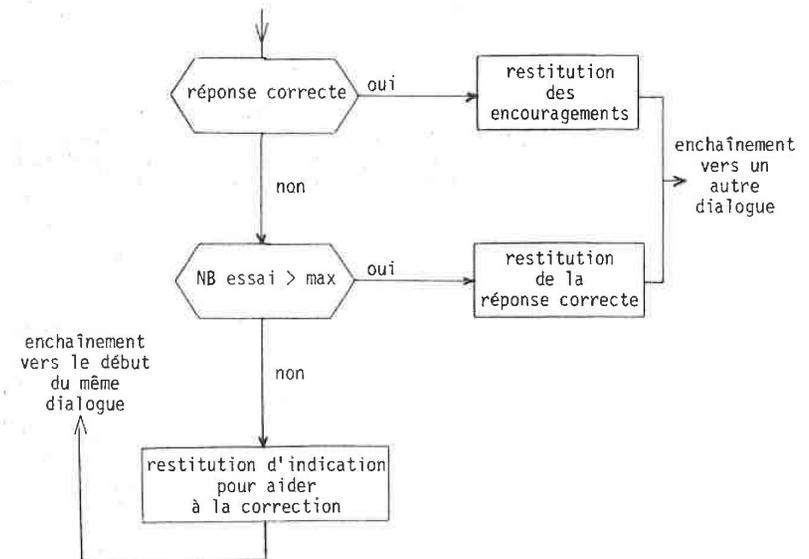


Figure C.27 : Organigramme de jugement de réponse avec évaluation automatique.

■ jugement de réponse avec auto-évaluation (figure C.28)

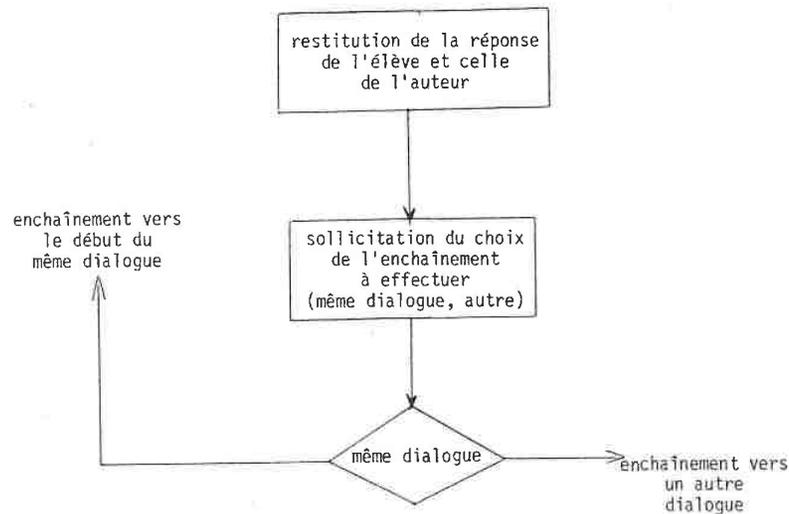


Figure C.28 : Organigramme de jugement de réponse avec auto-évaluation.

Avec ce dernier mode de jugement de réponse, l'élève juge et décide lui-même de la qualité de sa réponse et peut enchaîner sur le même dialogue ou revenir au niveau du menu principal pour choisir le dialogue suivant.

V.2. Création d'une leçon à l'aide de "GRAPES"

Chaque leçon qu'un enseignant peut élaborer à l'aide du logiciel "GRAPES" ressemble à une situation pédagogique (au sens de DIANE) ou encore à une scène (au sens d'ECRIN). Ces leçons sont indépendantes ; il n'existe aucune stratégie lors de l'exécution pour assurer le cheminement d'un dialogue correspondant à l'exécution d'une leçon à un autre. Pour créer une leçon, il faut décrire l'ensemble des actions qui la composent. Ces actions sont codées sous forme d'une Représentation Interne qui doit être interprétée (validée) par l'auteur avant son stockage en mémoire.

Les actions que nous avons définies sont au nombre de quatre :

- Restituer, permet de restituer sous forme visuelle ou sonore une information de type textuelle, graphique, parole ou musique,
- Solliciter, pour acquérir la réponse de l'apprenant qui peut elle aussi être de l'un des types énumérés précédemment,
- Analyser, consiste à comparer la réponse de l'élève à celle de référence, selon le modèle préfixé par l'auteur et positionner éventuellement des indicateurs : nature de la réponse "correcte" ou "fausse", nombre et liste des erreurs...,
- Juger, permet en fonction des résultats de l'analyseur de réponse d'envoyer des messages à l'apprenant : encouragements ou indications pour l'aider à la correction des erreurs, puis de déterminer le dialogue que l'élève exécutera ensuite.

