

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad Dahlab - Blida
USDB.

Faculté des Sciences de l'ingénieur
Département d'informatique



**Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention
d'un diplôme d'ingénieur d'état en informatique.**
Option : Système d'information

Sujet :

**Détection du Sigmatisme
Interdental du Langage parlé
arabe**

Présenté par : Mlle. Bouklachi Nawel
Mlle. Djelloud Karima

Promotrice : Dr M. Guerti

Organisme d'accueil : Ecole National Polytechnique d'ALGER

Soutenu le: 13 Décembre 2007, devant le jury composé de :

Mme S. BENSTITI	CC USD-BLIDA	Présidente
Mme M. GUERTI	MC ENP-ALGER	Promotrice
Mlle D. TOUAHRI	A USD-BLIDA	Examinatrice
Mr. M. MEKRAZI	CC USD-BLIDA	Examineur

- N^o / Promotion 2007 -

MIG-004-196-1

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad Dahlab - Blida
USDB.

Faculté des Sciences de l'ingénieur
Département d'informatique

**Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention
d'un diplôme d'ingénieur d'état en informatique.**
Option : Système d'information

Sujet :

**Détection du Sigmatisme
Interdental du Langage parlé
arabe**

Présenté par : Mlle. Bouklachi Nawel
Mlle. Djelloud Karima

Promotrice : Dr M. Guerti

Organisme d'accueil : Ecole National Polytechnique d'ALGER

Soutenu le: 13 Décembre 2007, devant le jury composé de :

Mme S. BENSTITI	CC USD-BLIDA	Présidente
Mme M. GUERTI	MC ENP-ALGER	Promotrice
Mlle D. TOUAHRI	A USD-BLIDA	Examinatrice
Mr. M. MEKRAZI	CC USD-BLIDA	Examineur

- N⁰ / Promotion 2007 -

Résumé

Il est convenu d'entendre par trouble un syndrome de désorganisation d'une fonction, liée à un défaut structurel dans l'apparition, l'installation d'un ou de plusieurs éléments constitutifs du langage. Par exemple, on pourrait assurer qu'il existe une véritable dysharmonie chronologique entre les différentes compétences élémentaires nécessaires à la genèse du langage.

Il existe deux types de pathologies du langage : écrit et oral, nous nous intéressons par le deuxième type et exactement les troubles d'articulation qui impliquent une anomalie consistant en des erreurs mécaniques et constantes dans l'exécution du mouvement propre à un phonème.

Notre application concerne le sigmatisme interdental, qui le remplacement de [z] et [s] comme [žø] et [sø]. Pour cela nous avons élaborer un corpus de 18 phrases contiennent les phonèmes à étudier dans différentes positions qui existe en Arabe Standard. L'analyse sonographique a été faite à l'aide du logiciel Praat pour extraire les valeurs des formants.

Nous avons extrait 2 Base de Données : Base de Données Normale et Base de Données Pathologiques afin de détecter les cas pathologiques, le logiciel utilisée pour implémenté l'application est le VB et Unified Modelling Language (UML) comme langage de conception.

Suite à une évaluation objectives, notre application s'avère intéressant et il peut être s'étendre à d'autres pathologies articulaires.

Mots clés : pathologies du langage, sigmatisme interdental, analyse sonographique, formants, BD, UML.

Abstract

It is suited to hear by trouble a syndrome of disorganization of a function, bound to a structural defect in the apparition, the installation of one or several constituent elements of the language. For example, one could assure that a real chronological dysharmonie exists between the different elementary expertises necessary to the genesis of the language.

Two types of pathologies of the language exist: written and oral, we are interested by the second type and precisely the unrests of joint that imply an anomaly consisting in mechanical and constant mistakes in the execution of the movement clean to one phoneme.

Our application concerns the sigmatisme interdental, that the replacement of [z] and [s] as [žø] and [sø]. For it we have elaborated a corpus of 18 sentences contains the phonemes to study in different positions that exist in Standard Arab. The analysis sonographique has been made with the help of the software Praat to extract the securities of the forming.

We extracted 2 Data base: Normal data base and Data base Pathological in order to detect the pathological cases, the used software for implemented the application is the VB and Unified Modelling Language (UML) as system design language.

Following an assessment objectifies, our application proves to be interesting and it can be to spread to other articulatory pathologies.

Keywords: pathologies of the language, sigmatisme interdental, analysis sonographique, forming, DATA BASE, UML.

ملخص

يدور عملنا حول الكشف الآلي لأحد اضطرابات النطق لأصوات اللغة العربية الفصحى ، والمتعلقة بخلل في نطق صوت [س] و صوت [ز].

ولانجازه يستلزم تسجيل مدونة، هذه الأخيرة مكونة من 18 جملة باللغة العربية الفصحى. مرحلة التقسيم إلى وحدات صوتية والتي تعتمد على التحليل المطيافي ، وهذا باستعمال برنامج Praat ، لاستخراج أحد مميزات الإشارة الصوتية :العناصر المركبة.

كما استعملنا قاعدتين للمعطيات :واحدة لتسجيل الأصوات السليمة والأخرى للأصوات المرضية، من أجل إجراء مقارنة بحساب المسافة بين الصوت السليم والمرضي للتوصل لمعرفة التشخيص،دون تدخل أخصائي في تصحيح النطق، استعنا في انجاز البرنامج على طريقة UML لتصوره، ولغة البرمجة VB لتطبيقه.

يمكن لهذا العمل أن يطورالى نظام مساعد ألي في تصحيح النطق و يشمل تشخيص اضطرابات نطق أخرى.

كلمات المفاتيح : اضطرابات النطق ، اللغة العربية الفصحى ، التحليل المطيافي ، العناصر المركبة ، قاعدة المعطيات،UML.

Remerciement

Nous tiennes, en premier lieu, à remercier Dieu pour sa miséricorde, sa bonté, son obligeance et la faveur qu'il nous a donnée afin de nous engager dans la voie du savoir.

Nous remercions notre Promotrice M.Guerti, M.C. à l'ENP d'Alger pour sa disponibilité, pour ses précieux conseils ainsi que le soin qu'elle nous a apporté à nous guider dans notre travail tout en nous inculquant la notion de recherche.

Nous remercions également Mme la présente du jury Souâd BENSTITI ainsi que les membres du jury Mme Dalila TOUAHRI et Mr. Mohamed MEKRAZI pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et leur disponibilité.

De même nous remercions pour leur aide et soutien :

- Mr. B. Mezaourou, ingénieur en informatique ;
- Dr. K. Ghazali de l'hôpital Trantz Fanon, Service de Rééducation Fonctionnelle ;
- Dr. Tafahi et son assistante Hajdar de l'hôpital de Benboulaid, Service CCI
- Dr. N. Mohamed Chrif, de la clinique de Gouraya ;
- Mlle. Z. Bendraoua ;
- Mlle Tadrus Mehdjouba ;

Nous remercions, pour leur apport tout au long de notre cursus universitaire l'ensemble des enseignants.

Dédicaces

Je dédie ce Projet de Fin d'Etudes aux personnes qui me sont les plus chères :

✿ à mes adorables parents *Abdessalam* et *Zahia* qui m'ont énormément soutenue dans les moments les plus difficiles, partagés mes joies et mes peines, qui se sont toujours sacrifiés à mes dépends ;

✿ à mon père dont les efforts fournis durant toute sa vie.

✿ à mes chers frères « *Ridouane* » et « *Farid* » ;

✿ à mon très cher frère « *Soufiane* » qui a été toujours présent durant les moments les plus difficiles.

✿ à ma très chère unique et adorable sœur « *Warda* » pour l'attention et les soins dont elle m'a entourée ;

✿ à « *Mohamed* », mon mignon petit frère ;

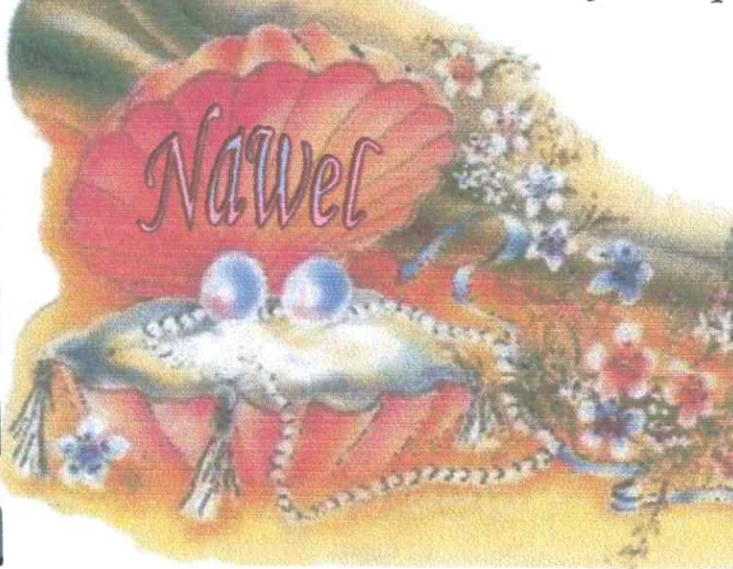
✿ à mes oncles, tantes, cousins, cousines surtout mon oncle « *Rachid* » et ses filles *Meriem*, *Leila* et à ma cuisine *Hayet* ;

✿ à mes chères copines de chambre *Zohra* et *Assia* et leur Tante *Mehdjouba* ;

✿ à ma chère Binôme *Karima* et toute sa famille ;

✿ à mes très chères amis : *Amitaphi*, *Fouzia*, *Nadia*, *Safia*, *Baya*, *Zohra*, *Majdid*, *Hassiba*, *Houria Kaltoum*, *Rima*, *Samia*, *Samir*, *Hakim*, *Houcine*, *Alal*, *Billal*, *Tarek*, *Lotfi*, *Monir*, *Mohamed* et toute la promotion d'Informatique 2006/2007.

Nawel



Dédicaces

Je dédie ce Projet de Fin d'Etudes aux personnes qui me sont les plus chères :

à mes adorables parents Cheikh et Fatna qui m'ont énormément soutenue dans les moments les plus difficiles, partagés mes joies et mes peines, et qui se sont toujours sacrifiés à mes dépends ;

à ma chère grand-mère maternelle, pour le soutien à travers ses prières ;

à la mémoire de mon grand-père paternelle ;

à mon très cher frère « Omar » qui toujours est présent durant les moments les plus difficiles ;

à mes très chères sœurs « Razika, Hanane, Siham » pour l'attention et les soins dont elles m'ont entourée ;

à mes chers frères « Moussa » et « Abdessalam » ;

à « Mr. Belarbi Bachir », son épouse « Naima », et ses filles « Sara, Salma, Lamia » et son unique adorable « Redouane » pour les efforts fournis durant mes études à Blida ;

à ma chère Binôme Nawel et toute sa famille ;

à mes très chères amies : Mehadjouba, Sara, Fatiha, Kaoutar, Amel, Amina, Soumia, Imane, Chaiaa, Zhor, Naima, F.Zohra, Rima, Hajar, Asma, Hafsa, Kaltoum, Zakia, Bachira, Leila et toute la promotion d'Informatique 2006/2007.

Katima

Liste des figures

Figure 1.1 :	Le système vocal humain	2
Figure 1.2 :	Le système auditif humain.....	4
Figure 1.3 :	Régions principales d'articulation.....	5
Figure 1.4 :	Les organes d'articulation.....	5
Figure 1.5 :	Evolution de la fréquence du fondamentale de la phrase "Les techniques de traitement numérique de la parole", transcrite en API.....	6
Figure 1.6 :	Spectrogrammes à Large Bande, et évolution temporelle de la phrase anglaise 'Alice's adventures' transcrite en API, échantillonnée à 11.25 kHz.....	8
Figure 1.7 :	Spectrogrammes à Etroite Bande, et évolution temporelle de la phrase anglaise 'Alice's adventures' transcrite en API, échantillonnée à 11.25 kHz.....	9
Figure 1.8 :	Schéma type d'une syllabe.....	9
Figure 1.9 :	Les points d'articulations des sifflantes et chuintantes.....	14
Figure 1.10 :	Le point d'articulation de fricative labiodentale.....	15
Figure 1.11 :	Le point d'articulation de sifflante (fricative) alvéolaire.....	15
Figure 1.12 :	Le point d'articulation de fricative rétroflexe.....	16
Figure 1.13 :	Le point d'articulation de chuintante (fricative) alvéolaire.....	16
Figure 1.14 :	Le point d'articulation de sifflante (fricative) palatale.....	16
Figure 1.15 :	Le point d'articulation de fricative vélaire.....	17
Figure 1.16 :	Le point d'articulation de fricative uvulaire.....	17
Figure 1.17 :	Le point d'articulation de fricative pharyngale.....	17
Figure 1.18 :	L'articulation de fricative glottale.....	18
Figure 3.1 :	Les diagrammes du langage UML.....	43
Figure 3.2 :	Représentation d'un cas d'utilisation.....	43
Figure 3.3 :	Les trois relations entre les cas d'utilisation.....	44
Figure 3.4 :	Représentation graphique d'un objet.....	45
Figure 3.5 :	Exemple d'un diagramme de classe.....	45
Figure 3.6 :	Exemple d'un diagramme d'objet.....	45
Figure 3.7 :	Agencement de message.....	46
Figure 3.8 :	Activation d'un objet de manière simple.....	46

Figure 3.9 :	Représentation d'un composant.....	47
Figure 3.10 :	Formalisme de base du diagramme de collaboration.....	47
Figure 3.11 :	Exemple de diagramme d'état-transition.....	48
Figure 3.12 :	Exemple d'un diagramme d'activité.....	49
Figure 3.13 :	Les trois couches d'un SGBD.....	51
Figure 3.14 :	Présentation du logiciel Praat.....	55
Figure 4.1 :	Les acteurs de système.....	61
Figure 4.2 :	Diagramme de cas d'utilisation générale d'application de système d'aide proposé.....	61
Figure 4.3 :	Diagramme de cas d'utilisations de l'expert.....	63
Figure 4.4 :	Diagramme de cas d'utilisation pour la définition d'un trouble.....	64
Figure 4.5 :	Diagramme d'utilisation pour enregistrer formants de phonème étudié.....	64
Figure 4.6 :	le diagramme de cas d'utilisation pour le calcul de distance.....	65
Figure 4.7 :	Le diagramme de cas d'utilisation pour enregistrement des formants de phonème d'utilisateur.....	66
Figure 4.8 :	Le diagramme de cas d'utilisation pour le test phonème de l'utilisateur.....	67
Figure 4.9 :	Diagrammes des séquences de définition d'un trouble.....	67
Figure 4.10 :	Diagrammes des séquences de l'enregistrement les formants d'un trouble.....	69
Figure 4.11 :	Diagrammes des séquences de calculer la distance entre les formants des phonèmes.....	70
Figure 4.12 :	Diagrammes des séquences d'enregistrement des formants des phonèmes.....	71
Figure 4.13 :	Diagramme de séquence de tester le phonème.....	72
Figure 4.14 :	Diagramme de classe.....	73
Figure 4.15 :	Spectrogramme de [سلحفة] pathologique.....	74
Figure 4.16 :	Spectrogramme de [سلحفة] non pathologique.....	74
Figure 4.17 :	Spectrogramme de [زيدة] non pathologique.....	75
Figure 4.18 :	Spectrogramme de [زيدة] pathologique.....	75

Liste des tableaux

Tableau 1. 1 : L'Alphabet Phonétique International	12
Tableau 1. 2 : Transcription Orthographique et Phonétique des consonnes fricatives de l'Arabe Standard.....	19
Tableau 1. 3 : Structure du langage arabe en succession phonétique ...	80
Tableau 4.1 : Les Formants de phonème [s] avec [a].....	80
Tableau 4.2 : Les Formants de phonème [s] avec [u].....	80
Tableau 4.3 : Les Formants de phonème [s] avec [i].....	80
Tableau 4.4 : Les Formants de phonème [s'] avec [a].....	81
Tableau 4.5 : Les Formants de phonème [s'] avec [u].....	81
Tableau 4.6 : Les Formants de phonème [s'] avec [i].....	81
Tableau 4.7 : La distance pathologique entre [s] et [s'] avec [a].....	81
Tableau 4.8 : La distance pathologique entre [s] et [s'] avec [u].....	81
Tableau 4.9 : La distance pathologique entre [s] et [s'] avec [i].....	82
Tableau 4.10 : Tableau 4.10 : Les Formants de phonème [z] avec [a].....	82
Tableau 4.11 : Les Formants de phonème [z] avec [u].....	82
Tableau 4.12 : Les Formants de phonème [z] avec [i].....	82
Tableau 4.13 : Les Formants de phonème [z'] avec [a].....	83
Tableau 4.14 : Les Formants de phonème [z'] avec [u].....	83
Tableau 4.15 : Les Formants de phonème [z'] avec [i].....	83
Tableau 4.16 : La distance pathologique entre [z] et [z'] avec [a].....	83
Tableau 4.17 : La distance pathologique entre [z] et [z'] avec [u].....	83
Tableau 4.18 : La distance pathologique entre [z] et [z'] avec [i].....	83

Liste des abréviations

RAP	Reconnaissance Automatique de la Parole
TAP	Traitement Automatique de la parole
AS	Arabe Standard
TOP	Transcription Orthographique Phonétique
ICP	Institut de la Communication Parlée
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
UML	Unified Modelling Language
OOSE	Object Oriented Software engineering
OMT	Object Modelling Technique
BD	Base de Données
BDN	Base de Données Normale
BDP	Base de Données Pathologique
SGBD	Système de Gestion de Bases de Données
SGBDR	Système de Gestion de Bases de Données Relationnelles
CV	Cordes Vocales
BL	Bande Large
BE	Bande Etroite
API	Alphabet Phonétique International
CFTMEA	Classification Française des Troubles Mentaux de l'Enfant et de l'Adolescent
ORL	Oto-Rhino-Laryngologiste
CHU	Centre Hospitalo-Universitaire
CCI	Centre Chirurgie Infantile
DSILPA	Détection du Sigmatisme Interdental du Langage Parlé Arabe

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Listes des figures

Listes des tableaux

Listes des abréviations

Introduction Générale

Chapitre 1 : Notions sur la parole et l'Arabe Standard

1.1. Introduction.....	1
1.2. Généralités sur la parole.....	1
1.3. L'audition	3
1.4. Différents modes phonatoires	4
1.5. Modes et lieux d'articulation.....	5
1.6. Paramètres acoustique de la parole.....	6
1.6.1. Fréquence fondamentale.....	6
1.6.2. L'intensité.....	7
1.6.3. La durée.....	7
1.6.4. Formants.....	7
1.7. Modèles de représentation du signal vocal.....	7
1.7.1. Spectrogramme ou sonagramme.....	8
1.7.2. Les unités acoustiques	9
1.8. Les propriétés spécifiques du signale vocal.....	10
1.9. Domaine d'études de la parole.....	11
1.10. L'alphabet Phonétique International ou API.....	12
1.11. Le système phonétique de l'Arabe Standard (AS).....	13
1.11.1. Classification des sons de l'Arabe Standard.....	13
1.11.2. Description des consonnes fricatives.....	14
1.11.3. Transcription Orthographique Phonétique (TOP)	17
1.11.4. Structure du langage Arabe en succession phonétique	18

1.12. Reconnaissance de la parole.....	19
1.12.1. Les applications réalisées en RAP.....	19
1.12.2. Différentes méthodes de RAP... ..	19
1.12.3. Principaux problèmes à résoudre et défis à relever en RAP.....	20
1.13. Conclusion	21

Chapitre 2 : Pathologies du langage

2.1. Introduction	23
2.1. Définitions	23
2.2. Le développement normal du langage chez l'enfant.....	24
2.3. Le métier d'orthophoniste.....	25
2.3.1. Rééducateur de la parole et du langage.....	26
2.4. Classification des troubles du langage.....	27
2.4. Les troubles du langage	28
2.4.1. Les troubles du langage oral	28
2.4.2. Les troubles du langage écrit	33
2.5. Les troubles de la voix chez l'enfant.....	36
2.6. Pathologie concernée par notre travail.....	37
2.6.1. Sigmatisme.....	37
2.7. Conclusion.....	38

Chapitre 3: Outils de développement utilisés

3.1. Introduction.....	41
3.2. Le langage UML.....	41
3.2.1. Les concepts du langage UML	42
3.2.2. Les diagrammes du langage UML.....	42
3.3. Les Bases de Données (BD).....	49
3.3.1. Utilité d'une BD	50
3.3.2. Gestion des BD	50
3.3.3. Les types de BD	51
3.4. La phonétique clinique et les DB sonores.....	53
3.5. Le logiciel Praat.....	54
3.6. Mesures de distances	55

3.6.1. Définitions.....	55
3.6.2. Distance algébrique.....	56
3.6.3. Distance entre deux ensembles.....	56
3.6.4. Distance sur des espaces vectoriels.....	56
3.7. Conclusion.....	57

Chapitre : 4 Conception du système DSILPA

4.1. Introduction.....	59
4.2. Choix du corpus.....	59
4.6. Choix du langage de programmation	60
4.3. Modélisation du système.....	61
4.3.1. Description du système.....	61
4.3.2. Les diagrammes de cas d'utilisation.....	61
4.3.3. Diagrammes des séquences et scénarios.....	68
4.3.4. Le Diagramme de classes	73
4.5. Sonagrammes des mots choisis.....	74
4.6. Description du logiciel DSILPA(Détection du Sigmatisme Interdental de Langage Parlé Arabe.....	76
4.7. Résultats et commentaires.....	80
4.7.1. Les valeurs des formants de phonème [s] normal.....	80
4.7.2. Les valeurs des formants de phonème [s] pathologique	80
4.7.3. Les valeurs des formants de phonème [z] normal.....	82
4.7.4. Les valeurs des formants de phonème [z] pathologique	82
4.9. Conclusion.....	84

Conclusions générales et perspectives

Références bibliographiques

Introduction Générale

Introduction Générale

La parole est le moyen de dialoguer avec autrui, d'échanger des idées, d'exprimer les moindres nuances de nos sentiments. Pour la plupart, c'est aussi un instrument de travail, indispensable à l'exercice d'un métier (avocats, vendeurs, professeurs et tant d'autres...). Pour certains, c'est, en plus, un moyen d'expression (acteurs, chanteurs...).