V.2.1. Création de la R.I. -

La représentation interne d'un cours est une séquence d'action qu'exécutera la machine pour l'apprenant à l'interprétation de ce cours. Une action peut correspondre à :

- un seul traitement : c'est le cas de l'action "*restituer*" qui consiste en la visualisation sur écran ou la restitution sonore d'un message pour l'apprenant,

- plusieurs traitements : par exemple, l'action "*solliciter*" peut correspondre à plusieurs traitements :

- la restitution d'un message demandant à l'apprenant de proposer une réponse tout en précisant la nature de celle-ci,
- l'acquisition de cette réponse,
- la reconnaissance des mots qui composent cette dernière si elle est fournie sous forme vocale,
- etc.

La création de la R.I. consiste à regrouper dans une même entité un ensemble d'actions parmi celles énumérées précédemment. Néanmoins, nous imposons la restriction suivante :

Une leçon a pour but de transmettre à l'apprenant une seule information et, par conséquent, il n'y aura qu'une seule action de sollicitation et par la même une seule action d'analyse et de jugement de réponse. Par contre, on peut avoir autant d'actions "*restitution*" que l'on veut. L'ordre d'apparition de ces actions est fixé comme suit :

- . restitution du texte de l'exercice,
- . sollicitation de réponse,
- . analyse de réponse,
- . jugement de la réponse.

Chacune de ces quatre actions peut être suivie et/ou précédée par d'autres actions "*restitution*".

Pour la création des R.I., nous avons défini un modèle syntaxique permettant de décrire la R.I. de toutes les leçons que l'on peut générer.

Selon son mode de travail, l'enseignant compose sa leçon en fournissant directement (cas du mode "libre") ou en choisissant dans les menus successifs proposés par le programme (cas du mode "guidé") les noms des actions et leurs paramètres. En mode "guidé" le programme vérifie instantanément après la saisie de chaque action si celle-ci peut être interprétable à l'exécution de la leçon. Dans la négative (un des paramètres n'est pas connu, par exemple), un message est envoyé à l'auteur pour lui signaler les erreurs. Ce dernier doit, avant de continuer la création de sa leçon, faire les traitements nécessaires pour annuler les causes de l'anomalie (par exemple : création d'objet inexistant ou choix d'un autre objet). La cohérence de la R.I. générée vis-à-vis de la syntaxe que l'on a définie et qui est présentée par la figure C.29 est assurée par le programme lui-même. Par contre, en mode libre, le programme doit vérifier à la fin de la génération de la R.I. par l'auteur, la syntaxe de celle-ci qui doit être un mot du langage engendré par la grammaire (c'est la validation syntaxique) puis l'existence de tous les objets et les noms des actions référencées dans cette R.I. (c'est la validation sémantique). Nous détaillerons cet aspect dans le paragraphe V.4. traitant de la validation des leçons.

La figure C.23 donne la grammaire que nous avons utilisée pour générer les R.I. des cours que les auteurs peuvent créer. Pour présenter cette grammaire, nous avons utilisé le formalisme de BAKUS-NAUR.

```

< X > : := restituer < SUITE-REST > < X >
        solliciter < SUITE-SOLL > < Y >

< SUITE-REST > : := < TYPE-OBJ > NOM-OBJ

< TYPE-OBJ > : := tp | tm | te | p | g

< SUITE-SOLL > : := < TYPE-OBJ > NOM-OBJ < TYPE-OBJ >

< Y > : := restituer < SUITE-REST > < Y >
        analyser < SUITE-ANAL > < Z >

< Z > : := restituer < SUITE-REST > < Z >
        juger < SUITE-JUGE > < U >

< U > : := restituer < SUITE-REST > < U >

< SUITE-ANAL > : := NOM-ANAL

< SUITE-JUGE > : := NOM COR NOM INCOR NOM DEP

```

```

< X > : représente un nom terminal de la grammaire
NOM-OBJ : un terminal (un objet contenu dans un des catalogues)
          que l'auteur donnera alors à la création de la R.I.
t p : un terminal vrai
restituer : nom d'une action à effectuer

```

Figure C.29 : Définition de la R.I. d'une leçon.

V.2.2. Exemple de création de R.I. -

Dans ce paragraphe, nous détaillerons le dialogue auteur-machine pour la création de la R.I. d'une leçon ; pour cela, nous supposons que l'auteur veut travailler en mode "guidé", l'autre cas (mode "libre") est sans intérêt pour ce que l'on veut montrer car le dialogue est beaucoup trop réduit. En effet, l'auteur fait la saisie de la suite des actions composant sa leçon directement ; par contre, en mode assisté, l'auteur est guidé par une suite d'écrans décrivant la liste des fonctions autorisées. La création d'une R.I. sous ce dernier mode commence par l'affichage de l'écran présenté par la figure C30 décrivant la liste des opérations que l'auteur peut effectuer. On suppose par la suite que l'auteur a choisi la création d'une leçon.

```

                                Enseignement Assisté par Ordinateur
                                =====
                                Menu Principal

Vous Pouvez :
  Créer des objets pédagogiques :1
  Créer une leçon                 :2
  Interpréter une leçon          :3
  Valider une leçon              :4

Que choisissiez-vous (1,2,3,4) ? 2

Option Parole :      Active
                                Auteur : BENNANI
                                Mode : Bavard

AIDE  MODE  PAROLE  REECOUTE  MENU      F6      F7      TERMINER
F1    F2    F3    F4    F5

```

Figure C.30 : Menu principal

Le dialogue suivant, illustré par la figure C.31, demande à l'auteur de choisir un nom pour la leçon qu'il veut créer et de le fournir à la machine ; soit "xxx" ce nom.

```

Enseignement Assiste par Ordinateur
=====
Creation d'une Leçon

Fonction : Creer                               Nom de la Leçon : xxx

Option Parole : Active                         Auteur : BENNANI
                                                Mode : Bavard
AIDE   MODE   PAROLE REECOUTE   F5   F6   ANNUL   F8
F1     F2     F3     F4

```

Figure C.31 : Saisie du nom de la leçon à créer.

A ce moment, l'auteur doit composer la R.I. relative à la leçon qu'il veut élaborer en choisissant les actions puis les paramètres nécessaires à chacune. A chaque instant, le programme rappelle à l'auteur les différentes actions autorisées, le type des objets permis et le nom des fonctions que l'auteur peut référencer (analyseur de réponses disponibles, par exemple). Il dispose aussi de la touche fonction "Aide" pour lui fournir des indications complémentaires en cas de besoin. Les figures C.32 et C.33 donnent deux exemples de ces écrans affichés successivement pour la saisie du nom d'une action puis du type d'objet à restituer.

```

Enseignement Assiste par Ordinateur
=====
Creation d'une Leçon

Vous Pouvez :
Restituer une Information : R
Solliciter une Reponse    : S

Que choisissiez-vous (R,S) ? R

Option Parole : Active                         Auteur : BENNANI
                                                Mode : Bavard
AIDE   MODE   PAROLE REECOUTE   F5   F6   ANNUL   TERMINER
F1     F2     F3     F4     F5     F6     F7     F8

```

Figure C.32 : Choix d'une action.

```

A)TYPE B:ESS
Enseignement Assiste par Ordinateur
=====
Creation d'une Leçon

fonction : Creer
Vous pouvez Restituer :
Un Objet de Type Parole           :P
Un Objet de Type Graphique        :G
Un Objet de Type Texte Parle      :T
Un Objet de Type Texte Musical    :M
Un Objet de Type Texte Alphanumerique :A

Que choisissiez-vous (P,G,T,M,A) ? T

Option Parole : Active                         Auteur : BENNANI
                                                Mode : Bavard
AIDE   MODE   PAROLE REECOUTE   F5   F6   ANNUL   F8
F1     F2     F3     F4     F5     F6     F7     F8

```

Figure C.33 : Choix d'un type d'objet paramétré d'une action.

Lorsque l'auteur aura fini de composer son cours, il activera la touche fonction "Terminer" qui entraînera l'affichage du menu principal.

Dans tous les cas, avant de créer une nouvelle R.I., ou au plus tard avant la fin de la session de travail en cours, l'auteur doit valider la R.I. qu'il a déjà créée. En effet, la sauvegarde n'est pas automatique après la création ; elle ne s'effectue qu'après la validation.

V.2.3. Exemple de R.I. -

V.2.3.1. dictée Français :

Dictée Français	
R.I. générée	Description informelle de la R.I.
Restituer (te, toto)	Visualisation du texte alphanumérique "zozo" à l'écran de l'apprenant.
Restituer (p, accès)	Restitution de l'objet parole (texte de la dictée) que le programme choisira lui-même à l'exécution de la leçon, à l'aide de la fonction "accès" qui définit la stratégie pédagogique que l'on a adoptée (avec "GRAPES", le premier objet du catalogue considéré, puis le second, etc.).
Solliciter (te, te, zozo)	Affichage à l'écran du texte alphanumérique "zozo", puis acquisition de la réponse de l'apprenant fournie elle aussi sous forme d'un texte alphanumérique.
Compa 1	Analyseur de réponse : il consiste à comparer la réponse de l'élève saisie par l'action "sollicitation" à la réponse prévue par l'auteur (COMPA 1 a été détaillé dans C.IV.6).
Éval-auto (tp, titi 1, titi 2, titi 3)	Jugement de la réponse avec évaluation automatique selon les résultats de l'analyseur de réponse ; un message sous forme d'un texte parlé (tp) est envoyé à l'élève : si "réponse correcte" alors émission de titi 1 et enchaînement avec un autre dialogue sinon si "dépassement du nombre d'essais prévu" alors émission de titi 3 et enchaînement avec un autre dialogue sinon émission de titi 2 et enchaînement sur le même dialogue fsi fsi

Figure C.34 : R.I. correspondant à une "dictée français".