La voix est un support acoustique, la parole est une forme imposée au son laryngé, image des cavités de résonance. Pour la prise en charge des troubles de la parole, l'examen de l'appareil vocal, l'évaluation de son fonctionnement et l'étude de la production acoustique sont fondamentaux. Cependant, seule l'analyse globale de la phonation restituée dans le contexte de la vie du patient permet de comprendre les fluctuations de la performance vocale et les symptômes sensoriels non accessibles aux mesures objectives.

Lors du traitement des pathologies, les médecins essaient en premier lieu de détecter la pathologie par des méthodes non invasives, afin de préserver au maximum les conditions de fonctionnement de l'organe défectueux, si toutefois, une intervention chirurgicale n'est pas nécessaire, et que le problème est d'ordre phonétique articulaire, l'orthophoniste prend le relais. Ce dernier, dans le cadre de la thérapie de prononciation par correction assistée, utilise ses sens, entre autres, son ouïe, sa vision ainsi que sa propre prononciation, procédant selon une méthodologie bien définie.

A toutes ces étapes, l'orthophoniste utilise son ouïe, entend, et évalue la bonne prononciation. Cependant, la qualité de l'évaluation dépend de l'ouïe de l'orthophoniste.

Dans le but d'aider ce dernier à évaluer la prononciation ainsi que de l'évolution de la guérison du patient et rendre les méthodes manuelles qu'il utilise plus automatiques.


Nous allons, à travers ce travail élaborer un système de détection des troubles de la parole, précisément nous avons choisi le sigmatisme interdental, un trouble d'articulation, nous allons l'appliquer sur le langage parlé arabe. Ces pathologies langagières d'ordre articulaires sont généralement traitées en mode phonème isolé, le patient répète une suite des mots choisis contenant le phonème cible dans les différentes positions (initiale, médiane et finale), et avec les trois voyelles (fatha, damma, kasra), dans un milieu normal, en les enregistrant par le logiciel Praat, à

travers un microphone. Il faut segmenter ces différents mots pour extraire les segments des phonèmes à étudier et enfin les analyser pour extraire les valeurs des formants nécessaires. La seconde étape concerne le calcul des distances formantiques entre le phonème de test, et le phonème de référence, puis comparer cette dernière avec les distances pathologiques qui existent dans la Base de données, afin de savoir de quel trouble s'agit-il ?

Nous présentons notre PFE en quatre chapitres :

- dans le premier, nous commençons par définir les deux mécanismes phonatoire et auditif de l'être humain, ensuite nous présentons les notions fondamentales et les classes des sons de l'Arabe Standard ;
- dans le second nous allons parler des différentes pathologies orales et écrites et leurs classements ainsi que la pathologie concernant notre système de détection du sigmatisme interdental du langage parlé arabe ;
- le troisième expose les outils de développements utilisés : le langage de modélisation UML (Unified Modeling Language) les BD et l'outil d'analyse Praat pour l'élaboration de notre système ;
- le dernier concerne l'application de notre travail.

Enfin des conclusions générales et des perspectives finissent ce travail.



Chapitre 1 :
Notions sur la parole et l'Arabe Standard

1.1. Introduction

Le Traitement Automatique de la Parole (TAP) comprend La Reconnaissance Automatique de la Parole (RAP), la synthèse vocale et la perception auditive et visuelle. La RAP permet à la machine de comprendre et de traiter des informations fournies oralement par un utilisateur humain. Elle consiste à employer des techniques d'appariement afin de comparer une onde sortie orale à un ensemble d'échantillons, composés généralement de mots, et aussi des phonèmes. En revanche, le système de synthèse de la parole permet de reproduire une sonore à partir d'un texte qui lui est soumis, comme le ferait un humain. Ces deux domaines et notamment la reconnaissance vocale, font appel à des bases de connaissances de plusieurs sciences : l'anatomie (les fonctions de l'appareil phonatoire et auditif de l'être humain), la phonétique, l'informatique, la linguistique, l'électronique, etc [1].

Dans ce chapitre nous allons exposer la production de la parole, en commençant tout d'abord par des généralités sur la parole telle que la description physiologique (le système vocal humain et auditif), nous présentons ensuite les différents modes phonatoires, les modes et les lieux d'articulation, puis nous allons faire une étude sur l'Arabe Standard (AS).

1.2. Généralités sur la parole

La parole est une faculté, propre à l'homme, de communication par des sons articulés. Elle met en jeu des phénomènes de natures très différentes et peut être analysée. On distingue généralement plusieurs niveaux de description non exclusifs : physiologique, acoustique, etc.

1.2.1. Niveau physiologique

Les sons de la parole se produisent lors de la phase d'expiration au cours de laquelle un flux d'air contrôlé, en provenance des poumons passe à travers le larynx et le conduit vocal (conduit respiratoire). Ce flux d'air appelé *air pulmonaire*, rencontre sur son passage plusieurs obstacles potentiels qui vont le modifier de manière plus ou moins importante. La figure 1.1 représente une vue globale de l'appareil phonatoire et la figure 1.2 une section du larynx.

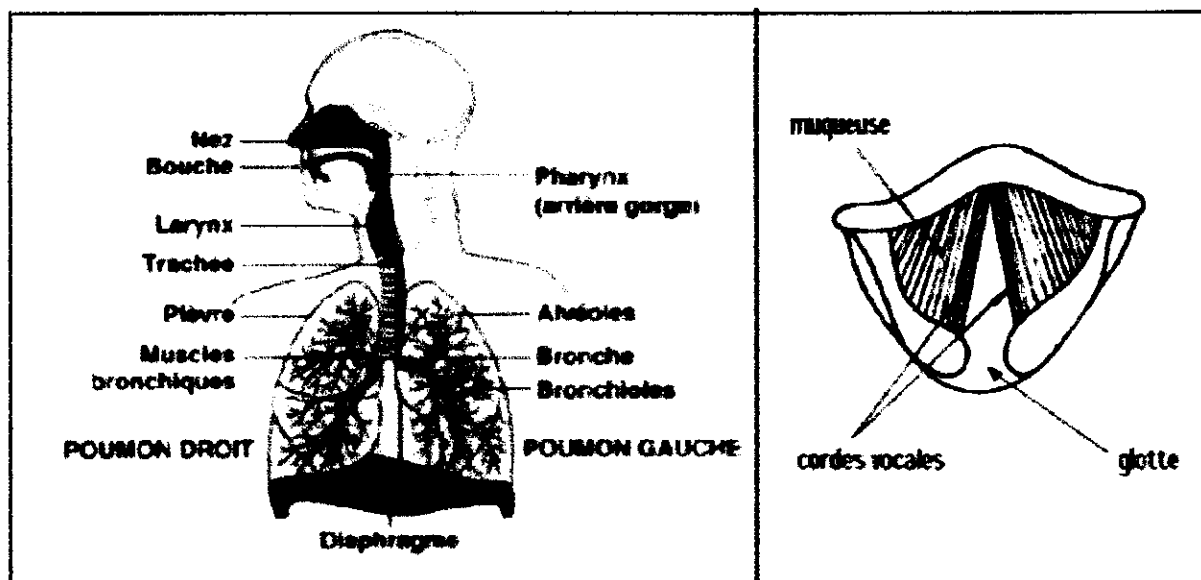


Figure 1. 1 : Le système phonatoire humain.

Figure 1. 2 : Section du larynx.

Le larynx se compose de 4 cartilages différents, dont le cartilage thyroïdien (pomme d'Adam) et l'épiglotte. A l'intérieur du larynx se situent les *cordes vocales*, organes vibratoires constitués de tissu musculaire et de tissu conjonctif résistant. Les cordes vocales sont reliées à l'avant au cartilage thyroïdien. Elles peuvent s'écarter ou s'accoler pour produire des ondes de pression. L'espace entre les cordes vocales est appelé *glotte*.

L'air laryngé passe dans le conduit vocal. Ce dernier comprend plusieurs cavités supra-glottiques reliées entre elles : le pharynx, les fosses nasales, la bouche et les lèvres.

Le **pharynx** ou la **cavité pharyngale** est un conduit musculo-membraneux situé entre la bouche et l'oesophage d'une part, et entre les fosses nasales et le larynx d'autre part.

La paroi du pharynx est constituée de muscles constricteurs. La constriction de ces muscles modifie le diamètre du pharynx. La racine de la langue peut également reculer ou avancer et donc agir sur le volume de cette première cavité supra-glottique.

Les **fosses nasales** ou la **cavité nasale** sont deux cavités cunéiformes séparées par une cloison verticale médiane et recouverte de muqueuses. L'air passe par le nez lorsque le voile du palais (prolongement musculaire du palais osseux) est rabaisé (passage oro-nasal ouvert).

La bouche ou la cavité buccale est séparée des fosses nasales par une cloison appelée le palais. Dans cette cavité se situent des articulateurs, certains fixes (passifs), d'autres mobiles (actifs).

Les lèvres forment la cavité labiale lorsqu'elles sont projetées en avant.

1.2.2. Niveau acoustique

La parole est le résultat d'une stimulation des cavités supra-glottiques (conduit oral, conduit nasal) par un signal acoustique créé par le flux d'air en provenance des poumons et modulé par les cordes vocales [2].

1.3. L'audition

L'appareil auditif est composée de 3 parties majeures : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne (figure 1.3) [3] :

- **l'oreille externe** comporte deux parties, le pavillon de l'oreille et le conduit auditif externe, également appelé le canal. Le rôle principal du pavillon est de diriger et d'amplifier les sons dans le canal. Le pavillon est en fibrocartilage, tandis que le canal est composé d'une partie osseuse et cartilagineuse ;
- **l'oreille moyenne** comporte le tympan, la caisse tympanique et la trompe d'Eustache. *Le tympan* est une membrane située au fond du canal, vibrant et amplifiant les sons. La caisse tympanique constitue le logement des 3 plus petits os du corps humain; le marteau, l'enclume et l'étrier. L'étrier étant le plus petit, sa hauteur maximale atteint 4 millimètres. La trompe d'Eustache, quant à elle, consiste en un conduit reliant la gorge et la caisse tympanique, ayant comme responsabilité d'équilibrer les pressions d'air en s'ouvrant et se fermant ;
- **l'oreille interne** joue deux rôles majeurs, transmettre le son au cerveau et assurer l'équilibre corporel. Cette partie de l'oreille comprend entre autre, la cochlée, un genre de limaçon qui englobe les cellules ciliées sensorielles. Ces cellules ciliées bougent sous l'influence du mouvement de liquides endolymphe et périlymphe. Bref, le son est capté par les cellules sensorielles dans la cochlée, pour être ensuite transformé en influx nerveux dans le but de se rendre au cerveau.

L'équilibre, nous est également assuré par l'oreille interne. En fait, ce sont trois canaux miniatures remplis de liquide endolympatique qui informe le corps de sa position spatiale.

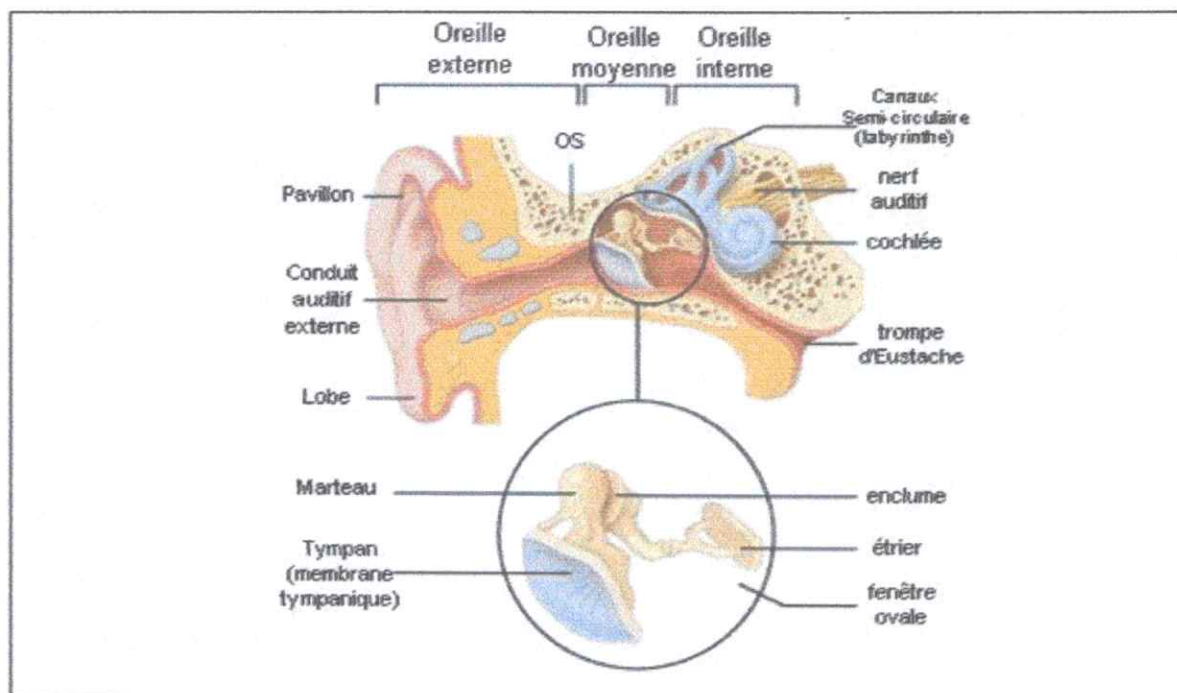


Figure 1.3 : Le système auditif humain

1.4. Différents modes phonatoires

Les Cordes Vocales (CV) sont utilisées de plusieurs façons, de façon à satisfaire les besoins de la respiration et de la production de sons langagiers. Voici les divers modes d'utilisation avec une brève explication du fonctionnement des CV [4] :

- comme lors de la respiration, les CV sont totalement **écartées** l'une de l'autre et aucun son n'est produit par ces dernières. Si on place sa main sur sa gorge, aucune vibration ne devrait être ressentie. (aucun son n'est produit) ;
- les CV s'écartent et se rapprochent très rapidement de façon à interrompre le flux d'air qui passe entre les deux. Les **vibrations** ainsi produites vont résulter en des sons dits voisés, ou sonores (production de son) ;
- lorsque quelqu'un **chuchote**, la partie avant des CV se rapproche vers le centre de la glotte alors que la partie postérieure, qui est attachée aux aryténoïdes, est maintenue éloignée de l'autre corde. L'air s'échappe donc de façon forcée et un bruit de friction est créé au niveau de la glotte (production de voix chuchotée).
- le **murmure** résulte de vibrations produites par les CV alors qu'elles sont un peu lâches, conservant ainsi un certain relâchement (production de voix, les voisées avec un bruit de friction).

1.5. Modes et lieux d'articulation

Les modes articulatoires et les lieux d'articulation sont définis d'après les organes articulatoires utilisés dans leur production (figure 1.4).

Sachant que trois régions principales sont identifiées sur la langue: l'apex, le dos (le pré-dos, le dos et le post-dos) et la racine (figure 1.5).

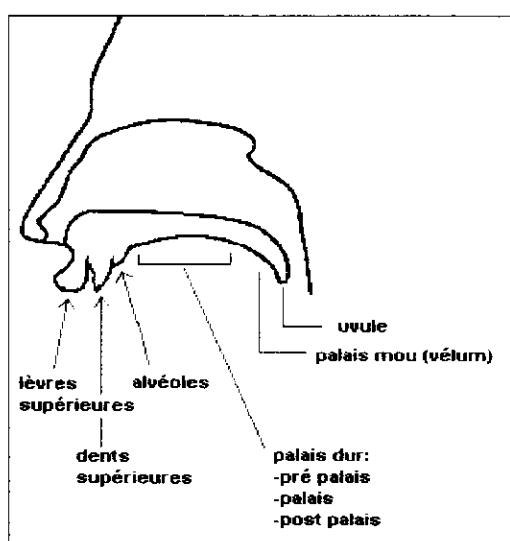


Figure 1.4 : Régions principales d'articulation

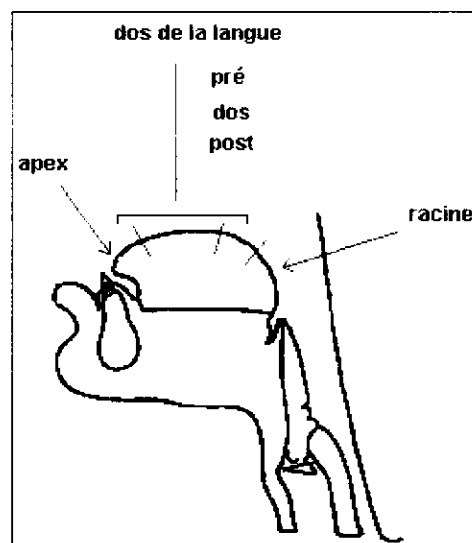


Figure 1.5 : Organes d'articulation

Le lieu d'articulation se définit comme l'endroit de rétrécissement maximal, ce qui veut dire l'endroit où les organes de la cavité buccale sont les plus proches (ou se touchent). Ces lieux peuvent être, en allant de l'avant vers l'arrière de la cavité buccale [4] :

- **les dents supérieures**, les **alvéoles**, le **palais dur** (quelquefois subdivisé en pré-, médio- et post-palais), le **vélum** et l'**uvule**.

À ces lieux d'articulation correspondent les adjectifs suivants permettant de décrire une articulation comme étant *dentale*, *alvéolaire*, *palatale*, *vélaire* et *uvulaire*.

À ces lieux doit se rajouter un articulatoire, qui correspond à l'un des sept organes de la partie inférieure de la cavité buccale.

Les articulatoires possibles sont :

- **la lèvre inférieure**, **dents**, **langue** (sur la langue se trouvent les régions d'articulation suivantes: l'apex, le pré dos, le dos, le post dos et la racine).

1.6. Paramètres acoustiques de la parole

Chaque son est fait de vibrations caractérisées acoustiquement par un certain nombre de données en particulier, la vitesse ou la fréquence, l'amplitude de la vibration ou l'intensité, la durée d'émission, etc.