Par analogie avec la terminologie du système DIANE, la R.I. décrite ci-dessus est composée de :

- deux scènes :
 - . restituer (te, toto)
 - . restituer (p, Accès)
- une sollicitation : solliciter (te, te, zozo)
- une fonction d'analyse de la réponse : COMPA 1
- une fonction du jugement de réponse : éval-auto (tp, titi 1, titi 2, titi 3).

V.2.3.2. lecture musicale :

Lecture musicale	
R.I. générée	Définition informelle de la R.I.
Restituer (tp, tp 1)	Restitution du texte parlé "tp 1" présentant l'exercice.
Restituer (g, Accès)	Visualisation sur l'écran graphique de la partition musicale à lire.
Solliciter (p, te, te 1)	Consiste en : <ul style="list-style-type: none"> . restitution du texte alphanumérique "te 1", . acquisition de la suite de notes chantées par l'élève, . reconnaissance et identification de ces notes par l'intitulé de la note qui lui correspond et concaténation de ces intitulés pour former la réponse de l'élève.
Compa 1	Comparaison de la réponse de l'élève avec celle de l'auteur.
Auto-éval (te, te2)	Restitution sonore de la partition que l'élève devrait lire et celle proposée par l'élève et enregistrée par le programme, puis affichage du texte alphanumérique "te 2" demandant à l'élève de choisir l'enchaînement à effectuer (même dialogue ou retour au menu principal).

Figure C.35 : R.I. correspondant à un exercice de type "lecture musicale".

V.3. Interprétation de leçons

L'interprétation d'une leçon par le logiciel "GRAPES" consiste à exécuter les différentes actions composant la représentation interne de la leçon considérée. Cette R.I. est contenue dans un fichier en mémoire. Pour l'interpréter, chaque action engendre un appel d'une procédure spécifiée par son nom et sa liste de paramètres. Ces procédures sont écrites par un informaticien et sont utilisées par des auteurs qui ne sont pas nécessairement spécialistes en informatique. A partir du fichier contenant la R.I., l'interpréteur génère des appels aux procédures qui correspondent à chaque action, ce qui entraîne le dialogue apprenant-programme. Dans la suite, nous proposons de montrer, sur un exemple "dictée français", le dialogue engendré entre la machine et l'apprenant lors de l'interprétation de cette leçon.

Nous supposons que l'élève a choisi d'exécuter la "dictée français" dont la R.I. correspondante est présentée dans le tableau de la figure C.34 et nous proposons de décrire le dialogue qui s'établit entre l'apprenant et la machine, lors de l'exécution de cette leçon. L'interpréteur commence par :

● Restituer (te, toto) : restitution d'un texte alphanumérique de nom "toto" qui présente le dialogue et fournit des instructions à l'apprenant,

```

Enseignement Assisté par Ordinateur
=====
Execution d'une Leçon

Fonction : Interpretation          Nom de la Leçon : dictée

      A P P R E N T I S S A G E   D E S   L A N G U E S
-----

Afin de tester vos possibilités , nous allons faire une dictée . Vous
allez entendre une phrase en français et il vous est demandé d'en tran-
scrire le texte à l'aide du clavier .

Si vous souhaitez réécouter la phrase , il vous suffit de taper sur la
touche REECOUTE . Vous pouvez aller jusqu'à '3' écoutes successives .

Apprenant : MOHAMMED
Mode : Bavard

Option Parole : Active

AIDE   PAROLE  REECOUTE  MENU   SUITE   VALID
F1     F2     F3         F4     F5     F6     F7     F8
  
```

Figure C.36 : Présentation de l'exercice à l'élève.

- Restituer (P, Accès) : l'exécution de cette action entraîne :
 - . le choix par le programme d'un objet de type "Parole" pour devenir le texte de l'exercice (dans notre cas : dictée de français) soit "titi" le nom de cet objet,
 - . la restitution sonore de l'objet parole ayant comme nom "titi" ; si l'apprenant le désire, il peut réécouter le texte de la dictée jusqu'à trois fois de suite,
- Solliciter (te, te, zozo) : consiste à :
 - . visualiser le texte alphanumérique de nom "zozo" à l'écran (cf figure C.37) qui indique à l'apprenant que la machine attend qu'il lui fournisse une réponse et que le type de celle-ci doit être un texte tapé au clavier,

```

Enseignement Assisté par Ordinateur
=====
Execution d'une Leçon

Fonction : Interpretation          Nom de la Leçon : dictée

Vous avez écouté le texte de la dictée , maintenant c'est à vous de
proposer une réponse en tapant le texte de celle-ci au clavier .

Si vous souhaitez réécouter la phrase , il vous suffit de taper sur
la touche REECOUTE . Vous pouvez aller jusqu'à '3' écoutes successives .

A la fin de la saisie de la réponse , taper sur la touche-fonction VALID .

Apprenant : MOHAMMED
Mode : Bavard

Option Parole : Active

AIDE   PAROLE  REECOUTE  MENU   SUITE   VALID
F1     F2     F3         F4     F5     F6     F7     F8
  