1.6.1. Fréquence fondamentale ou F_0

La fréquence fondamentale correspond au niveau physiologique de la production de la parole, à la fréquence de vibrations des CV, c'est la plus basse fréquence dans le signal parole dénommé *pitch*. Elle évolue lentement dans le temps, et s'étend approximativement entre [5] :

- 70 à 250 Hz chez les hommes ;
- 150 à 400 Hz chez les femmes ;
- 200 à 600 Hz chez les enfants.

L'évolution de la fréquence fondamentale ou laryngienne en fonction du temps, au cours de la parole constitue ce qu'on appelle la *mélodie* ou *l'intonation*. La figure 1.6, donne l'évolution temporelle de la phrase "les techniques de traitement numérique de la parole" sur une échelle logarithmique. La variation moyenne de la fréquence dépend essentiellement de l'âge et du sexe du locuteur, et aussi des variations chez le même locuteur, selon le type de la phrase prononcée, son attitude et l'état émotif lors de l'acte de la parole etc.

La fréquence fondamentale n'est calculée que sur des parties voisées de la parole, c'est-à-dire principalement pour les voyelles et aussi pour les consonnes voisées. Les sons non voisés sont associés à une fréquence fondamentale nulle [6].

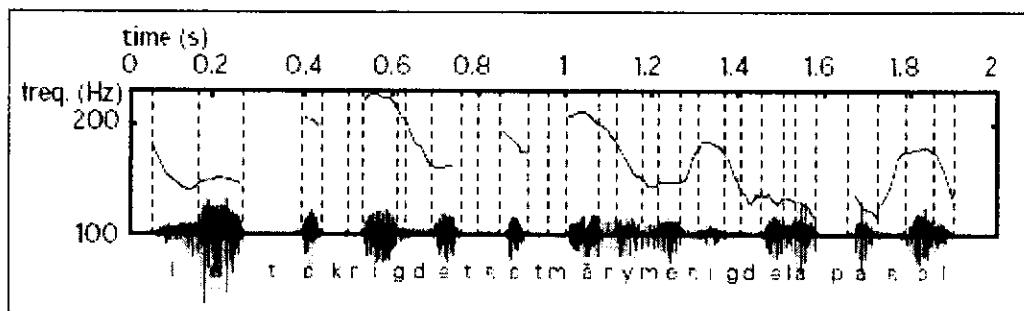


Figure 1.6 : Evolution de la fréquence du fondamentale de la phrase "Les techniques de traitement numérique de la parole", transcrite en API.

1.6.2. L'intensité

L'intensité est le paramètre le plus facile à calculer. Elle est liée à l'amplitude de la vibration acoustique ; c'est l'énergie du son. En d'autre terme, elle présente le volume sonore qui permet de distinguer un son fort d'un son faible. On dit qu'elle est proportionnelle à l'ouverture glottique.

L'énergie à court terme d'un signal échantillonné sur une fenêtre de longueur T $s(t)$, $t=1, \dots, T$ est définie par la formule (1.1) :

$$E_{cb} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T s_t^2 \right) \quad (1.1)$$

Pour éliminer la variabilité de ce paramètre, due en partie à des conditions d'enregistrement différentes : une simple variation de la distance entre locuteur et microphone suffit pour être source de perturbations de l'énergie.

1.6.3. La durée

La durée (ou quantité) d'un son est son extension dans le temps. C'est le paramètre le plus difficile à préciser car rien n'indique comment le système de contrôle de production ou de perception de la parole mesure le temps.

1.6.4. Formants

Les CV produisent l'énergie sonore. Lors de la phonation, certaines fréquences du son produit par les CV sont amplifiées par les cavités de résonances en fonction de la fréquence de résonance propre à chaque cavité. Les fréquences qui sont amplifiées sont celles qui sont voisines de la fréquence caractéristique de la cavité, les autres fréquences étant affaiblies. Celles qui sont renforcées s'appellent « formants ».

Les formants permettent de discriminer des voyelles ayant la même F_0 , amplitude, et la même durée.

1.7. Modèles de représentation du signal vocal

Le signal de la parole, à la sortie du microphone, est une courbe temporelle très complexe et très dense en informations pertinentes. L'axe des abscisses représente le temps (t). L'axe des ordonnées représente la fréquence $f(t)$.

1.7.1. Spectrogramme ou sonagramme

Il est souvent intéressant de représenter l'évolution temporelle du spectre à court terme d'un signal, sous la forme d'un spectrogramme. L'amplitude du spectre y apparaît sous la forme de niveaux de gris dans un diagramme en deux dimensions temps-fréquence.

On parle de spectrogramme à Bande Large (BL) ou à Bande Etroite (BE) selon la durée de la fenêtre de pondération. Les spectrogrammes à bande large sont obtenus avec des fenêtres de pondération de faible durée (typiquement 10 ms); ils mettent en évidence l'enveloppe spectrale du signal, et permettent par conséquent de visualiser l'évolution temporelle des formants. Les périodes voisées y apparaissent sous la forme de bandes verticales plus sombres (figure 1.7). Les spectrogrammes à BE sont moins utilisés. Ils mettent plutôt la structure fine du spectre en évidence : les harmoniques du signal dans les zones voisées y apparaissent sous la forme de bandes horizontales (figure 1.8).

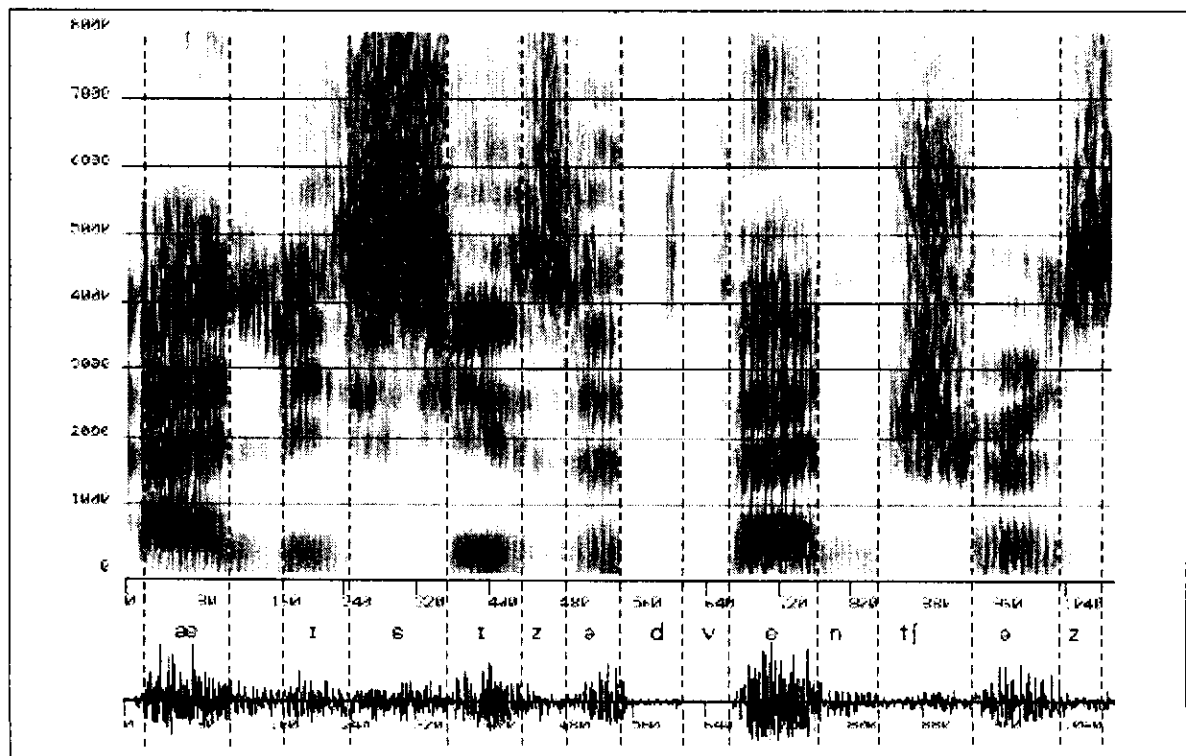


Figure 1.7 : Spectrogrammes à Large Bande, et évolution temporelle de la phrase anglaise 'Alice's adventures' transcrite en API, échantillonnée à 11.25 kHz

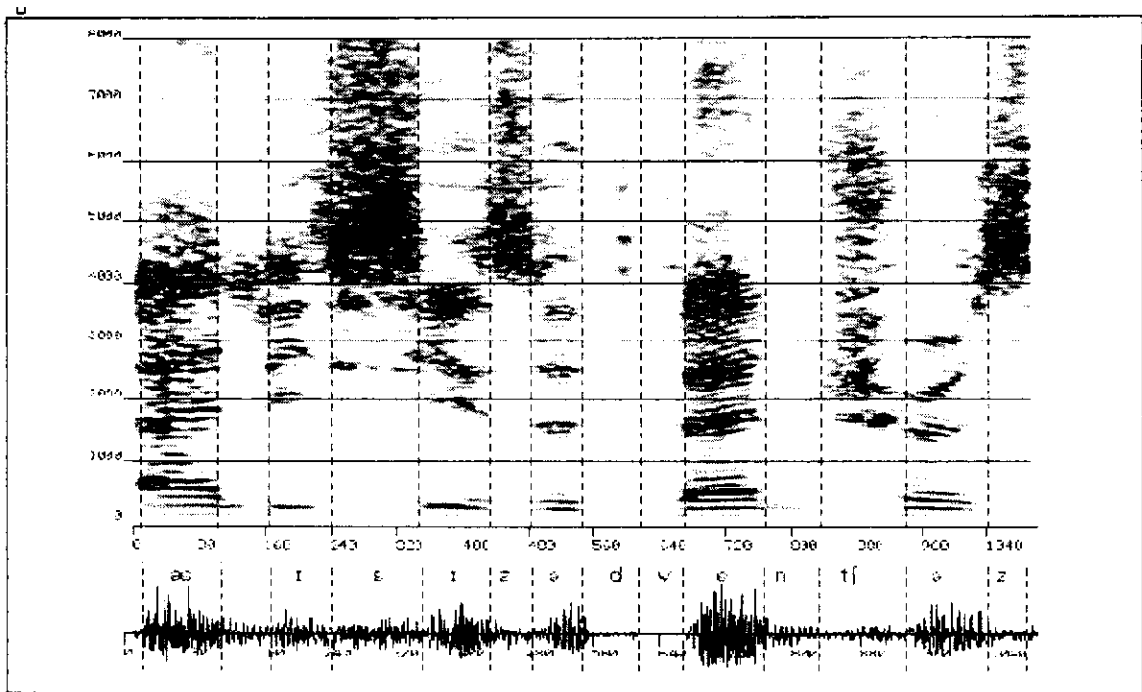


Figure1.8 : Spectrogrammes à Etroite Bande, et évolution temporelle de la phrase anglaise 'Alice's adventures' transcrite en API, échantillonnée à 11.25 kHz

1.7.2. Les unités acoustiques

Les unités acoustiques sont des unités utilisées lors de la segmentation, elles sont divisées en plusieurs types : phonèmes, syllabes, etc.

La *syllabe* se compose d'une attaque et d'une rime. La rime est constituée d'un noyau et d'une coda (figure 1.9). Attaque et coda sont facultatives et peuvent être formées d'une ou plusieurs consonnes, alors que le noyau est typiquement composé d'une voyelle. La durée syllabique peut être calculée à partir de celles de la voyelle. Elle peut également être calculée en effectuant la somme des durées des phonèmes qui composent la syllabe [7].

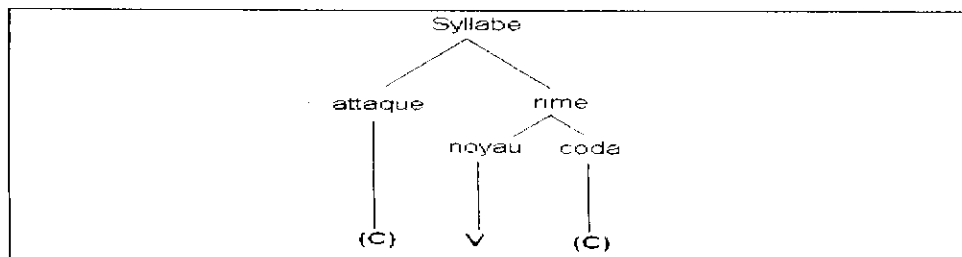


Figure1.9 : Schéma type d'une syllabe

Un *phonème* est la plus petite unité discrète ou distinctive que l'on puisse isoler dans la segmentation d'une chaîne parlée. C'est une entité abstraite, qui peut correspondre à plusieurs sons.

1.8. Les propriétés spécifiques du signal vocal

Le signal vocal a les propriétés spécifiques suivantes [8] :

- le langage oral est une suite **continue** des sons sans séparation entre les mots. Les silences correspondent en général à des pauses de respiration dont l'occurrence est aléatoire. Il peut très bien y avoir des intervalles de silences au milieu d'un mot et aucun intervalle entre deux mots successifs. Par conséquent, il est très difficile de déterminer le début et la fin des mots composants la phrase ;
- la parole présente une très grande **variabilité** dans le domaine temporel et fréquentiel. Ces variations peuvent se résumer en ces points suivants :
 - **la variabilité intra-locuteur**, pour la même personne le signal varie au cours du temps pendant l'élocution. Ces variations temporelles sont surtout prosodiques. Plusieurs critères peuvent être responsables de ces différences : La fatigue, l'état émotionnel du sujet (la peur affecte le timbre et le rythme de la voix) et les maladies affectent les organes de la voix ;
 - **la variabilité inter-locuteur**, l'une des principales causes de la variabilité du signal est la différence de l'élocution entre individus. En effet, pour un mot prononcé par un homme, une femme ou un enfant, nous avons en fait 3 signaux ayant des différences acoustiques importantes. Ainsi, d'autres contrastes considérables peuvent se manifester comme l'origine géographique et le lieu social ;
 - **la variabilité contextuelle**, les mouvements articulatoires peuvent être modifiés de façon à minimiser l'effort à produire pour les réaliser à partir d'une position articulatoire donnée, ou pour anticiper une position à venir. Ces effets sont connus sous le nom de réduction, d'assimilation, et de coarticulation ;
- **la coarticulation** ou l'influence des sons les uns sur les autres, est l'effet contextuel d'un son sur son voisin. La production, d'un son est fortement influencée par les sons qui les précèdent mais aussi par ceux qui les suivent en raison de l'anticipation du geste articulatoire.

Les phénomènes de coarticulation sont dûs au fait que chaque articulateur évolue de façon continue entre les positions articulatoires.

Ils apparaissent même dans le parlé le plus soigné. Au contraire, la réduction et l'assimilation prennent leur origine dans des contraintes physiologiques et sont sensibles au débit de la parole. L'assimilation est causée par le recouvrement de mouvement articulatoire et peut aller jusqu'à modifier un des traits phonétiques du phonème prononcé.

La réduction est due au fait que les cibles articulatoires sont moins atteintes dans le parlé rapide. Ces phénomènes sont en grande partie responsable de la complexité des traitements réalisés sur le signal de parole ;

- le signal de parole est très **redondant**. Son traitement automatique nécessite, de réduire au maximum cette redondance afin de diminuer l'encombrement en mémoire de limiter la durée du traitement, lequel doit se faire en temps réel.

1.9. Domaine d'études de la parole

La **phonétique** étudie les sons du langage dans leur réalisation concrète appelée '**phonème**', indépendamment de leurs fonctions linguistiques. Il s'agit donc du 'son', sans se soucier du sens.

La **phonétique articulatoire** est une branche de la phonétique. Elle étudie les mouvements des organes phonatoires lors de l'émission du message. C'est-à-dire comment un être humain fait pour produire tel ou tel phonème. Quels sont les organes qui sont utilisés ? Comment sont-ils disposés et comment parviennent-ils à articuler ce phonème ?

La **phonologie** est la science qui étudie les phonèmes du point de vue de leur fonction dans le système de communication linguistique. La phonologie étudie les éléments phoniques qui distinguent, dans une même langue, deux éléments de sens différents. Elle se différencie de la phonétique qui étudie les éléments phoniques indépendamment de leurs fonctions dans la communication.

Les principes de base de la théorie de la phonologie actuelle sont l'héritage de L.F Saussure : pour qui un phonème, c'est-à-dire la plus petite unité, n'avait de valeur que par opposition aux autres phonèmes [9].

On distingue habituellement 2 grands domaines de la phonologie :

La **phonématique**, qui étudie les unités distinctives minimales ou les phonèmes, en nombre limité dans chaque langue, les traits distinctifs ou traits pertinents qui opposent entre eux les différents phonèmes d'une langue.

La **prosodie**, qui étudie les traits suprasegmentaux, c'est-à-dire les éléments phoniques qui accompagnent la réalisation de deux ou plusieurs phonèmes et qui ont aussi une fonction distinctive : l'accent, le ton, l'intonation.

1.10. L'Alphabet Phonétique International ou API

L'alphabet Phonétique International est un alphabet universel utilisé pour la transcription phonétique des mots. Il permet d'indiquer la prononciation d'un mot, ce qui est utile lorsque celle-ci n'est pas évidente, ou lorsqu'il s'agit d'un mot étranger au lecteur. Cette transcription se note entre crochets droits.

Il a été initialement développé par des phonéticiens Britanniques et Français sous auspices de l'Association Phonétique Internationale, fondée à Paris en 1886 par Paul Passy (cette association et son alphabet sont plus connus sous le sigle API). La plupart des lettres sont empruntées à l'alphabet latin ou en dérivent. Certaines sont d'origine grecque, et quelques caractères sont sans rapport apparent avec les lettres ordinaires. Le principe général est d'employer un symbole unique pour chaque segment sonore de la parole, en évitant les combinaisons de lettres. Des signes diacritiques peuvent être combinés avec les symboles de l'API pour transcrire des valeurs phonétiques légèrement modifiées ou des articulateurs secondaires. Il existe également des symboles spéciaux pour noter des phonèmes suprasegmentaux, comme les tons mélodiques [9] (tableau 1.1).

Tableau 1.1 : L'Alphabet Phonétique International [10].

L'ALPHABET PHONETIQUE INTERNATIONAL																				
(revisé en 1993, corrigé en 1996)																				
CONSONNES (PULMONIQUES)																				
	Labiales		Labio-Dentales		Dentales Alvéolaires		Post-alvéolaires		Rétroflexes		Palatales		Vélaires		Uvulaires		Pharyngales		Glottales	
Explosives	p	b			t	d			ʈ	ɖ	c	ɟ	k	g	q	ɢ			ʔ	
Nasales		m		ɱ		n				ɳ		ɲ		ŋ		ɴ				
Fricatives						f														
Échappées de fricatives						f				ɸ										
Continues	ɸ	β	f	v	θ	ð	s	z	ʃ	ʒ	ʂ	ʐ	ç	ʝ	x	χ	ħ	ʕ	h	ɦ
Vibrantes latérales						l		ɭ												
Appui d'anche				ʋ		ɹ				ɻ		ɹ̥		ɰ						
Appui d'anche latérales						ɭ				ɻ̥		ɻ̥		ɰ̥						

1.11. Le système phonétique de l'Arabe Standard (AS)

L'Arabe Moderne ou l'Arabe Standard est la langue de communication commune à l'ensemble du monde arabe. Il s'agit de la langue enseignée dans les écoles, donc écrite, mais aussi parlée dans le cadre officiel. La langue Arabe appartient à la famille des langues sémitiques. L'étude de la grammaire arabe a commencé très tôt au milieu du 11^{ème} siècle de l'Hégire et a donné lieu à d'énormes productions, avant de connaître une période de stagnation qui a duré plusieurs siècles. Ces dernières années, elle connaît un regain d'intérêt, entre autres dans le domaine du Traitement Automatique de la Parole

1.11.1. Classification des sons de l'Arabe Standard

On distingue deux grandes catégories de sons en AS : les consonnes et les voyelles.

1.11.1.1. Les voyelles

L'articulation du son langagier est caractérisée par le libre écoulement de l'air expiré à travers le conduit vocal.

Le système vocalique de l'AS comporte :

- trois voyelles brèves ou courtes : [a] fatha, [u] damma et [i] kasra ;
- et trois voyelles longues correspondantes ou huruuf elmed : [aa],[uu] , et [ii].

1.11.1.2. Les semi-voyelles et les semi-consonnes

Ces phonèmes ont tout de même une obstruction qui les rapproche des consonnes, elles ont des structures formantiques similaires à celles des voyelles, c'est-à-dire l'air circule librement.

Les semi consonnes ou semi voyelles combinent certaines caractéristiques des voyelles et des consonnes. Comme les voyelles, leur position centrale est assez ouverte, mais le relâchement soudain de cette position produit une friction qui est typique des consonnes.

1.11.1.3. Les consonnes

Le son langagier impliquant une fermeture partielle ou total du canal buccal (passage d'air par la bouche). Les consonnes s'opposent aux voyelles par le fait que les voyelles sont relativement plus ouvertes que les consonnes.

On distingue deux types de consonnes :

- **les occlusives**, les phonèmes de cette classe se caractérisent par la fermeture du conduit vocal, fermeture précédant un brusque relâchement. Les occlusives sont donc constituées de trois parties successives, un silence ou implosion, correspondant à l'occlusion effective, une tenue et une explosion, au moment du relâchement.

Les occlusives peuvent être voisées ou sonores, à la manière des voyelles, ou sourdes, c'est-à-dire non voisées. Il existe deux types d'occlusives : *nasales* et *orales*. Les premières sont produites avec la participation de la cavité nasale, et les secondes sont produites avec le velum en position relevée, c'est-à-dire que l'air ne passe pas dans les fosses nasales ;

- les consonnes **fricatives** sont produites par la friction de l'air dans le conduit vocal lorsque celui-ci est rétréci au niveau des lèvres, des dents ou de la langue. Cette friction produit un bruit de hautes fréquences. Elle peut être voisée ou sourde.

1.11.2. Description des consonnes fricatives

Parmi les fricatives décrites ci-dessous, on trouve des articulations désignées comme sifflantes **ou** comme chuintantes [11].

La production d'une **sifflante** implique une forte tension linguale : un canal se creuse sur toute la longueur de la langue, et en particulier au point d'articulation, où l'air passe par une petite ouverture ronde.

Les **chuintantes** ressemblent aux sifflantes, mais le canal qui se creuse sur la langue est moins profond, et l'ouverture au point d'articulation est plus ovale. Les lèvres sont souvent arrondies ou projetées vers l'avant lors de la réalisation d'une chuintante (figure 1.10).

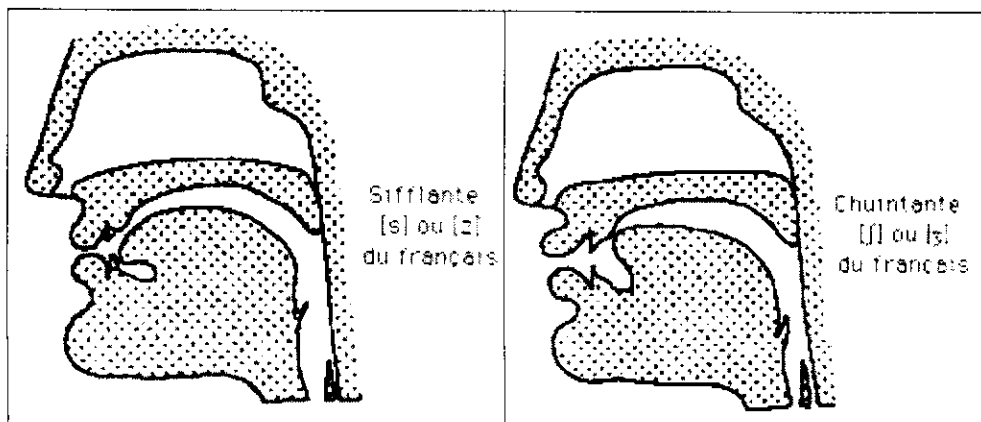


Figure 1.10 : Les points d'articulations des sifflantes et chuintantes françaises.

Les **fricatives labiodentales sourdes** [ف] ([ف] = [f] en API), la lèvre inférieure est rapprochée des dents du haut, et peut parfois les effleurer avec sa partie externe supérieure ou, parfois, avec sa partie interne, ce qui rend le son légèrement chuintant (figure 1.11).

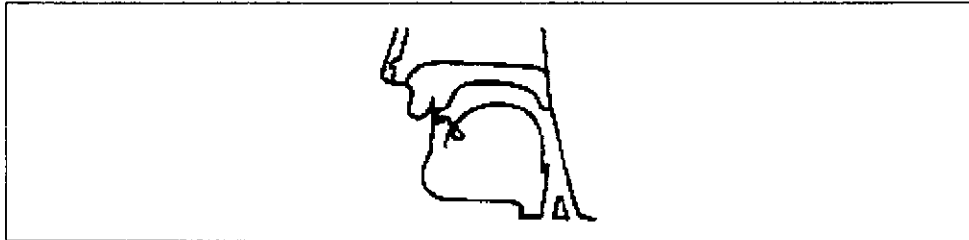


Figure 1.11 : Le point d'articulation d'une fricative labiodentale.

Les **sifflantes alvéolaires (fricative) sourdes** [س] ([س] = [S] en API) sont produites par le rapprochement de la pointe de la langue vers la région alvéolaire. On peut diviser cette variété de sifflantes en trois catégories, selon que le dessus de la langue (Anglais), son extrémité (Castillan) ou la partie antérieure de son dos (Français) entre en jeu ; la qualité du son en est sensiblement altérée, mais il n'existe pas de notation particulière pour marquer ces nuances dans l'alphabet phonétique de l'API. En ce qui concerne la forme de la langue, cette articulation suit les règles générales établies pour les sifflantes (figure 1.12).

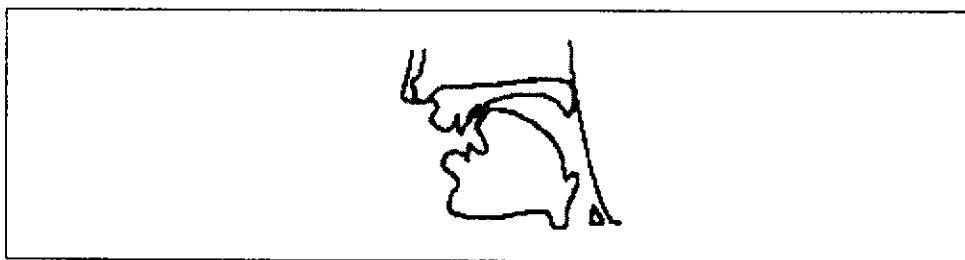


Figure 1.12 : Le point d'articulation d'une sifflante (fricative) alvéolaire.

Les **sifflantes alvéolaire (fricatives) sonores** [ز] ([ز] = [Z] en API), on a la même articulation que sifflantes alvéolaires sourdes, mais avec vibrations des cordes vocales.

Les **chuintantes alvéolaires (fricatives) sourdes** [ث] ([ث] = [θ] en API), où la langue prend appui contre les alvéoles, la forme de la langue est telle que décrite pour les chuintantes en général (figure 1.13).

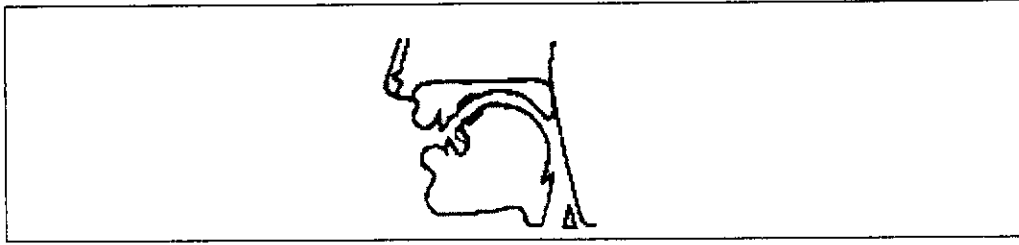


Figure 1.13 : Le point d'articulation d'une chuintante (fricative) alvéolaire.

Les **fricatives vélares sourdes** [خ] ([χ] = [x] en API), on a la partie postérieure du dos de la langue qui se rétracte fortement vers l'arrière et vers le haut, au niveau du voile du palais) (figure 1.14).

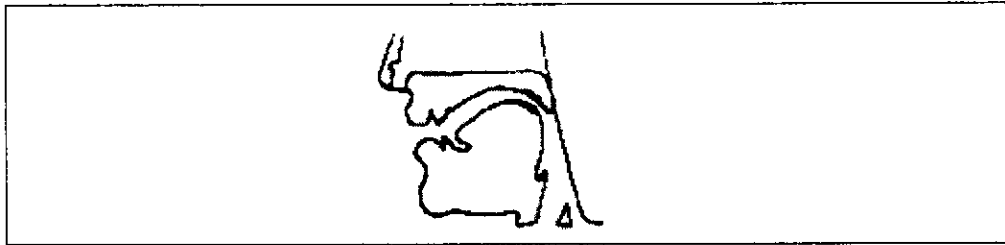


Figure 1.14 : Le point d'articulation d'une fricative vélaire.

Les **fricatives uvulaires sonores** [ع] ([ʕ] = [ʕ] en API), on a la partie postérieure du dos de la langue se rétracte très fortement vers le voile du palais, à proximité de la luette (figure 1.15).

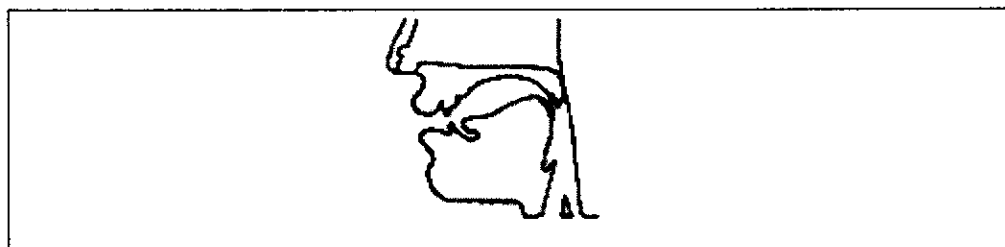


Figure 1.15 : Le point d'articulation d'une fricative uvulaire.

Les **fricatives pharyngales sourdes** [ح] ([ħ] = [ħ] en API), on a la racine de la langue est fortement repoussée vers l'arrière et se rapproche de la paroi postérieure du pharynx. Le passage de l'air est alors considérablement rétréci et on perçoit une forte friction. La tension articulaire est très forte (figure 1.16).

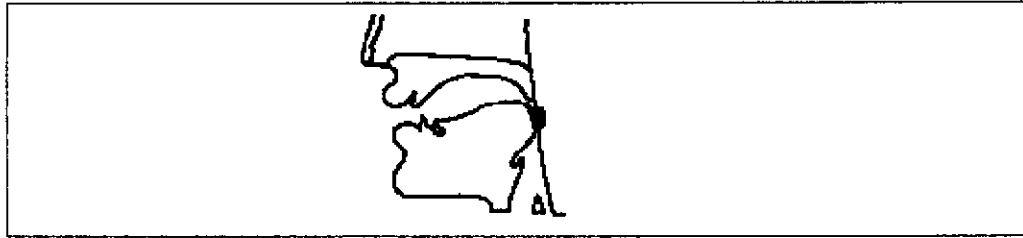


Figure 1.16: Le point d'articulation d'une fricative pharyngale.

Les **fricatives glottales sourdes**[ʔ] ([ʔ] = [h] en API), où la glotte est presque entièrement close, à l'exception d'une étroite ouverture dans sa partie supérieure au niveau des cartilages aryténoïdes. On perçoit une forte friction quand l'air s'écoule par ce canal (figure 1.17).

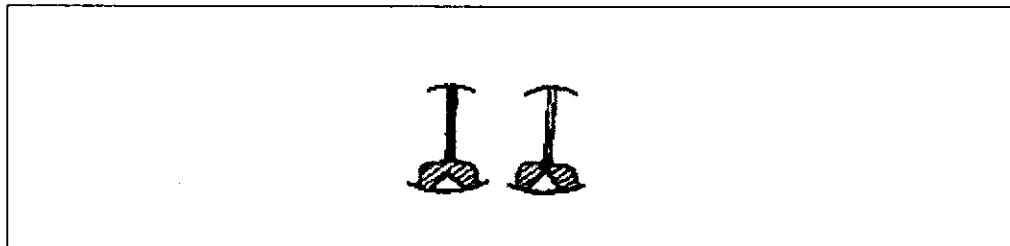


Figure 1.17: L'articulation d'une fricative glottale.

1.11.3. Transcription Orthographique Phonétique (TOP)

La TOP permet de représenter le texte tel qu'il sera prononcé par le système. La complexité de cette tâche varie selon la langue traitée. La transcription de l'Arabe ou de l'Espagnol est relativement directe par rapport à celle de la langue française qui présente de nombreuses ambiguïtés de prononciation que seul le contexte syntaxique permet de lever. L'approche utilisée pour la transcription des différentes langues est de type Système Expert, hormis la langue anglaise pour laquelle une approche par l'analogie est appliquée. Le tableau 1.2 donne la TOP des différentes consonnes de l'AS.

Tableau 1.2 : Transcription Orthographique et Phonétique des consonnes fricatives de l'Arabe Standard [12].

Mode	Type de phonème		Phonèmes Arabes	Transcription Arabisante	Lieux d'articulation
Fricatives	Voisées		س	z	sifflante
			ذ	d	dorsoalvéolaire
	Non-Voisées		خ	g	interdentale
			ع	'	uvulaire pharyngale
Fricatives	Non-Voisées		ث	s	sifflante dentale
			ت	t	interdentale
			ف	f	labiodentale
			ش	ʃ	chuintante palatale
Fricatives	Non-Voisées		ه	h	vélaire
			ح	h	glottale
			ح	h	pharyngale
	Voisée	Emphatiques	ظ	ʒ	dorsoalvéodentale
Non-Voisée	ظ		d	interdentale	

1.11.4. Structure du langage Arabe en succession phonétique

Dans un besoin d'analyser toutes les occurrences d'un phonème et de cerner tous les cas de composition phonétique, le langage arabe obéit à une structure phonétique minimale, car les autres structures complexes ne sont que la concaténation de ces formes de base, comme définit dans le tableau 1. 3.

Tableau 1.3 : Structure du langage Arabe en succession phonétique [9]

Structure syllabique	Correspondance
[CV]	Consonne – Voyelle courte
[CVV]	Consonne – Voyelle longue
[CVC]	Consonne – Voyelle courte - Consonne
[CVVC]	Consonne – Voyelle longue – Consonne
[CVCC]	Consonne – Voyelle courte - Consonne - Consonne

1.12. Reconnaissance de la parole

Il y a quelques années, la recherche en Reconnaissance Automatique de la Parole (RAP) était considérée par le grand public comme un aimable passe-temps où l'on ne se préoccupait que de problèmes sans fondement réel. Aujourd'hui les temps ont changé, l'honnête homme est tout de même troublé par les performances des systèmes de reconnaissance actuels ayant quelques difficultés à réaliser correctement quelque chose d'aussi trivial que de reconnaître sa voix, à l'heure où l'informatique triomphe dans les calculs sur des milliards de données avec des résultats spectaculaires. S'il reste en effet un domaine où la réalité a du mal à dépasser la fiction, celui-ci risque fort d'être la Reconnaissance Automatique de la Parole [11].

1.12.1. Les applications réalisées en RAP

Les applications réalisées en RAP s'articulent actuellement autour de deux grandes tendances :

- **les systèmes à commandes vocales** : le système doit reconnaître des mots isolés qui sont interprétés comme des commandes élémentaires. Il est recommandé de choisir un vocabulaire composé de mots suffisamment contrastés au niveau phonétique pour réduire les risques d'ambiguïté ;
- **les systèmes de compréhension** : l'utilisateur peut poser une question plus complexe en utilisant des mots clés dans une phrase. On doit adjoindre au système un module de compréhension pour donner un sens à la commande afin de fournir une réponse. La syntaxe de la phrase est généralement très rigide et le mode d'élocution contraint ;
- **les systèmes de dictée vocale** : à l'inverse des systèmes précédents, le vocabulaire peut être de l'ordre de 20.000 à 50.000 mots et plus, la syntaxe étant celle du Langage Naturel. Ces systèmes sont très souvent dépendants du locuteur.

1.12.2. Différentes méthodes de la RAP

Le problème de la RAP peut être résolu par deux approches différentes : l'approche globale et l'analytique :

- dans l'approche **globale**, l'unité de base sera le plus souvent le **mot** considéré comme une entité globale, c'est-à-dire non décomposée. L'idée de cette méthode est de donner au système une image **acoustique** de chacun des mots qu'il devra identifier

par la suite. Cette opération est faite lors de la phase d'apprentissage, où chacun des mots est prononcé une ou plusieurs fois. Cette méthode a pour avantage d'éviter les effets de coarticulation, c'est-à-dire l'influence réciproque des sons à l'intérieur des mots. Elle est cependant limitée aux petits vocabulaires prononcés par un nombre restreint de locuteurs.

- l'approche **analytique**, qui tire parti de la structure **linguistique** des mots, tente de détecter et d'identifier les composantes élémentaires (phonèmes, syllabes, etc.). Celles-ci sont les unités de base à reconnaître. Cette approche a un caractère plus général que la précédente : pour reconnaître de grands vocabulaires, il suffit d'enregistrer dans la mémoire de la machine les principales caractéristiques des unités de base [13].

1.12.3. Principaux problèmes à résoudre et défis à relever en RAP

Il existe plusieurs problèmes à résoudre, nous avons choisi les plus intéressants [14] :

- le *mode d'élocution* : le discours continu (langage naturel) est beaucoup plus complexe à modéliser que le discours isolé (pause après chaque mot) ;
- la *dépendance au locuteur* : les systèmes multilocuteurs qui sont indépendants du locuteur sont beaucoup plus complexes à modéliser que les systèmes monolocuteurs qui nécessitent un apprentissage préalable ;
- l'*adaptation* : les systèmes les plus récents sont fondés sur la reconnaissance d'unités plus petites que le mot, correspondant le plus souvent à ce qu'on appelle un *triphone*, qui représente la forme acoustique d'un phonème dans le contexte de ses phonèmes voisins immédiats. Il est alors demandé à tout nouvel utilisateur de prononcer un ensemble de phrases comportant l'ensemble des phonèmes d'une langue, afin d'*adapter* les références à sa voix. Le défi est de réduire au maximum la durée d'une telle adaptation, et même d'éliminer la nécessité d'une phase d'adaptation *préalable* pour permettre d'obtenir des performances satisfaisantes dès la première utilisation ;
- la *taille du vocabulaire* reconnu : on vise le plus grand nombre de mots mais, dans ce cas, il y a plus de risques d'erreurs d'identification et le temps de traitement est plus long. Un vocabulaire volumineux est constitué de milliers de mots, un moyen de centaines et un petit de dizaines de mots ;

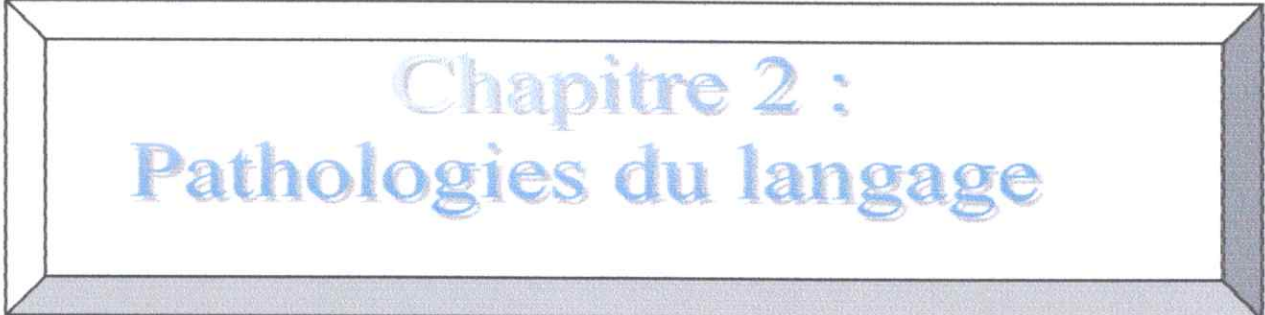

- le *bruit* d'environnant : son filtrage est essentiel mais difficile à faire pour une machine ;
- les *types de locuteurs* : prononciations différentes d'un seul ou de plusieurs locuteurs ;
- les *ambiguïtés sur les homonymes* : nécessité de reconnaître les contextes, par la syntaxe et/ou la sémantique, pour différencier des syllabes identiques ayant des prononciations différentes (exemple : les poules du *couvent couvent*).