```

Figure C.37 : Sollicitation de réponse

. Acquisition de la réponse de l'élève à partir du clavier
(figure C.38) :

```

Enseignement Assisté Par Ordinateur
*****
Execution d'une leçon

Fonction : Interpretation          Nom de la Leçon : dictée

Vous avez écoute le texte de la dictée , maintenant c'est a vous de
proposer une réponse en tapant le texte de celle-ci au clavier .
Si vous souhaitez reécouter la phrase , il vous suffit de taper sur la
touche REECOUTE . Vous pouvez aller jusqu'a '3' écoutes successives .
A la fin de la saisie de la réponse , taper sur la touche-fonction VALID .

Parole :
*****
Cinq moines sains de corps et d'esprit etaient dans leur sein le
sein du saint-pere .

Option Parole : active              Apprenant : MOHAMMED
                                   Mode : Bavard

AIDE      PAROLE  REECOUTE  MENU      SUITE      VALID
F1        F2      F3         F4        F5         F6         F7         F8
  
```

Figure C.38 : Acquisition de la réponse de l'élève.

● COMPA 1 : comparaison du texte "réponse de l'élève" et "réponse prévue". Cet analyseur a fait l'objet du paragraphe C.IV.6.

● Eval-auto (tp, titi 1, titi 2, titi 3) : jugement de la réponse ; dans notre dialogue, nous avons considéré que l'élève a commis deux erreurs : dans ce cas, le dialogue continue avec l'affichage de l'écran donné sur la figure C.39. Ensuite le dialogue se poursuit au niveau "restituer (P, accès)" et plus exactement à la restitution sonore de l'objet "TITI".

```

Enseignement Assisté Par Ordinateur
*****
Execution d'une leçon

Fonction : Interpretation          Nom de la Leçon : dictée

Attention !
Vous avez fait deux erreurs sur les mots soulignes , dans votre réponse .
Essayez de les corriger . Vous avez la possibilite de reécouter la phrase
grace a la commande REECOUTE .

** Cinq moines sains de corps et d'esprit etaient dans leur sein le sein
du saint-pere . **

Apprenant : MOHAMMED
Mode : Bavard

Option Parole : Active

AIDE      PAROLE  REECOUTE  MENU      SUITE      VALID
F1        F2      F3         F4        F5         F6         F7         F8
  
```

Figure C.39 : Visualisation des résultats de l'analyse de réponse.

Après trois essais successifs ("3" est le nombre d'essais maximum que l'on a considéré), l'élève n'a toujours pas trouvé la bonne réponse ; la machine lui affiche la réponse correcte (figure C.40) et enchaîne avec la visualisation du menu principal (figure C.30).

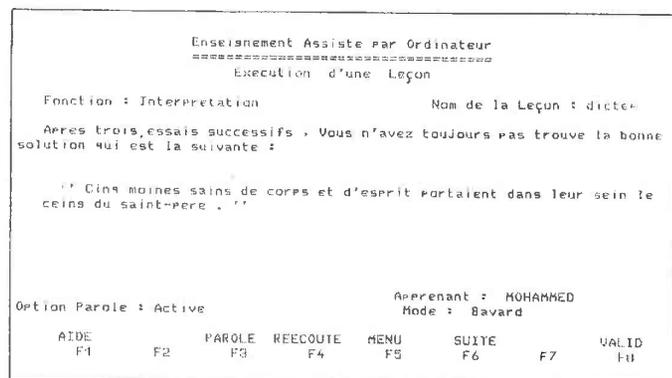


Figure C.40 : Signalisation de la réponse correcte.

V.4. Validation d'une leçon dans "GRAPES"

Lors de la création d'un cours, l'auteur fait largement appel à ses expériences antérieures pour élaborer des leçons de "bonne qualité". Avant de rendre utilisables les différentes leçons, l'auteur doit s'assurer qu'elles répondent aux trois critères suivants :

- la validation syntaxique qui consiste à vérifier que la R.I. créée peut être interprétée par l'exécuteur de leçon, qu'elle ne contient qu'une seule sollicitation, une action analyse de réponse et une seule action jugement de réponse,

- la validation sémantique, pour vérifier que tous les objets et les fonctions référencées dans la R.I. sont connues par le programme,

- la validation pédagogique qui doit assurer le bon déroulement du dialogue avec l'apprenant, en particulier :

- . les messages envoyés aux apprenants doivent être suffisamment clairs pour bien exprimer ce que l'auteur a voulu dire,
- . la présentation doit être attrayante et l'apprenant doit percevoir facilement l'essentiel de l'information qu'il reçoit,
- . les leçons sont complètes : le dialogue se déroule normalement, comme l'a prévu l'auteur et ceci indépendamment de la réponse de l'élève.