1.13. Conclusion

L'étude du Traitement automatique de la Parole et de la langue nécessite un pré requis dans différents domaines.

À travers ce chapitre, nous avons essayé d'introduire quelques notions sur la parole telle que la description physiologique (le système vocal humain et auditif), puis les principales propriétés spécifiques du signal vocal, ainsi que la structure phonétique de l'Arabe Standard.

Dans le chapitre suivant nous allons introduire un état de l'art sur l'orthophonie, le développement normal du langage chez l'enfant et les pathologies du langage oral et écrit.



Chapitre 2 : Pathologies du langage

2.1. Introduction

Le langage, principal vecteur de la communication inter-humaine, est aussi un support de la pensée, en rapport avec les processus de symbolisation. Les messages qu'il véhicule ne sont pas seulement des informations ou des demandes : le langage sert aussi à communiquer des sentiments, des impressions, des angoisses. Il prend ainsi une part essentielle dans les relations de l'enfant avec autrui, et est intimement lié au développement et à la structuration du fonctionnement psychique, dans son ensemble.

Nous présentons dans ce chapitre un exposé sur les troubles du langage oral et écrit.

2.1. Définitions

Il est convenu d'entendre par **trouble** un syndrome de désorganisation d'une fonction, liée à un défaut structurel dans l'apparition, l'installation d'un ou de plusieurs éléments constitutifs du langage. Par exemple, on pourrait assurer qu'il existe une véritable dysharmonie chronologique entre les différentes compétences élémentaires nécessaires à la genèse du langage.

Le trouble est par nature durable dans le temps, résistant pour une partie aux remédiations, divers dans ses formes et dans les signes associés, variable par sa gravité et par les incapacités générées. Il se distingue d'un retard du langage par les délais de récupération, par les conséquences occasionnées et souvent par l'inexistence de signe associé.

Le **langage** est « la fonction qui permet d'exprimer et de percevoir des états affectifs, des concepts, des idées au moyen de signes ».

Fonctions du Langage : On reconnaît au langage plusieurs fonctions :

- instrumentale (visant à la satisfaction d'un besoin ou d'une demande exemple : "Je veux ceci.") ;
- régulateur (visant le contrôle du comportement d'autrui exemple : "Fais ceci.") ;
- interactive (ex. : réponse à des salutations) ;
- personnelle (visant à l'expression de soi : opinions, sentiments) ;
- informative (échange d'informations d'un locuteur à un autre).

La **langue** est un système de code propre à une communauté.

La **parole** est la production de significations sous forme de sons articulés.

Les linguistes différencient quatre composantes du langage :

- la **phonétique** : c'est le niveau concernant les sons du langage ou phonèmes ;
- la **sémantique** : c'est ce qui concerne les mots (lexique) et leur signification;
- la **syntaxe** : règles d'associations des éléments du langage entre eux ;
- la **pragmatique** : étude des actes de parole en situation (prise de parole, échange conversationnel, etc.).

2.2. Le développement normal du langage chez l'enfant

Le nourrisson est capable d'une perception auditive élaborée de la parole. À quatre mois, le nourrisson est capable de discriminer les syllabes à faible contraste phonétique comme [pa] / [ba]. On admet que l'être humain a une aptitude innée et universelle à percevoir dès la naissance les contrastes phonétiques, mais ces aptitudes vont progressivement se restreindre pour ne concerner que les phonèmes de la langue maternelle (vers 10-12 mois). Le nourrisson est aussi capable d'identifier les mots dans le flot de paroles. Il exploite les marqueurs prosodiques : l'intonation de la voix, le visage de l'adulte (locuteur), la forme de la bouche lors de la prononciation des phonèmes ou des syllabes.

Pendant toute la période préscolaire, le jeune enfant va apprendre à articuler les mots de la langue maternelle, parallèlement à la maturation des organes phonateurs, du contrôle respiratoire de la phonation et à la sélection d'un répertoire de phonèmes. L'articulation des consonnes [m], [p], [b] est acquise vers 3 ans, 3 ans et demi, puis les autres : [d], [t], [n]... vers 4 ans, 4 ans et demi. Vers 6, 7 ans, l'enfant maîtrise l'ensemble du tableau articulatoire en particulier [z], [s].

Dans le plan Chronologique [15] :

- **vers 1 an** : l'enfant comprend 50 mots environ, mais n'en prononce que quelques uns ;
- **vers 2 ans** : début d'une syntaxe ordonnée avec sujet, verbe et apparition du moi ;
- **vers 3 ans** : acquisition du "je" et des pronoms tu, il, des articles définis (le, la, ...) ; des prépositions (à, dans, sur, ...), une activité verbale « libre », où l'enfant continue d'utiliser une « grammaire » autonome ;
- **vers 3 ans et demi** : il comprend des phrases telles que " le cheval blanc renverse la barrière jaune ", mais pas les tournures passives " la barrière jaune est renversée par le cheval " ;

- **vers 4 ans** : il comprend les formes indirectes de requête, les allusions ;
- **vers 5 ans** : il comprend des situations non familières ;
- **vers 6 ans** l'enfant est en général prêt pour l'apprentissage du **langage écrit** : la lecture est normalement acquise en une année scolaire, elle continuera de progresser par la suite (rapidité, automatisation).

Il faut insister sur l'importance de la communication et de la relation mère-enfant qui s'instaure dès la naissance. La qualité de cette interaction conditionne directement l'acquisition du langage oral.

2.3. Le métier d'orthophoniste

Tout d'abord, il faut savoir que le logopède est aussi appelé orthophoniste.

Si le mot " orthophonie " apparaît en France dès 1828 avec la création de l'Institut Orthophonique de Paris par le Docteur M. Colombat, les premières attestations d'études d'orthophonie ne sont délivrées qu'en 1955 à la suite des initiatives de Madame S. Borel-Maisonny, fondatrice de cet enseignement en France.

Le diplôme national du Certificat de Capacité d'Orthophonie ne date quant à lui que de la loi du 10 juillet 1964. Depuis cette date, les orthophonistes figurent, au même titre que les six autres professions d'auxiliaires médicaux, au Livre IV du code de la Santé Publique.

L'orthophoniste est un rééducateur et/ou un thérapeute des troubles de la communication. Il est le professionnel de santé qui assure la prévention, l'évaluation, le traitement et l'étude scientifique des déficiences et des troubles de la communication humaine et de leurs troubles associés.

Dans ce contexte, l'orthophonie concerne toutes les fonctions associées à la compréhension, à la réalisation et à l'expression du langage oral et écrit, ainsi que toutes les autres formes de communication non verbale. Les déficiences et les troubles traités concernent autant la parole et le langage, que la voix, les fonctions auditives, visuelles (dans une moindre mesure), cognitives - incluant l'apprentissage de ces fonctions -, et les habiletés oro-myo-fonctionnelles. Il s'agit soit de troubles isolés, soit de troubles complexes (imbrication de plusieurs troubles de la communication ou suite des syndromes et des handicaps divers).

Les actes d'orthophonie ont pour objet de rétablir les capacités fonctionnelles de la communication, ainsi que de concourir à leur développement ou à leur maintien, de prévenir toute altération ou d'y suppléer.

Dans ce but, l'orthophoniste choisit les actes et les techniques qui lui paraissent les plus appropriés à la pathologie et à l'individualité du patient.

A partir d'épreuves spécifiques et d'une observation clinique, l'orthophoniste réalise une évaluation, un diagnostic orthophonique de l'état de toutes les fonctions et de tous les aspects liés aux altérations et aux compétences de communication du patient, à tous les âges de la vie, en tenant compte de ses besoins, et des caractéristiques de son environnement psycho-social, culturel et économique [15].

2.3.1. Rééducateur de la parole et du langage

Les difficultés et troubles de la réception et de la production de la communication sur lesquelles peut intervenir l'orthophoniste sont d'ordres très divers [15] :

- troubles et retards du langage oral, surtout chez l'enfant ;
- troubles du langage écrit, dyslexie, dysorthographe, dyscalculie, dysgraphie ;
- troubles de la phonation, chez l'adulte comme chez l'enfant ;
- troubles liés aux maladies dégénératives, aux atteintes neurologiques ;
- accompagnement des personnes handicapées ;
- troubles de la parole chez les personnes âgées ;
- prise en charge des personnes atteintes de surdité ;
- restauration vocale après laryngectomie.

La première consultation chez un orthophoniste commence toujours par la réalisation d'un bilan orthophonique, sur prescription médicale. Il s'agit d'un état global qui permet de dresser le tableau de toutes les fonctions préservées et altérées dans la communication du patient, d'aborder ses difficultés, et de mettre en place les bases d'un " contrat thérapeutique " qui servira de trame à une éventuelle rééducation.

Chez un enfant, on va ainsi tester où en est l'élaboration du langage, la construction de la parole, la capacité à communiquer. On pourra lui faire passer des épreuves de rythme, évaluer son orientation dans l'espace, on jugera de sa capacité à raconter une histoire qu'il vient d'entendre, on estimera son niveau de langage en regard des normes établies pour son âge. A chaque âge et à chaque pathologie

correspondent différents tests, plus ou moins étalonnés. Notons cependant que la notion de norme est toute relative, et que les bilans, comme les rééducations, doivent avant tout être adaptés à la personnalité et au niveau réel du patient [15].

L'**examen initial** doit systématiquement :

- évaluer le contexte relationnel ;
- rechercher l'existence :
 - d'une **surdité** ou hypoacousie, une perte auditive partielle bilatérale portant sur certaines fréquences correspondant aux sons du langage, pouvant perturber son acquisition (exemple : otites à répétitions ou chroniques, séquelles de prématurité) ;
 - des **troubles associés** :
 - ✓ troubles émotionnels et affectifs ;
 - ✓ retard mental global : le niveau d'acquisition du langage dépend de l'ensemble du développement psychomoteur et cognitif ;
 - ✓ autisme et psychoses (les troubles du langage associés seront décrits dans ces affections).

Une fois la nature des troubles identifiée, l'orthophoniste débute une première série de séances de rééducation. Ces séances, qui durent trente ou quarante-cinq minutes selon les pathologies, sont renouvelées ensuite, si besoin, sur prescription médicale.

2.4. Classification des troubles du langage

La classification et la dénomination des différents types de troubles du développement du langage ne font pas encore l'objet d'un accord unanime [15] :

- la **Classification Internationale de l'OMS**, distingue le *trouble spécifique de l'articulation*, le *trouble du langage de type expressif*, et celui *du langage de type réceptif* ;
- la **Classification Américaine (DSM-IV)** distingue le *trouble du langage de type expressif*, celui *du langage de type mixte, réceptif/expressif* ;
- la **Classification Française des Troubles Mentaux de l'Enfant et de l'Adolescent (CFTMEA)** distingue le *retard de langage*, le *trouble isolé de l'articulation* et les *troubles complexes du langage oral*.

2.4. Les troubles du langage

On a deux types de troubles du langage : oral et écrit.

2.4.1. Les troubles du langage oral

Le trouble de la parole peut comprendre la difficulté à produire des phonèmes, à maintenir le rythme de la parole ou à contrôler la fonction vocale. Les causes peuvent être fonctionnelles (pauvres modèles d'élocution).

Pour toutes ces difficultés, on devrait faire appel à un orthophoniste aux fins d'évaluation et de correction.

Nous pouvons citer les différents troubles du langage oral [16].

2.4.1.1. Les troubles d'articulation

Les troubles d'articulation sont les plus petits ; cependant, ils peuvent parfois avoir des retentissements importants pour ceux qui en sont atteints, voire empêcher l'adulte d'accéder à certains métiers où la parole et le langage sont importants. C'est souvent aussi sous cette dénomination que sont classés des troubles plus importants, pour lesquels de nombreux parents sont amenés à consulter l'orthophoniste.

Quels sont donc ces petits troubles ?

Un trouble d'articulation est une erreur systématique portant sur un son, toujours le même :

- soit le son est remplacé par un autre son (par exemple : [t] pour [k], et l'enfant prononcera [chotolat]); dans ce cas, l'enfant ne peut produire ce son, ou phonème, car il lui est impossible de mobiliser et de positionner correctement les organes phonateurs en jeu (langue et lèvres principalement) ;
- soit le son en question n'est pas prononcé du tout, il est oublié dans tous les mots qui le contiennent (par exemple le son [r], ce qui va donner [pati], pour partir, [voitu] pour voiture, etc.

Ces erreurs d'articulation peuvent atteindre pratiquement tous les sons de la langue, avec des sons atteints d'une manière privilégiée.

Cette erreur de mouvement génère un son inexact, qui se substitue à la prononciation correcte d'une voyelle ou d'une consonne. Ce défaut de prononciation peut engendrer des troubles tels que :

- **le chuintement** : est la prononciation du [s] et du [z] à la manière du [ʃ] et du [ʒ] Français.

Exemple :

- J'ai pris l'autobus jusqu'à la gare Saint-Lazare.
- J'ai pris l'autobuch juchqu'à la gare Chaint-Lajare.
- **le zézaïement ou blésement** : est un défaut de prononciation qui consiste en la substitution de [ʃ] (une consonne chuintante) par [s] (une sifflante) et de [g] ou [ʒ] (Consonnes chuintantes) par [z] (sifflante).

Ces troubles d'articulation peuvent être associés ou non à une immaturité psycho-affective. L'enfant qui refuse de grandir, ou que les parents maintiennent, involontairement ou inconsciemment, dans un état de dépendance comme celui d'un bébé.

La durée de ces rééducations dépendra du trouble lui-même, de ses causes, et de la motivation de l'enfant à s'en débarrasser ; généralement, cela demande entre dix et vingt séances.

2.4.1.2. Le retard de la parole

En orthophonie, le terme de « parole » va renvoyer à la structuration du mot dans la langue, et non plus à celle du son ou phonème.

Dans les retards de la parole, il s'agira donc d'une altération du mot entier, mais cela dans un langage bien organisé du point de vue syntaxique ou grammatical (construction correcte des phrases).

Dans ce trouble, nous trouverons, principalement :

- des inversions de syllabes entières : [valabo] pour lavabo, ou des inversions de sons : [hebre] pour herbe, [boska] pour boxe ;
- de désolément : [labre] pour l'arbre, [la voitu] pour la voiture ;
- des simplifications phonétiques dans les mots (élisions de sons et de syllabes simplifient la structure du mot : [pastac] pour spectacle, [titution] pour constitution ; des permutation dans le mot, etc.

Ce sont des véritables distorsions pouvant affecter tous les mots de la langue, sauf les plus simples, et qui peuvent, dans les cas les plus graves, rendre la parole inintelligible, alors que la mélodie du langage et syntaxe sont préservées.

Des troubles d'articulation sont souvent associés au retard de la parole.

Le concept de « retard de parole » en orthophonie n'évoque en aucun cas un simple retard d'ordre chronologique dans l'apparition de la langue ; il s'agit au

contraire d'une véritable pathologie de la communication, puisqu'un important retard de la parole chez un enfant par ailleurs vif et intelligent, peut rendre sa communication totalement incompréhensible, et seuls ses proches et surtout sa mère, pourront le comprendre. A l'origine des retards de la parole, on peut trouver aussi bien des causes fondamentales ou instrumentales (problèmes de perception auditive, mauvaise structuration de la perception du temps et de la chronologie des sons, difficultés motrices diverses, attention auditive labiale, mémoire immédiate perturbée ou peu fiable), que des raisons psycho-affectives, avec immaturité psychologique, refus ou impossibilité de grandir psychologiquement, et d'acquérir son autonomie...

2.4.2.3. Les retards de langage

Le retard de langage est un concept bien défini en orthophonie, ou le retard chronologique d'apparition du langage a peu d'importance, bien qu'il soit le signe d'un développement qui pose problème.

Chez les enfants atteints de retards de langage, on pourra retrouver très souvent, en plus, des troubles d'articulation ainsi qu'un retard de la parole; cependant, on se situe cette fois au niveau de la constitution de la phrase, de la construction grammaticale.

En effet, il s'agira en l'espèce de perturbation des possibilités de construction de la phrase (pour simplifier de la grammaire et de la syntaxe / respect de l'ordre sujet- verbe - complément / accord des verbes avec le sujet : /les enfants i parti/), et la production linguistique des enfants affectés de ce trouble montrent un langage inorganisé, non structuré, ou la grammaire n'est pas respectée :

- absence totale de phrases ;
- mots simplement juxtaposés les uns a côté des autres ;

/papa voitu / qui signifie « papa est parti en voiture ».

- verbe non conjugué toujours laissé à l'infinitif, langue sans grammaire, mauvais ou non emploi des pronoms personnels (je, tu, il, etc.), des petits mots de la grammaire (article : le, la, des, etc.), et des prépositions (dans, sur, chez, etc.).

Les retards de langue peuvent aller du seul emploi de mots-phrases ou mots-valises (un mot simplifié qui peut signifier toute une phrase (par exemple [pati] qui veut dire « je veux partir ») jusqu'au jargon (langage reconnu par lui seul) le plus incompréhensible, même parfois par l'entourage.

Un retard de langage comporte souvent aussi des troubles de la compréhension de certaines notions telles que le temps et l'espace, où tout ce qui n'est pas correct et immédiat est mal compris.

Les retards de langage, on le voit, peuvent avoir des incidences importantes sur la socialisation et la scolarisation d'un enfant, sur les relations avec autrui, et peuvent représenter un véritable handicap de communication. Ils ne sont donc pas à prendre à la légère, et parfois la rééducation peut durer assez longtemps (plus d'un ou deux ans).

2.4.1.4. Les dysphasies

Concept plus récent dans son acception précise, et concept « en vogue » en ces années 90, il s'agit de formes de retards de parole et/ou de langage beaucoup plus graves et dont l'évolution n'est guère favorable à l'issue d'une première thérapeutique classique.

Le langage de ces enfants est totalement désorganisé dans sa réalisation phonétique et phonologique (peu de sons bien reproduits et bien combinés entre eux), dans sa construction syntaxique et grammaticale (ils accèdent très difficilement à la construction simple : sujet-verbe-complément d'objet : par exemple, /maman prépare le repas/).

De plus, les troubles de la compréhension verbale sont prédominants, alors qu'ils sont beaucoup moins présents dans les retards de parole et de langage.

Les prises en charge de ces enfants, souvent pluridisciplinaires (psychologue ou psychiatre d'enfants, psychomotricien, orthophoniste) sont plus longues que dans les pathologies moins lourdes des retards de parole et de langage, et le pronostic est souvent plus réservé.

2.4.1.5. Les bégaiements

C'est le plus connu des troubles du langage oral, à cause de sa connotation comique et son utilisation comme celle dans la littérature, au théâtre et au cinéma.

Il s'agit d'un trouble où le rythme de la parole est perturbé, empêché avec des **blocages toniques** (du tonus musculaire des organes de la parole, blocages des CV, crispation des mâchoires et des lèvres, par exemple) et des explosions fortes de consonne ou de voyelles en début de mot ou rhème (début de phrases ou de section de phrases), ou avec des répétitions dites **cloniques** (un clonus est une espèce de tremblement d'un muscle) de certaines syllabes des mots; parfois on trouve ces deux

types de troubles réunis chez la même personne bègue : on qualifie alors le bégaiement de **tonico-clonique**. Les théories d'exploitation du bégaiement sont aussi nombreuses que ceux qui les ont formulées ou inventées, ou presque !

Cela va du trouble dont la cause serait uniquement fonctionnelle (trouble du tonus musculaire, mauvais mode respiratoire avec peu d'utilisation de l'air expiré nécessaire à la parole, mauvaises structuration et perception du rythme et de la prosodie ou mélodie de la phrase), à l'exploitation la plus psychologique, renvoyant à la problématique psychologique infantile du sujet bègue.