Il est évident que les conclusions de l'analyse de la situation sont...

Il est évident que les conclusions de l'analyse de la situation sont...

Il est évident que les conclusions de l'analyse de la situation sont...

Il est évident que les conclusions de l'analyse de la situation sont...

CONCLUSION
GENERALE

Il est évident que les conclusions de l'analyse de la situation sont...

Il est évident que les conclusions de l'analyse de la situation sont...

Il est évident que les conclusions de l'analyse de la situation sont...

Il est évident que les conclusions de l'analyse de la situation sont...

Il est évident que les conclusions de l'analyse de la situation sont...

Nous avons exposé dans ce mémoire les différents aspects des études que nous avons menées sur le thème :

"Adjonction d'entrées-sorties vocales et graphiques en Enseignement Assisté par Ordinateur".

Après avoir présenté, dans la première partie, certains aspects de l'Enseignement Assisté par Ordinateur tant du point de vue de l'élève que de celui de l'enseignant et du processus de l'enseignement, nous avons exposé dans la seconde partie des généralités sur les Systèmes Experts, le Traitement Automatique de la Parole et du Graphique et nous avons indiqué les principaux apports de ces deux derniers domaines à l'E.A.O. et plus particulièrement :

- l'amélioration du confort du dialogue entre l'homme et la machine,
- l'extension du champ d'utilisation de l'E.A.O.,
- la possibilité d'améliorer les stratégies pédagogiques.

Dans le cadre de la troisième partie, nous avons décrit les différents types d'objets que nous avons introduits, les éditeurs correspondants, ainsi que les analyseurs de réponses mis en oeuvre. Nous avons présenté également les logiciels que nous avons réalisés pour manipuler les nouveaux objets pédagogiques puis pour créer et interpréter des exercices.

L'adjonction de la parole et du graphique en Enseignement Assisté par Ordinateur permet la prise en compte de nouvelles fonctionnalités et nous espérons que les études que nous menons permettront, dans un avenir très proche, aux auteurs non spécialistes du traitement automatique de la parole et du graphique d'intégrer, dans les nouveaux didacticiels qu'ils

créent, des entrées-sorties vocales et graphiques, en complément des autres modes de communication plus classiques. Ainsi, nous pourrions déboucher à terme vers un Enseignement Assisté par Ordinateur offrant un champ d'application plus vaste et plus diversifié (enseignement de langues, de musique et du solfège, etc.) et des dialogues plus spontanés et naturels entre la machine et l'utilisateur (enseignant et/ou apprenant).



BIBLIOGRAPHIE

- [ADI, 81] Agence de l'Informatique. "Le point sur la reconnaissance et la synthèse de la parole".
Octobre 1981, diffusion HERMES.
- [ADI, 83] Agence de l'Informatique. "Projet DIANE, manuel de l'utilisateur".
SERMAP, Paris 1983.
- [ADI, 83] Agence de l'Informatique. "Représentation interne (description, production, diffusion)".
Février 1983.
- [BENN, 84] M. BENNANI, J.M. PIERREL. "Adjonction d'entrées-sorties vocales à un système d'E.A.O.".
Pour le 3ème congrès de l'E.A.O., 17-19 avril 1984, Paris.
- [BENN, 84] M. BENNANI, M.C. HATON et J.M. PIERREL. "Parole, graphique et E.A.O. : Bilan d'une expérience et perspective".
1er congrès francophone d'E.A.O., Lyon, septembre 1984.
- [BIPE, 80] BIPE. "L'enseignement assisté par ordinateur" tome 1 :
"Rapport de synthèse".
Décembre 1980.
- [BIPE, 80] BIPE. " L'enseignement assisté par ordinateur" tome 2 :
"Rapport de mission".
Décembre 1980.
- [BONN, 81] A. BONNET, G. FAPIOTTE et M. QUERE. Actes de la journée de synthèse "Utilisation des ordinateurs dans l'enseignement".
AFCET Informatique, Paris, 1981.