Ce qui est sûr, c'est qu'il y a autant de bégaiement que de bégues, et que souvent les bégaiements se sont structurés sur des retards de la parole et /ou de langage, que les bégues ont des problèmes relationnels importants, et on le comprend aisément, que ces problèmes psychologiques soient antérieurs à l'apparition du bégaiement ou sa conséquence.

La rééducation de ce trouble sera parfois très difficile, et il ne sera pas rare d'avoir recours à l'orthophonie en même temps qu'à la psychologie ou à la psychiatrie. Lorsque le bégaiement est repéré tôt, il convient de conseiller et de guider la famille par des conseils appropriés, pour éviter que le bégaiement soit augmenté par des conduites éducatives maladroites.

Les techniques de groupes sont souvent utilisées, et la dimension psychologique doit toujours être prise en compte par les thérapeutes.

2.4.1.6. L'aphasie

Le mot «aphasie» vient du grec et signifie «perte de la parole». L'aphasie est plus précisément, une perte de l'usage normal du langage parlé, souvent accompagnée de perturbations de la compréhension, de la lecture et/ou de l'écriture. Certains patients ne manifestent que de légères incertitudes, pour trouver leurs mots par exemple, alors que d'autres ont presque totalement perdu la faculté de s'exprimer par le langage, de comprendre ce qu'on leur dit, de lire et/ou d'écrire.

Dans ce dernier cas, les facultés, comme la mémoire ou l'orientation, sont préservées. L'aphasie est généralement le fait de lésions vasculaires, ou de traumatismes crâniens. Nous nous intéressons qu'à l'aphasie de **Broca** au débit réduit ou ralenti. Elle se caractérise par une expression perturbée, des mots déformés et une compréhension normale sauf pour les phrases longues et complexes. Ce type d'aphasie se manifeste

généralement lors d'une hémiplegie droite (paralysie atteignant la moitié droite du corps), dans laquelle l'aire de Broca (zone du cerveau) est atteinte [17].

2.4.2. Les troubles du langage écrit

Notre propos est d'évoquer les diverses pathologies du langage écrit, telles qu'elles sont définies actuellement, en les différenciant bien des retards ou échecs scolaires dont sont victimes de nombreux enfants aujourd'hui.

Les premiers troubles d'apprentissage de la lecture, les premières pertes de la capacité de lire est d'origine médicale, ont été bien observés et décrits par des neurologues vers le milieu du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle, en même temps que la médecine du cerveau commençait à progresser. Toutefois, du fait que l'école n'était devenue que tardivement obligatoire par la loi de la république, les difficultés rencontrées par certains enfants dans les processus d'apprentissage n'apparaissaient pas au début comme une priorité pédagogique. Les premiers grands psychologues du siècle ont donc ouvert des voies de recherche, en observant les enfants. Qui étaient en échec dans le domaine scolaire.

Certains contestent la valeur proprement pathologique de ces troubles du langage écrit; ils avancent des explications purement pédagogiques ou psychologiques de ces difficultés particulières.

Essayons dans un premier temps de les définir par défaut, afin de clarifier la situation :

- ce n'est pas de l'analphabétisme (incapacité de lire-écrire pour celui qui n'a jamais été scolarisé) ;
- ce n'est pas de l'illettrisme (incapacité totale ou partielle de lire-écrire-compter pour la personne adulte qui, bien qu'ayant été scolarisée, a perdu petit à petit ses capacités antérieures de lecture, malheureusement souvent réduites du fait d'une scolarisation perturbée) ;
- ce n'est pas un simple retard d'acquisition scolaire (problème de pédagogie non adaptée à tel enfant, ou enfant perturbé psychologiquement n'étant pas en situation suffisamment stimulante et motivante pour apprendre) ;
- ils ne sont pas liés à un déficit intellectuel ou mental ;
- ils ne sont pas liés à un déficit sensoriel (surdité principalement) ;

- et nombreux sont ceux qui pensent qu'ils ne sont pas liés à une méthode particulière d'apprentissage de la lecture ; il est cependant observé qu'un enfant intelligent, qui possède de bonnes capacités de mémoire, va compenser pendant un certain temps son trouble ou sa difficulté d'apprentissage [17].

Nous allons par la suite voir les différents troubles de langage écrit.

2.4.2.1. La dyslexie

C'est l'incapacité ou du moins la difficulté particulière d'acquisition de la langue écrite, ici la lecture, selon son aspect de décodage (reconnaissance des lettres et des sons qui y correspondent) et de compréhension de ce qui est lu. Les signes les plus souvent décrits sont ceux des confusions de sons (sons mal perçus ou non perçus), des confusions de lettres (mauvaise perception du dessin de certaines lettres dans l'espace : par exemple, confusion du [b] et du [p], du [m] et du [n]), des inversions de lettres (une lettre lue avant l'autre, par exemple [par] lu [pra]).

En effet, la dimension qualitative de la perception peut être atteinte pour les sons (comme dans les troubles du langage oral) et pour les formes graphiques (principalement lettres et chiffres).

Très souvent, les enfants dyslexiques sont mal situés dans leurs propres corps, dans le temps, dans l'espace et par rapport à la latéralité; ils confondent la droite et la gauche, et ont du mal à se repérer dans un espace mal connu.

Dans la dyslexie, on peut ne trouver qu'un seul aspect perturbé (par exemple la perception visuelle des lettres sur un plan), ou toute la batterie des signes de la dyslexie ce qui lui confèrera un degré de gravité plus ou moins important.

La compréhension du message écrit est toujours plus ou moins perturbée aussi. Puisqu'ils lisent mal certains mots ou certaines portions de phrases, ils comprennent mal le message écrit ; par ailleurs, ils mobilisent tellement leur énergie pour déchiffrer, qu'ils n'essaient même pas d'accéder au sens de ce qu'ils lisent. Comme ils sont en échec (lenteur de déchiffrage, difficultés de compréhension, mauvaises notes à l'école, remontrances de la maîtresse et des parents...), ils n'éprouvent aucun plaisir dans l'acte de lire et préfèrent d'autres activités dans lesquelles ils s'investissent avec réussite, comme par exemple les mathématiques, le sport ou le bricolage.

2.4.2.2. La dysorthographe

Il s'agit du même trouble que la dyslexie souvent secondaire à celle-ci, c'est-à-dire sa conséquence logique, puisque l'enfant qui n'arrive pas correctement à dire ne peut que difficilement retranscrire par l'écriture l'orthographe de ce qu'il a lu.

En l'occurrence, la dysorthographe va s'appliquer particulièrement à l'acquisition de l'orthographe de la langue : avec l'aspect d'encodage phonétique et alphabétique (reconnaissance d'un son entendu et association avec une lettre ou un groupe de lettres qu'il faut écrire), l'aspect plus spécifiquement linguistique (compréhension de ce qui est dit pour le retranscrire par des mots qui doivent obéir aux lois de la grammaire et l'orthographe), et la rétention par la mémoire visuelle des mots d'usage. La aussi, il y a défaut de compréhension et difficulté d'exprimer des idées cohérentes, un récit par exemple, par écrit.

Ces enfants ne savent pas repérer la forme ou la valeur d'un mot, les catégories verbales (noms, verbes, articles, adjectifs qualificatifs...) et les structures grammaticales (règles d'accord, notions de singulier et pluriel...).

La rééducation des troubles du langage écrit (lecture et orthographe) peut parfois être longue, et demande le plus souvent au moins une année à raison d'une ou deux séances par semaine. Mais là aussi, la précocité de la détection du trouble (entre six et sept ans), voire sa prévention (rééducation précoce et préalable d'un trouble du langage oral préexistant) va alléger le travail de rééducation.

Quoi qu'il en soit, ces pathologies ne doivent jamais être négligées, car elles peuvent avoir des conséquences dramatiques pour l'avenir des enfants : échec scolaire, retard culturel global et plus tard difficulté d'obtenir une formation correcte.

2.4.2.3. La dyscalculie

Cette fois, ils s'agit de la difficulté de l'acquisition de la fonction mathématique (calcul) et du raisonnement logique : notion de nombre et de sa conservation, notions opératoires, telles que égalité, différence, plus grand, plus petit, classements logiques, catégorisation, difficulté de comprendre les opérations d'addition, de soustraction, de multiplication et de division, et dans quels cas les employer.

La diversité des problèmes rencontrés est telle que l'on préfère désormais parler de troubles de la structuration logique et mathématique plutôt que de dyscalculie. Nous les classons dans les pathologies du langage, car il s'agit bien là en l'occurrence aussi de la manipulation langagière de certains concepts opératoires et logiques.

Ces enfants ont du mal à classer des objets du plus petit au plus grand, à savoir par exemple si le nombre 39 est plus grand ou plus petit que le nombre 50.

Il s'agit, pour ces trois types de troubles - la dyslexie, la dysorthographe, la dyscalculie - véritablement de troubles du langage en raison des difficultés de maîtrise de la communication orale, de la pensée et du raisonnement, et de la perception de la réalité au travers du langage.

2.4.2.4. La dysgraphie

Ce trouble particulier, plutôt de type psycho-moteur (c'est-à-dire de la maîtrise du geste et de son habileté dans l'espace) est constitué par des perturbations au niveau des gestes de l'écriture qui rendent plus ou moins compréhensible le message écrit, sans qu'il y ait pour autant altération de celui-ci en tant que tel; autrement dit, il s'agit d'un trouble de la forme du graphisme, que le bon sens populaire qualifie souvent « d'écriture de chat »...

L'enfant ne respecte pas la forme ni la proposition des lettres, commence à les dessiner à l'envers, les dessine maladroitement.

La dysgraphie est très bien tolérée dans certaines catégories professionnelles où elle fait partie du statut social (essayez de lire certaines ordonnances médicales...), et traduit l'apparence à une corporation.

Le trouble dont nous parlons ici est une véritable difficulté motrice d'effectuer correctement le geste graphique fin du dessin des lettres, un manque de contrôle de la motricité fine, et on retrouve dans ces difficultés des perturbations dans la structuration de l'espace, de la latéralité (droite - gauche), du schéma corporel (perception qu'on a de son propre corps dans l'espace et de temps).

Néanmoins, la dysgraphie est assez souvent associée à une dysorthographe, le sujet se servant parfois d'une dysgraphie pour masquer son trouble d'expression écrite ou sa crainte d'échec.

Lorsqu'elle est isolée, elle est parfois traitée par les psychomotriciens.

2.5. Les troubles de la voix chez l'enfant

La voix est un outil très important dans la communication : elle est en effet le vecteur de la parole, et chaque être possède sa voix propre, qui signe sa personnalité. Le larynx et les cordes vocales qui la produisent sont des organes fragiles, mal utilisés,

surmenés, ils ne résistent pas à des mauvais traitements et peuvent entraîner ce qu'on appelle des *dysphonies*, ou troubles vocaux.

Le larynx est un organe constamment sollicité, même si les enfants n'en ont pas une utilisation « professionnelle » : ils parlent tout le temps, et crient souvent.

En dehors de certaines maladies très spécifiques et rares du larynx de l'enfant, qui seront diagnostiquées et soignées par le médecin Oto-Rhino-Laryngologiste (ORL), dans les pathologies vocales de l'enfant, il s'agit le plus souvent d'une raucité vocale (voix rauque) qui s'installe insidieusement chez un enfant perturbé, dystonique, ou turbulent et nerveux; celui-ci malmène et surmène son appareil vocal en criant et en parlant fort sans arrêt. Ce traumatisme constant du larynx et de cordes vocales va entraîner une dysphonie de type *hyperkinétique*, c'est-à-dire avec crispations musculaires.

La dysphonie peut aussi apparaître par mimétisme d'un parent lui-même dysphonique, et dans un milieu où l'ambiance est particulièrement bruyante, où tout le monde crie et hurle, et où personne ne s'écoute ou ne peut s'entendre.

Le fait qu'un enfant crie souvent et parle trop fort peut parfois être le signe d'un trouble de l'audition; en effet, lorsqu'on s'entend moins, on parle plus fort, c'est un phénomène bien connu.

La rééducation devra prendre en compte les facteurs psychologiques (pourquoi l'enfant est-il aussi nerveux et turbulent) et les éventuelles influences du milieu familial.

La rééducation ne pourra s'instaurer qu'après un examen approfondi fait par le médecin ORL ou phoniatre, qui effectuera un examen clinique du larynx, examinera la fonction vibratoire des cordes vocales et mesurera éventuellement l'audition de l'enfant.

2.6. Pathologie concernée par notre travail

Nous avons choisi comme pathologie le sigmatisme (trouble d'articulation).

2.6.1. Sigmatisme

Terme issu de la lettre grecque sigma, c'est la difficulté que présentent certaines personnes à prononcer le phonème [s]. Cette affection ne doit pas être confondue avec le zézaiement qui est un trouble d'articulation d'une personne prononçant le son [s]

comme étant [z], le son [ʒø] comme [s] ou le son [s] comme [sø]. On dit également zozoter [8].

Ce trouble est généralement relié à une déviation par la langue, dans le processus d'écoulement d'air.

Il y a deux types de sigmatismes :

- **sigmatisme latéral ou schlintement** : l'air s'échappe sur le côté de la bouche ;
- **sigmatisme interdental ou zozotement** : la langue vient buter contre les incisives supérieures ou se place entre les dents et produit une interposition linguale lors de l'émission des phonèmes [s] et [z].

2.6.1.1. Sigmatisme et constrictives

Le sigmatisme intervenant sur les consonnes constrictives peut avoir plusieurs appellations, suivant son origine :

- le sigmatisme nasal est dû à un positionnement de la langue qui rend impossible le passage de l'air par la cavité buccale ;
- le sigmatisme dorsal est également dû à un soulèvement excessif de la langue ;
- le sigmatisme occlusif est le remplacement systématique de toute consonne constrictive par une consonne occlusive dont le point d'articulation est le plus proche.

Ce sigmatisme concerne le remplacement de [ʃ], [ʒ], [s], [z] par [θ] et [d] ou par [f] et [v] [8].

2.7. Conclusion

Afin d'introduire la mise en œuvre du chapitre 3, nous avons exposé dans ce chapitre un état de l'art de métier d'orthophonie et le développement normal du langage chez l'enfant et les pathologies du langage oral et écrit, et enfin le choix de la pathologie.

Le choix du sigmatisme interdental, pathologie concernant l'articulation du [z] et [s] prononcés comme [ʒø] et [sø], porte sur la disponibilité d'un corpus maladif ainsi qu'une tendance à mettre une méthodologie d'évaluation par un système d'aide, qui sera bénéfique à l'orthophoniste et au patient.

Le prochain chapitre consiste à présenter les outils de développement utilisés tel que le langage de modélisation choisi (UML), des généralités sur les BD et les mesures de distances.



Chapitre 3 : Outils de développement utilisés

3.1. Introduction

Notre objectif est de concevoir un système d'aide à la détection des troubles d'articulation de l'Arabe Standard, ce système nous sera utile pour la reconnaissance des paroles pathologiques et leur évaluation.

Pour la conception nous utilisons comme langage de modélisation UML, nous présenterons par la suite un rappel sur ce langage et un exposé sur les BD ainsi que les mesures des distances.

3.2. Le langage UML (Unified Modeling Language)

UML (Unified Modeling Language) est né de la consolidation de trois méthodes objet : OMT (Rumbaugh), Booch, OOSE (Jacobson). Cette consolidation a été marquée par trois étapes :

- le regroupement des trois équipes au sein de la société Rational ;
- le recentrage du projet de standardisation sur le langage de modélisation, les aspects purement méthodologiques étant laissés de côté ;
- la décision de l'Object Management Group en 1997.

UML est avant tout un support de communication performant, qui facilite la représentation et la compréhension de solutions objet [18] :

- sa notation graphique permet d'exprimer visuellement une solution objet, ce qui facilite la comparaison et l'évaluation des solutions ;
- l'aspect formel de sa notation, limite les ambiguïtés et les incompréhensions.
- son indépendance par rapport aux langages de programmation, aux domaines d'application et aux processus, en font un langage universel ;
- une autre caractéristique importante d'UML, c'est qu'il cadre l'analyse. UML permet de représenter un système selon différentes vues complémentaires : les diagrammes. Un diagramme UML est une représentation graphique, qui s'intéresse à un aspect précis du modèle ; c'est une perspective du modèle.

Chaque type de diagramme UML possède une structure (les types des éléments de modélisation qui le composent sont prédéfinis) et véhicule une sémantique précise (il offre toujours la même vue d'un système).

Le succès a été immédiat et UML est aujourd'hui universellement accepté et supporté par l'ensemble des outils de développement [19].

UML fournit un cadre conceptuel commun mais avec une liberté aux acteurs pour développer leurs méthodes et outils.

Schématiquement, UML peut être définie sur trois plans :

- **les concepts** : dont la sémantique est complètement et formellement définie ;
- **les digrammes** : utilisés pour spécifier les besoins et les systèmes ;
- **les mécanismes d'extensions** : pour intégrer aux processus des stéréotypes spécifiques aux différentes méthodes et contextes applicatifs.

La section suivante a pour but de représenter le langage de modélisation de données, UML pour :

- décrire les concepts fondamentaux du langage ;
- Montrer les différentes relations entre les classes ;
- présenter l'ensemble des diagrammes.

3.2.1. Les concepts du langage UML

UML supportent quatre types de concepts [20] :

- *structurels* : représentés par les classes, les interfaces, les collaborations ;
- *comportementaux* : représentés par les interactions et les états d'objets ;
- *annotationnels* : représentés par les notes, où une note est un commentaire attaché à un ou plusieurs éléments de modélisation [21] ;
- *de regroupements* : représentés par les sous systèmes et les paquetages.

3.2.2. Les diagrammes du langage UML

Dans UML, on trouve les digramme de :

- cas d'utilisation ;
- classes ;
- objets ;
- séquences ;
- composants ;
- déploiements ;
- collaborations ;
- états-transitions ;
- activités.

Le méta modèle suivant présente les neuf diagrammes de langage UML (figure 3.1).

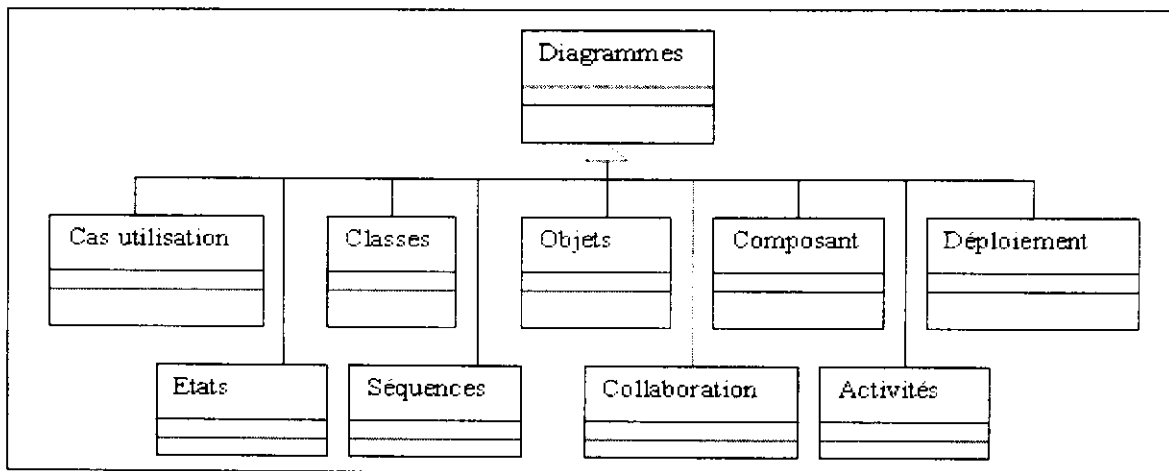


Figure 3.1 : Les diagrammes du langage UML [19].

On peut distinguer quatre groupes plus essentiels de diagrammes de l'UML :

3.2.2.1. Les diagrammes de cas d'usage

Les diagrammes de cas d'usage sont utilisés pour modéliser les fonctionnalités des applications.

Un **acteur** représente un rôle joué par une personne ou une chose qui interagit avec un système [21]. L'acteur interagit avec les cas d'utilisation par envois de messages.