- [COUL, 79] D. COULON. "Un naturel trompeur...".
INPL - ENSMIM, Nancy,
- [DIMA, 81] J. DI MARTINO. "Normalisation temporelle par programmation dynamique".
Rapport de D.E.A., Université de Nancy I, 1981.
- [DIMA, 84] J. DI MARTINO. "Contribution à la reconnaissance globale de la parole : mots isolés et mots enchaînés".
Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy I, 1984.
- [ECRI, 82] Rapport ECRIN. "Spécification des fonctionnalités d'un système d'E.A.O.".
C.R.I.N., Université de Nancy I, 1982.
- [FAY, 83] C. FAY. "Résolution assistée par ordinateur de problème d'arithmétiques ; Modélisation à partir d'un énoncé, résolution des erreurs de l'enfant et gestion du dialogue avec ce dernier".
Rapport de D.E.A., non publié, septembre 1983.
- [FAY, 84] C. FAY, M. QUERE. "Vers l'enseignement intelligemment assisté par ordinateur : comprendre, résoudre et expliquer un problème".
C.R.I.N. 84-R-010.
- [FERR, 83] M. FERRETTI, F. CINARE. "Synthèse, reconnaissance de la parole".
Edition TESTS.
- [GUIB, 79] J. GUIBERT. "La parole : compréhension et synthèse par les ordinateurs".

- [HATU, 74] J.P. HATON. "Contribution à l'analyse, la paramétrisation et la reconnaissance de la parole".
Thèse d'Etat, Université de Nancy I, 1974.
- [HATU, 75] J.P. HATON et M.C. HATON. "SIRENE : Un projet de système interactif pour la rééducation vocale des enfants non-entendants".
6ème Journée d'Etude sur la Parole, G.A.L.F., Toulouse, mai 1975.
- [HATU, 81] M.C. HATON. "Speech Training of Deaf Children using the SIRENE System : First Results and Conclusions".
in "Spoken Language Generation and Understanding", J.C. SIMON ed. D. Reidel, 1981.
- [HATU, 84] M.C. HATON. "Analyse et rééducation de la production vocale assistées par ordinateur". Thèse d'Etat, Université de Nancy I.
- [JERO, 81] P. JEROME. "Simulation applies to teaching of experimental sciences".
in WCCE, part 1, North-Holland, 1981.
- [LAZR, 82] M. LAZREK. "Décodage acoustico-phonétique en compréhension automatique de la parole continue".
Thèse de 3ème cycle, Université de Nancy I, juin 1983.
- [LAFO, 82] S. LAFONT. "Etude et mise en oeuvre d'outils informatiques pour non voyants : console Braille et console vocale".
Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy I, janvier 1983.

- [INDU, N°2] Ministère de l'Industrie. "Les machines parlantes : prospective mondiale".
diffusion : La Documentation française.
- [PAGE, 70] PAGES. "La simulation en médecine".
In E.A.O., IBM, 1970.
- [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, 81] J.M. PIERREL. "Etude et mise en oeuvre de contraintes linguistiques en compréhension automatique du discours continu".
Thèse d'Etat, Université de Nancy I, mars 1981.
- [PIER, 84] J.M. PIERREL. "Intelligence artificielle, parole et E.A.O.". 2èmes Assises nationales de l'E.A.O., Paris, février 1984, paru dans E.A.O. n° 13.
- [PIST, 84] C. PISTER. "Adaptation au locuteur par apprentissage automatique. Application à un système de reconnaissance automatique de la parole".
Thèse de 3ème cycle, Université de Nancy I, juin 1984.
- [PITR, 77] J. PITRAT. "L'utilisation du langage naturel pour poser des problèmes aux ordinateurs".
Dans "Applications de l'intelligence artificielle à l'informatique", pp. 83-95, Strasbourg, 1977, publication du groupe "structures de l'information" de l'Institut de Programmation, Paris.

- [QUER, 80] M. QUERE. "Contribution à l'amélioration des processus d'enseignement, d'apprentissage et d'organisation de l'étude". L'ordinateur outil et objet de formation. Application au projet SATIRE".
Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nancy I, 1980.
- [QUER, 83] M. QUERE. "Langage d'auteurs d'hier et d'aujourd'hui".
CRIN n° 39, novembre 1983.
- [RABI, 78] L.R. RABINER, A.E. ROSENBERG. "Considerations in Dynamic Time Warping Algorithms for Discrete Word Recognition".
IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-26, n° 6, December 1978.
- [SAKO, 78] A. SAKOE, S. CHIBA. "Dynamic Programming Algorithm Optimization for Spoken Word Recognition".
IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-26, n° 1, February 1978.