Un diagramme de cas d'utilisation permet de décrire les interactions entre les acteurs de l'organisation et le système dans chacun des cas d'utilisation envisagés. Il décrit le comportement d'un système du point de vue de l'utilisateur et fixe les limites du système et les relations entre les systèmes et l'environnement (figure 3.2).

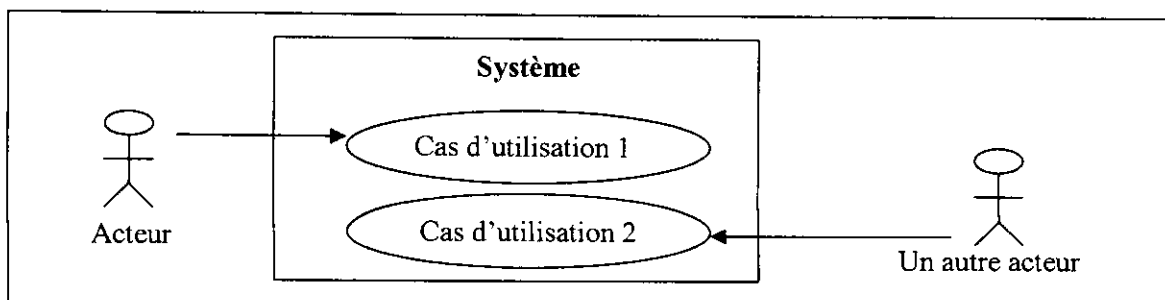


Figure 3.2 : Représentation d'un cas d'utilisation.

Les relations qui peuvent exister dans un diagramme de cas d'utilisation sont :

- **la relation d'utilisation** : lorsqu'une ou plusieurs tâches sont utilisées régulièrement, on peut les factoriser dans un même cas d'utilisation et faire de telle sorte que d'autres cas d'utilisation l'emploient en le pointant par une flèche [22] ;

On peut décomposer un cas d'utilisation complexe en plusieurs sous cas d'utilisations.

- **la relation d'inclusion** : le cas d'utilisation source comprend également le comportement de son cas d'utilisation destination. Cette relation a un caractère obligatoire (à la différence de la généralisation) et permet ainsi de décomposer des comportements partageables entre plusieurs cas d'utilisation différents [22] ;
- **la relation d'extension** : le cas d'utilisation source ajoute son comportement au cas d'utilisation destination. L'extension peut être soumise à une condition. Cette relation permet de modéliser des variantes de comportement d'un cas d'utilisation (figure 3.3).

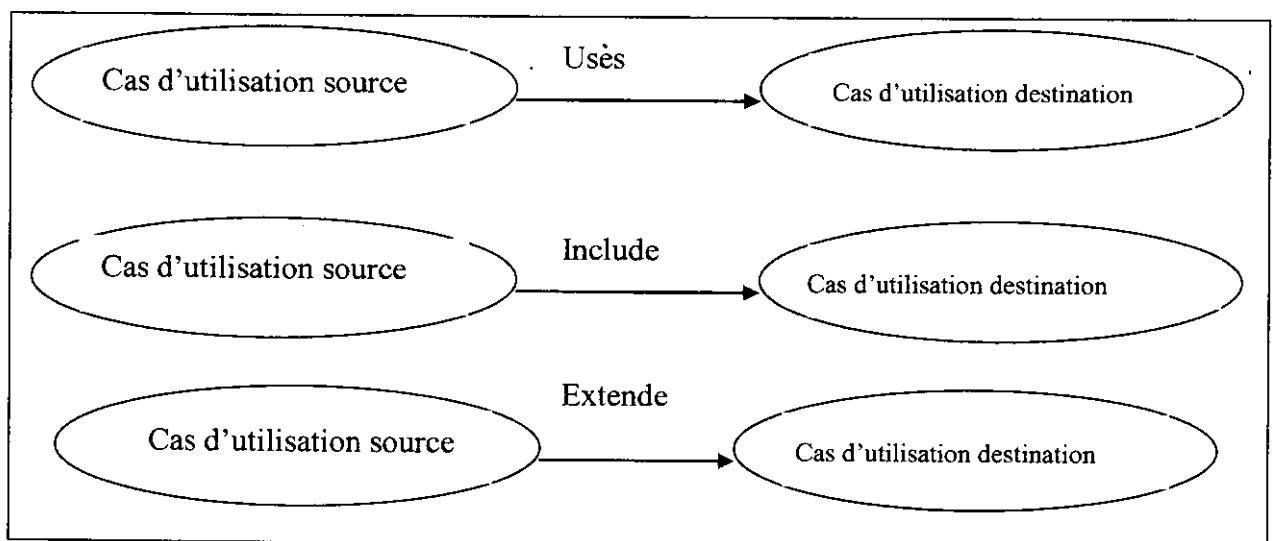


Figure 3. 3 : Les trois relations entre les cas d'utilisation.

3.2.2.2. Les diagramme de Classes

Les diagrammes de Classes utiles pour modéliser les objets gérés par le système. Ils montrent la structure du système et les éléments des classes tels que : les classes, les relations d'héritages entre classes, les associations, dont les agrégations,

les attributs, les opérations et la spécification d'opérations et contraintes au niveau des entités [23].

Voici les éléments manipulés par le diagramme de classe :

- **stéréotype** : permet de définir une utilisation particulière d'éléments de modélisation existant ou de modifier la signification d'un élément ;
- **acteur** : représente les rôles des interlocuteurs du système ;
- **objet contrôle** : représente les classes qui effectuent des traitements internes au système ;
- **objet interface** : représente les limites du système ;
- **objet entité** : représente les objets du domaine [24].

3.2.2.3. Les diagramme d'objets

Ce type de diagramme UML montre des objets (instances de classes dans un état particulier) et des liens (relations sémantiques) entre ces objets [25].

Les diagrammes d'objets s'utilisent principalement pour montrer un contexte, par exemple avant ou après une interaction, mais également pour faciliter la compréhension des structures de données complexes, comme les structures récursives [22].

Un objet est représenté graphiquement comme le montre la figure 3.4.

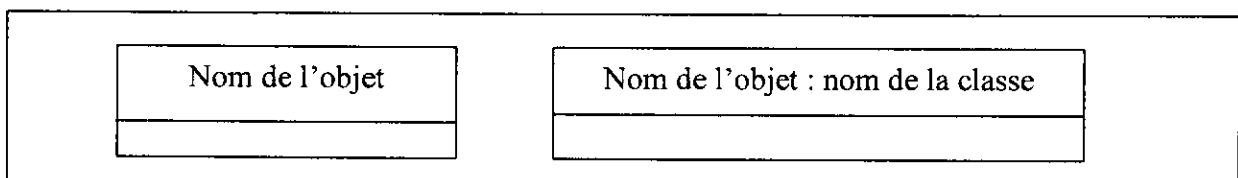


Figure 3.4 : Représentation graphique d'un objet.

La figure 3.5 montre un exemple de diagramme de classe et la figure 3.6 un exemple de diagramme d'objet.

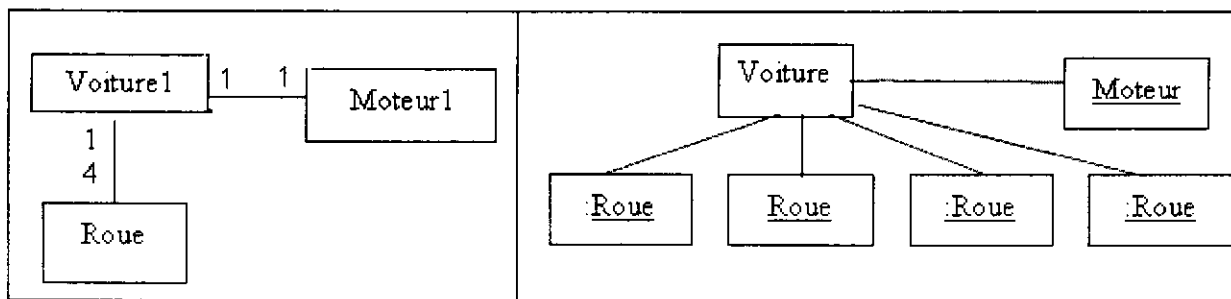


Figure 3.5 : Exemple d'un diagramme de classe.

Figure 3.6 : Exemple d'un diagramme d'objet.

3.2.2.4. Les diagrammes d'Interactions

Les diagrammes d'Interactions sont utilisés pour modéliser la manière dont les objets collaborent à la réalisation des cas d'usage. Pour cela on a les diagrammes de séquences et les diagrammes de composants :

- **les diagrammes de séquence** permettent de représenter les interactions entre objets en précisant la chronologie des échanges de messages. Ils peuvent être utilisés pour représenter les scénarios d'un cas d'utilisation donnée [22].

L'**interaction** modélise un comportement dynamique entre objets, en insistant sur la chronologie des envois de messages [23].

Les **messages** échangés sont représentés au moyen de flèches horizontales partant de l'émetteur vers le récepteur. L'ordre de l'envoi est donné par la position sur l'axe vertical [25] (figure 3.7).

La **période d'activation** correspond au temps pendant lequel un objet effectue une action, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un autre objet (figure 3.8).

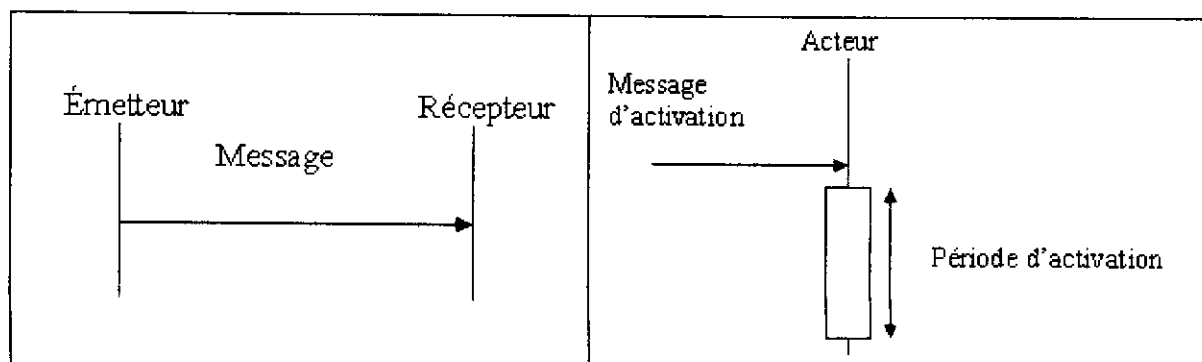


Figure 3.7 : Agencement de message.

Figure 3.8 : Activation d'un objet de manière simple.

- **les diagrammes de composant**

On va maintenant définir le concept composant.

Un **composant** est un élément physique qui représente une partie implémentée d'un système. Il peut être du code, un script, un fichier de commandes. Les composants présentent un ensemble d'interfaces [23].

Les diagrammes de composant permettant de décrire l'architecture physique et statique d'une application en terme de modules : fichiers sources, librairie, exécutable, etc. Ils décrivent les éléments physiques et leur relation dans l'environnement de réalisation.

Les composants du système sont : le sous système, le module, le programme, les sous programmes, le processus et la tâche :

- les sous systèmes : un sous système regroupe des éléments de modélisation [21] : cas d'utilisation, classes, objets, modules ou composants. L'importation permet aux éléments d'un sous système d'accéder aux éléments d'un autre sous système ;
- le module : un sous système peut être décomposé en modules, chaque module correspond à un ensemble d'éléments physiques (fichiers, sous ensembles de logiciel) (Figure 3.9).

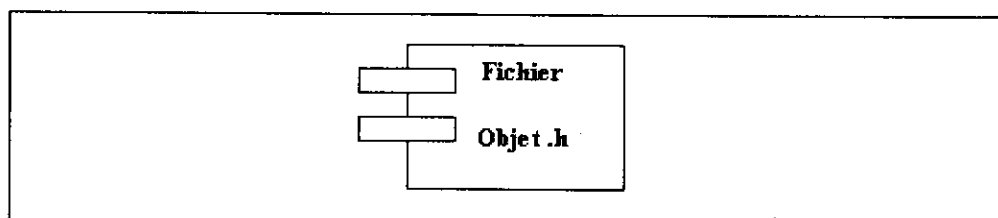


Figure 3.9 : Représentation d'un composant.

3.2.2.5. Les diagrammes de déploiement

Les diagrammes de déploiement montrent la relation physique des matériels qui composent le système et la représentation sur ces matériels.

Un diagramme de déploiement permet également de représenter les relations entre différents nœuds.

3.2.2.6. Diagrammes de collaboration

Les Diagrammes de collaboration montrent des interactions entre les objets et les acteurs. Ils permettent de représenter le contexte d'une interaction, car on peut y

préciser les états des objets qui interagissent et peuvent être utilisés pour identifier les principaux objets [23]. La figure 3.10 présente le formalisme de base d'un diagramme de collaboration : un échange de message entre deux objets.

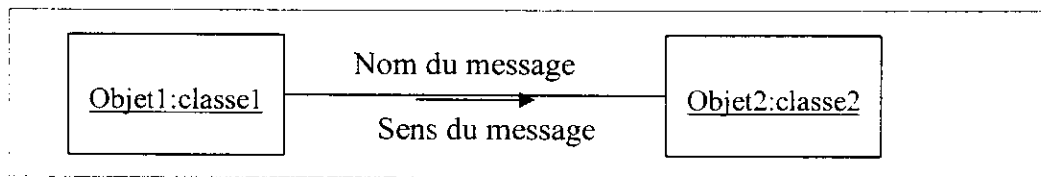


Figure 3.10 : Formalisme de base du diagramme de collaboration.

3.2.2.7. Diagramme d'état-transition

Un diagramme d'état-transition est un graphe constitué de nœuds représentant des états ainsi que des flèches représentant des transitions, portant des paramètres et des noms d'événements [25]. Les diagrammes d'états permettent de définir le comportement d'un objet particulier vis-à-vis des sollicitations internes ou externes auxquelles il peut être soumis [23]. Ils permettent aussi de décrire l'évolution dans le temps les états des objets d'une certaine classe, les événements auxquels ils réagissent et les transitions qu'ils effectuent.

Les diagrammes d'états visualisent des automates (figure 3.11) d'états finis, du point de vue des états et des transitions [22].

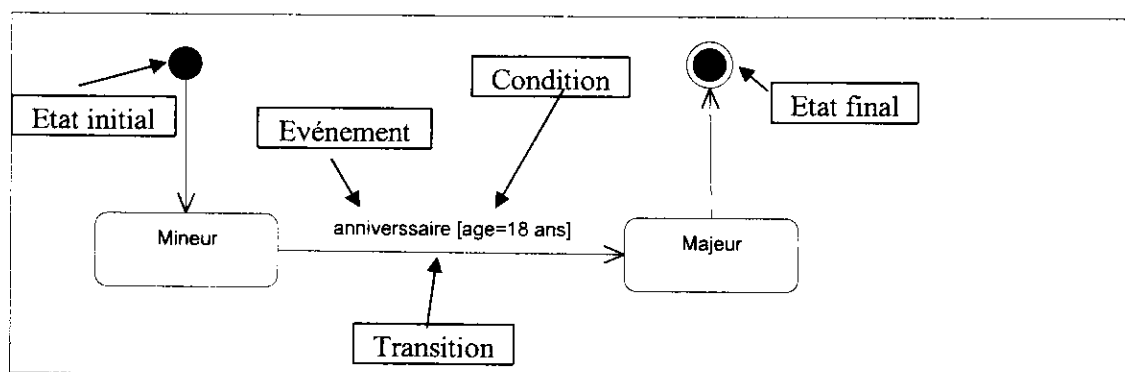


Figure 3.11 : Exemple de diagramme d'état-transition.

3.2.2.8. Diagramme des activités

Ce diagramme permet de décrire le déroulement d'un cas d'utilisation particulier. Il est possible de décrire les acteurs responsables de chaque activités par l'utilisation

des «couloirs d'activités» qui permettent de répartir graphiquement les différentes activités entre les acteurs opérationnels [22]. Chaque activité est placée dans le «couloir» correspondant à l'acteur qui assume cette activité.

La figure 3.12 montre un exemple d'un diagramme d'activité.

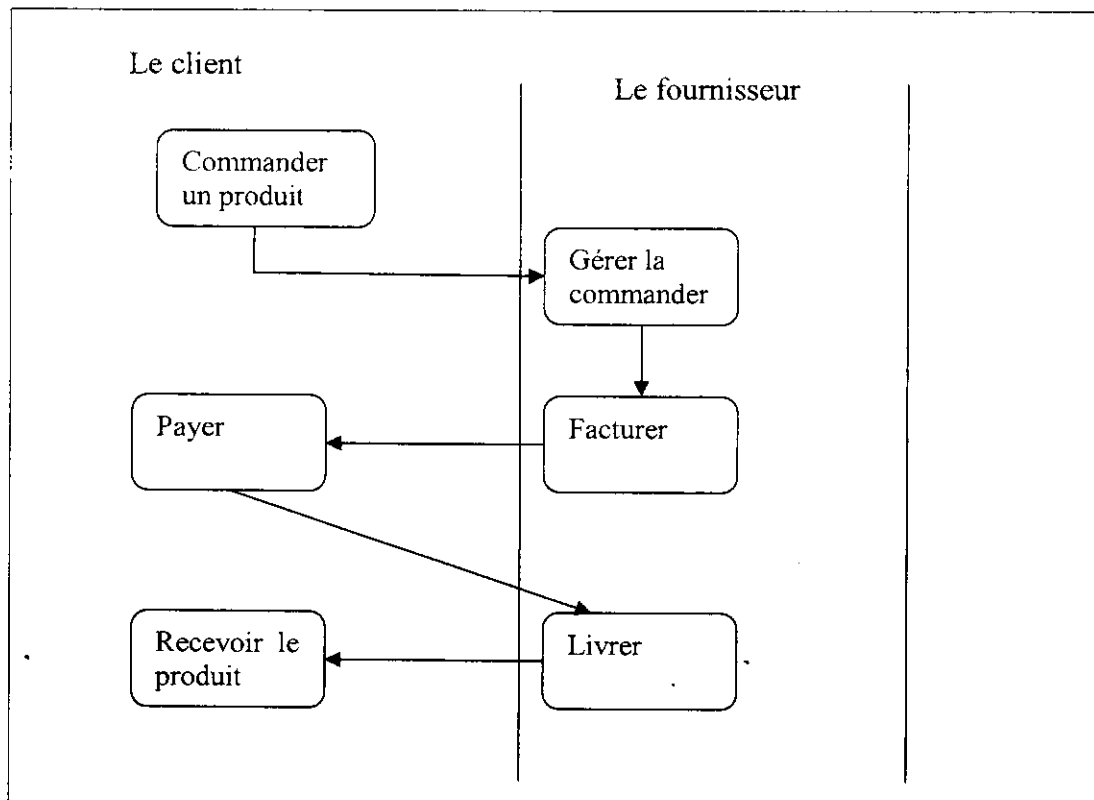


Figure 3.12 : Exemple d'un diagramme d'activité.

Remarques

Nous allons par la suite utiliser les trois premiers diagrammes pour faire la modélisation de notre application.

Dans la section suivante nous exposons des notions sur les Bases de Données d'une façon générale et ses types, nous intéresserons aux BD sonores.

3.3. Les Bases de Données (BD)

Les Bases de Données ont aujourd'hui pris une place essentielle dans les systèmes informatiques tant de point de vue pratique que théorique. Une base de données, usuellement abrégée en **BD** ou **BDD**, est un ensemble structuré et organisé permettant le stockage de grandes quantités d'informations afin d'en faciliter

l'exploitation (ajout, mise à jour, recherche de données). La plupart des systèmes offrent aujourd'hui un Système de Gestion de Base de Données (SGBD). Un SGBD est une interface entre l'utilisateur et les mémoires secondaires qui tendent à créer l'illusion que les données désirées par tout usager sont stockées dans des mémoires secondaires, assemblées et codées comme souhaitées, comme si l'utilisateur était seul à utiliser ces données.