- LES PHONEMES DU FRANÇAIS -

CLASSES	PHONEMES	MOTS-CLES
Voyelles	a ɔ i y ɔ o ɔ e ɛ ø œ u	plat mat il nu bol eau le lait blé peu heure ou
Voyelles Nasales	ɑ̃ ɔ̃ ɛ̃ œ̃ ỹ ũ	an on lin brun
Fricatives Sonores	v z ʒ	vie zéro je
Fricatives Sourdes	f s ʃ	feu son chat
Occlusives Sonores	b d g	bon dans gare
Occlusives Sourdes	p t k	pas tas côt
Consonnes Nasales	m n ɲ	ma nous agneau camping
Liquides	r l	rue lent
Semi-voyelles	w j y	voir bailler huile

Notes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DO	16,35	32,70	65,40	130,80	261,62	523,25	1046,50	2093,00	4186,00	8372,01
DO #	17,32	34,64	69,29	138,59	277,18	554,36	1108,73	2217,46	4434,92	8869,84
RE	18,35	36,70	73,41	146,83	293,66	587,32	1174,65	2349,31	4698,63	9397,27
RE #	19,44	38,89	77,78	155,56	311,12	622,25	1244,50	2489,01	4978,02	9956,05
MI	20,60	41,20	82,40	164,81	329,62	659,25	1318,51	2637,02	5274,04	10548,08
FA	21,82	43,65	87,30	174,61	349,22	698,45	1396,91	2793,82	5587,64	11175,29
FA #	23,12	46,24	92,49	184,99	369,99	739,98	1479,97	2959,95	5919,90	11839,80
SOL	24,49	48,99	97,99	195,99	391,99	783,99	1567,98	3135,95	6270,92	12541,85
SOL #	25,95	51,91	103,82	207,65	415,30	830,60	1661,21	3322,43	6644,87	13289,74
LA	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	7040,00	14080,00
LA #	29,13	58,27	116,54	233,08	466,16	932,32	1864,65	3729,30	7458,61	14917,23
SI	30,86	61,73	123,47	246,94	493,88	987,76	1975,53	3951,06	7902,12	15804,25

Fig. 2-7. — Tableau des fréquences des notes de la gamme tempérée.

NOM DE L'ETUDIANT : *BENNANI Mohammed*

NATURE DE LA THESE : *DOCTORAT DE 3ème CYCLE - INFORMATIQUE*

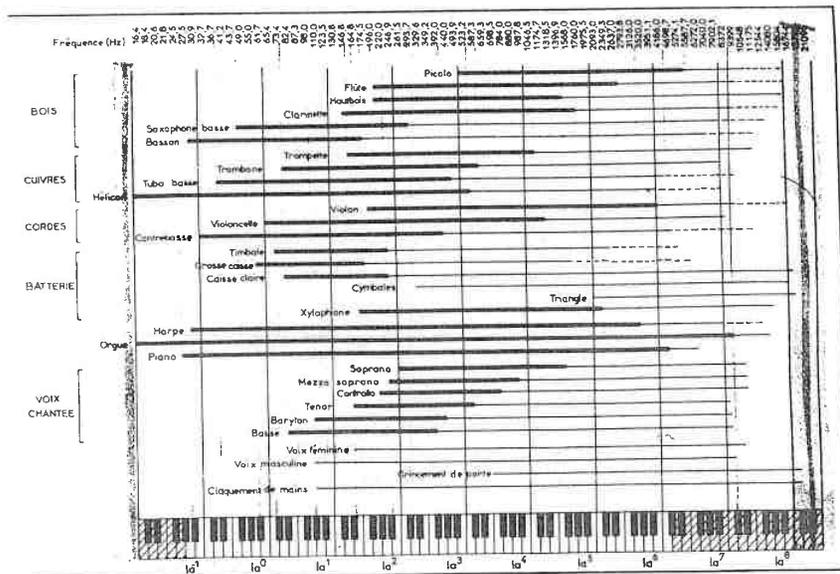


Fig. 2-8. — Tableau donnant les fréquences audibles et la place des différents instruments de musique et des voix (en trait fort, les fréquences fondamentales; en trait fin, les harmoniques; en pointillés, les partiels).

VU, APPROUVE ET PERMIS D'IMPRIMER

NANCY, le *17* JUIL. 1984 *1394*

LE PRESIDENT DE L'UNIVERSITE DE NANCY I

R. MAINARD



RESUME

Dans ce travail , nous avons étudié l'amélioration du dialogue et l'extension du champ d'application de l'Enseignement Assisté par Ordinateur grace à l'adjonction d'entrées-sorties vocales et graphiques . Ceci nous a conduit à définir de nouveaux types d'objets et de nouveaux analyseurs de réponses .

Le logiciel EDIT permet aux auteurs de créer puis de gérer des objets " parole " et " graphique " . GRAPES leur offre la possibilité d'utiliser ces objets pour créer ou valider des didacticiels incluant la parole et le graphique que les apprenants peuvent exécuter .

MOTS - CLES

Enseignement Assisté par Ordinateur - Intelligence artificielle - Traitements Automatiques de la Parole , du Graphique , de l'Image et du Langage Naturel - Editeur - Analyseur de Réponse - Didacticiel .