3.3.1. Utilité d'une BD

Une BD permet de mettre des données à la disposition des utilisateurs pour une consultation, une saisie ou bien une mise à jour, tout en s'assurant des droits accordés à ces derniers. Cela est d'autant plus utile que les données informatiques sont de plus en plus nombreuses.

Une BD peut être locale, c'est-à-dire utilisable sur une machine par un utilisateur, ou bien répartie, c'est-à-dire que les informations sont stockées sur des machines distantes et accessibles par réseau. L'avantage majeur de l'utilisation d'une BD est la possibilité de pouvoir être accédée par plusieurs utilisateurs simultanément.

3.3.2. Gestion des BD

Afin de pouvoir contrôler les données ainsi que les utilisateurs, le besoin d'un système de gestion s'est vite fait ressentir. La gestion de la BD se fait grâce à un système appelé SGBD. Le SGBD est un ensemble de services (applications logiciels) permettant de gérer les BD, c'est-à-dire :

- de permettre l'accès aux données de façon simple ;
- d'autoriser un accès aux informations à de multiples utilisateurs ;
- de manipuler les données présentes dans la BD (insertion, suppression, modification).

Le SGBD peut se décomposer en trois sous-systèmes (figure 3. 7) :

- le système de gestion de fichiers, permet le stockage des informations sur un support physique ;
- le SGBD interne, gère l'ordonnancement des informations ;
- le SGBD externe, représente l'interface avec l'utilisateur.

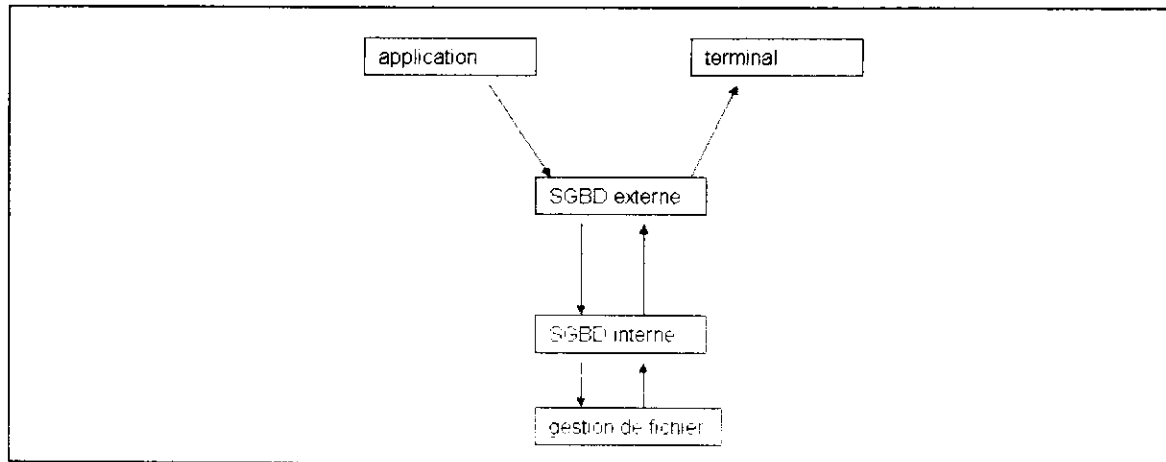


Figure 3.13 : Les trois couches d'un SGBD

3.3.3. Les types de BD

Il existe plusieurs types des BD, les BD relationnelles, les multimédia et les BD sonores qui sont spécifiées dans les domaines du TAP.

3.3.3.1. Bases de données relationnelles

En 1970, au moment où les systèmes reposant sur le modèle hiérarchique, où le modèle en réseau étaient en plein développement, E.F Codd, publia un article où il proposait de stocker des données hétérogènes dans des **tables**, permettant d'établir des relations entre elles. De nos jours, ce modèle est extrêmement répandu, mais en 1970, cette idée était considérée comme une curiosité intellectuelle. On doutait alors que les tables ne puissent être jamais gérées de manière efficace par un ordinateur. Ce scepticisme n'a cependant pas empêché E.F. Codd de poursuivre ses recherches. Un premier prototype de Système de Gestion de Bases de Données Relationnelles (SGBDR) est construit dans les laboratoires d'IBM. Depuis les années 1980, cette technologie a mûri et a été adoptée par l'industrie. En 1987, le langage SQL (Structured Query Language), une extension de l'algèbre relationnelles, est standardisé. À l'heure actuelle, les SGBDR sont présents dans de nombreux logiciels, sont très répandus dans les bases de données et représentent une industrie de plusieurs milliards de dollars [24].

Le modèle relationnel conduit à :

- une grande simplicité d'usage ;

- une transparence pour l'utilisateur de toute réorganisation technique de la base (la seule différence pour l'utilisateur se situera, si l'opération est réussie, dans les temps de réponse) ;
- une facilité de combinaison du contenu de plusieurs tables.

3.3.3.2. Les Bases de Données multimédia

Une Base de Données multimédia est un type de BD consacré au stockage et à l'organisation de données multimédia : documents sonores, images, vidéos. Elles peuvent s'appuyer sur différentes architectures de bases de données, les types les plus utilisés étant le modèle relationnel et le modèle objet.

Les bases de données multimédia ne sont pas des applications encore très courantes, et posent encore des problèmes, notamment pour l'indexation de leur contenu et les recherches par contenu.

L'approche classique consiste à renseigner des mots-clés décrivant dans un vocabulaire restreint les caractéristiques principales et bien identifiables des documents stockés. Les limitations évidentes sont le manque de précision de la description et l'impossibilité de faire des recherches sur des informations existantes dans les documents mais non pertinentes du point de vue de l'indexation.

Une approche actuellement sujette à recherches consiste à disposer d'une indexation dynamique par l'application d'opérateurs de traitement d'images (pour les bases de données images et vidéo) ou de traitement du signal (pour des bases de données sonores). L'objectif est de décomposer les documents en entités élémentaires structurées et reliées entre elles, de manière à ce que l'indexation permette de retrouver soit des formes (les structures) soit des objets (les entités) soit des combinaisons des deux. Le problème consiste alors à trouver les « bons » outils de traitement du signal (au sens large) pour faire le travail d'analyse des documents, et à construire le ou les index de manière à exploiter pleinement des informations extraites.

Le moteur de requêtes est lui aussi un sujet d'étude dans ces conditions, car les requêtes ne s'expriment donc plus en fonction de textes et de valeurs numériques « simples », mais en fonction de rapports spatiaux et temporels entre des entités qu'il faut par ailleurs décrire de manière structurée [26].

3.3.3.3. Les Bases de données sonores

Les sons numérisés vont aussi être intégrés dans les systèmes d'informations et dans les BD. Le signal, par exemple d'une musique ou d'une phrase prononcée par un locuteur, ne pose pas de problème spécifique pour son stockage, mais pose sa recherche et son traitement. Là encore, extraire des informations pertinentes à partir d'un son numérique fait partie de la recherche du domaine (par exemple : la Reconnaissance Automatique de la Parole). Cependant, il est possible de stocker toutes sortes d'informations descriptives associées à un signal numérisé et de constituer des banques de sons, où les requêtes exploitent les informations comme des attributs spécifiques. Comme pour les images, des interfaces spécifiques sont nécessaires pour poser les requêtes et entendre le résultat.

La nécessité de disposer des BD sonores a émergé il y a une dizaine d'années, sous la poussée des méthodes de RAP fondées sur l'apprentissage, (dans le milieu des années 80, des travaux ont été coordonnés en France autour de BDBSONS, et la BD TIMIT vers 1990 aux USA), à l'heure actuelle, le besoin des données sonores reste encore une préoccupation essentielle.

3.4. La phonétique clinique et les DB sonores

Actuellement, si l'efficacité des différents traitements des pathologies de la voix est de mieux en mieux connue, les résultats sur la qualité de vie, surtout sur la qualité de la phonation et de l'efficacité de la parole, restent mal connus. Une analyse objective de la fonction vocale nécessite une collaboration étroite entre spécialistes de différents domaines : phonéticiens, ingénieurs, médecins et orthophonistes. L'objectif principal du service d'Oto-Rhino-Laryngologie (ORL), où s'effectuent les recherches en phonétique clinique est le traitement des pathologies organiques et fonctionnelles du vélo-pharyngo-larynx, de la langue, l'évaluation et la prise en charge des troubles de la parole d'origine neurologique. Des études complémentaires devraient permettre de pouvoir proposer au patient le traitement le mieux adapté à sa pathologie et le plus efficace pour rétablir la communication orale. Par ailleurs, la collaboration phonétique clinique devrait permettre d'établir une typologie des modes de production selon l'altération de la parole liée à la pathologie. Dans ce but, la collaboration actuelle du service ORL avec la phonétique expérimentale répond à l'objectif de travailler en collaboration avec des spécialistes de la voix et de la parole (phonéticiens et

ingénieurs) pour définir les indices pertinents et établir des protocoles d'évaluation de la voix et de la parole. Pour cela, qu'il y a des bases pathologiques contenant des informations sur les sujets, les enregistrements, sur les phrases, les mots et les segments sonores. Elle affichera en plus tous les systèmes de codage utilisés dans l'analyse, susceptibles d'être exploités par la communauté scientifique.

3.5. Le logiciel PRAAT

Pour faire les différents enregistrements des sons pour enrichir notre Base de Données Pathologique des troubles de parole, nous avons choisi l'outil d'analyse du signal vocale le plus connu, c'est Praat.

Le logiciel Praat a été développé par P. Boersma et par D. Weenink de l'Institut de Phonétique d'Amsterdam.

Praat est un outil qui permet de mener des analyses phonétiques, de faire de la synthèse de la parole et de manipuler des données (analyses statistiques, construction des programmes, etc.). Avec ce logiciel, il est possible :

- d'enregistrer des fichiers audio qui pourront ensuite être analysés ;
- de transcrire, d'étiqueter et de segmenter des données audio (que les enregistrements aient été effectués sous Praat ou qu'ils proviennent d'autres fichiers, au format WAV, par exemple) ;
- d'effectuer des analyses phonétiques au niveau segmental (spectrogramme, analyse des formants, sonagramme, etc.) et au niveau suprasegmental (pitch ou F_0 , intensité et durée) ;
- de faire de la synthèse de la parole (créer des stimuli audio, analyse-synthèse de données modifiées, etc.) ;
- de manipuler et modifier le signal de la parole (utilisation de filtres ; modification des contours intonatifs et de la durée, etc.) ;
- de faire des analyses statistiques à partir des études phonétiques (analyse des covariances, etc.). Nous pouvons résumer les fonctionnalités de ce logiciel dans la figure 3.14.

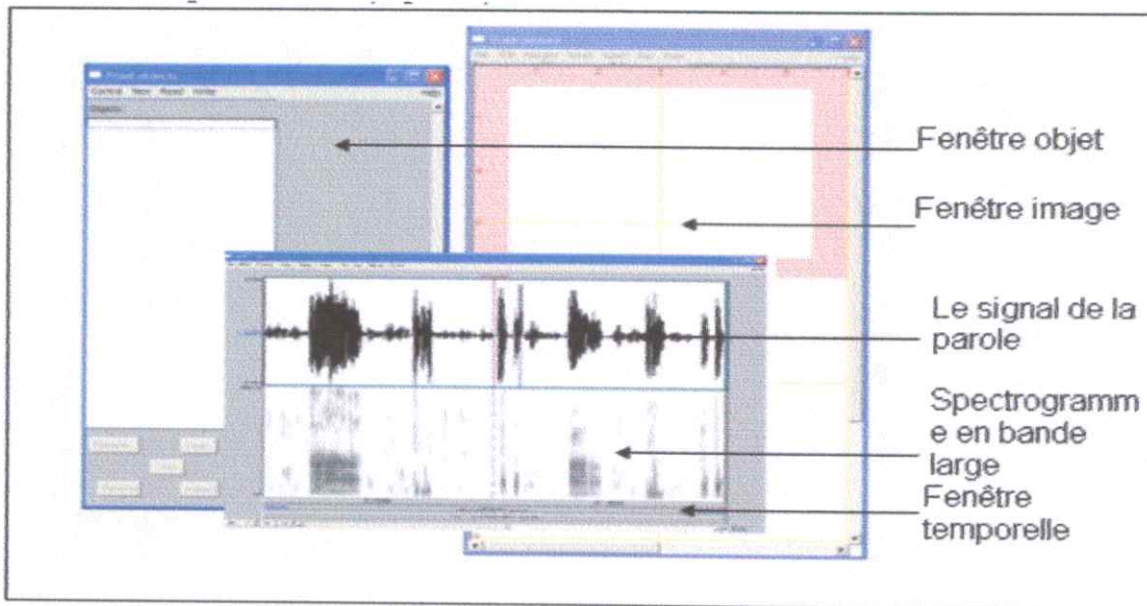


Figure 3.14 : Présentation du logiciel Praat.

3.6. Mesures de distances

Nous allons par la suite présenter les différentes distances.

3.6.1. Définitions

En mathématiques, on appelle distance sur un ensemble E une application $d : E \times E \rightarrow \mathbb{R}^+$ telle que [27] :

$$\forall x, y \in E : d(x, y) = d(y, x) \quad (3.1)$$

$$\forall x, y \in E : d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y \quad (3.2)$$

$$\forall x, y, z \in E : d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z) \quad (3.3)$$

Un ensemble muni d'une distance s'appelle *un espace métrique*.

Remarque

Dans la définition d'une distance, on demande généralement que l'ensemble d'arrivée soit \mathbb{R}^+ ; en réalité, on peut se contenter de supposer que c'est \mathbb{R} et invoquer la suite d'inégalités valable pour tout couple (x, y) de réels :

$$0 = d(x, x) \leq d(x, y) + d(y, x) \leq 2d(x, y) \quad (3.4)$$

3.6.2. Distance algébrique

Soit deux points **A** et **B** d'un espace vectoriel par lesquels passe une droite orientée (une droite munie d'un sens, qui est générée par un vecteur **v** non-nul). On appelle *distance algébrique* de **A** vers **B** le réel tel que :

- la valeur soit la distance (définie ci-dessus) entre **A** et **B** ;
- si la valeur est non-nulle, le réel soit positif dans le cas où le vecteur **AB** est dans le même sens que **v**, négatif sinon.

On peut démontrer que la distance algébrique de A vers B (notée $d_a(\mathbf{A}, \mathbf{B})$) vaut :

$$d_a(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \frac{\vec{AB} \cdot \vec{v}}{\|\vec{v}\|} \quad (3.5)$$

La distance algébrique n'est pas une distance, vu qu'elle est antisymétrique :

$$d_a(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = -d_a(\mathbf{B}, \mathbf{A})$$

3.6.3. Distance entre deux ensembles

Soient E_1 et E_2 deux parties d'un espace métrique muni d'une distance **d**, on définit la distance entre ces deux ensembles comme :

$$d(E_1, E_2) = \inf \{d(x, y) / (x, y) \in (E_1, E_2)\} \quad (3.6)$$

3.6.4. Distance sur des espaces vectoriels

Dans un espace vectoriel normé $(E, \|\cdot\|)$, on peut toujours définir de manière canonique une distance **d** à partir de la norme. En effet, il suffit de poser :

$$\forall (x, y) \in E \times E : d(x, y) = \|y - x\| \quad (3.7)$$

En particulier, dans \mathbb{R}^n , on peut définir de plusieurs manières la distance entre deux points, bien qu'elle soit généralement donnée par la distance **euclidienne** (ou *2-distance*). Soit deux points de E , (x_1, x_2, \dots, x_n) et (y_1, y_2, \dots, y_n) , on exprime les différentes distances comme citées ultérieurement.

3.6.4.1. Distance de Manhattan ou 1-distance

La distance Manhattan se calcule de la façon suivante :

$$\sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (3.8)$$

3.6.4.2. Distance euclidienne ou 2-distance

La distance euclidienne se calcule de la façon suivante

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^2} \quad (3.9)$$

3.6.4.3. La distance de Minkowski ou p-distance

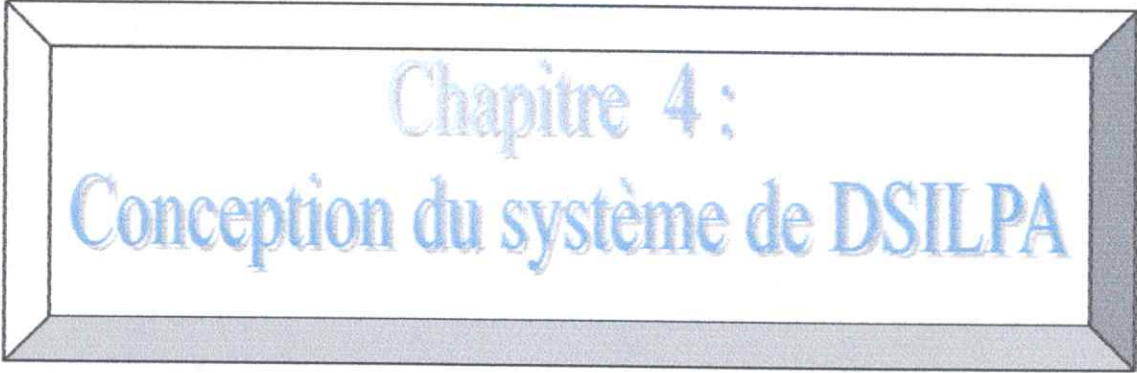
La distance de Minkowski ou City-Block se calcule de la façon suivante :

$$\sqrt[p]{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p} \quad (3.10)$$

3.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé les outils de développement utilisés, pour la réalisation de notre application tel que le langage de modélisation, un état de l'art sur les BD et les mesures des distances.

Le prochain chapitre concerne la description du corpus sain ou de référence, la modélisation de système, et l'implémentation de notre système.



Chapitre 4 :
Conception du système de DSILPA

4.1. Introduction

Le traitement du signal vocal est un processus très complexe en terme d'extraction de l'information utile, car il concerne l'une des problématiques les plus influentes dans cette phase. Le corpus sur lequel s'effectuent les tests de performance est fondamental étant donné que l'extraction des paramètres acoustiques est sujette aux différentes influences qui sont dues à la négligence lors de l'enregistrement, du réglage du niveau sonore du microphone, le bruit environnant, les défauts de prononciation non pathologiques la prononciation incorrecte d'un mot avec ou sans gemination et lors de la segmentation manuelle, etc.

Dans ce chapitre, nous allons voir le choix du corpus, l'utilisation du langage UML pour étudier un modèle de système d'aide concernant la détection des troubles de la parole et d'articulation, plus précisément le sigmatisme interdental.

4.2. Choix du corpus

L'un des éléments clés de toute recherche est basé sur sa BD. Dans cet ordre d'idée, nous avons essayé de développer un corpus constitué de 18 phrases utilisant le vocabulaire Arabe usuel d'une locutrice de nationalité algérienne originaire de Médéa, destiné essentiellement à mettre en évidence l'occurrence des phonèmes [s], [z] dans différentes positions (initiale, médiane et finale) et différents contextes vocaliques (fatha, damma et kasra). Sachant que pour chaque phonème on y trouve neuf mots en fonction des conditions sus citées.

زحف الرمل نحو الأراضي الزراعية.	سجد العبد لله.
ترحلق المتنافسون على الجليد لنيل الجائزة.	حسد الجار جاره.
برز طه حسين من خلال أعماله الأدبية.	حبس الطفل أنفاسه.
تستخرج الزبدة من الحليب.	تعتبر السلحفاة من الحيوانات المعمرة.
اختلف توازن الكون.	إذا ترعرع الطفل على الخصال الحميدة، حسن خلقه.
الشجاعة كنز الأبطال.	إن الأسد شرس.
زراعة الحوامض منتشرة في سهول متيجة.	كان سباق الدراجات ممتعا .
حزن الأولاد على فراق أبيهم .	كسب الملاكم الجولة.
أعجب الجميع بخبز الجدة.	كان نهار الأمس جميلا

En vue de faire des essais sur un corpus pathologique présentant le **sigmatisme interdental**, nous avons pu enregistrer un cas de sexe féminin âgée de 25 ans nationalité algérienne originaire de Khemis Miliana, en parole continue et en mots isolés afin de bien distinguer l'impact du sigmatisme sur les mots en débit normal.

La pathologie a été confirmée par le Dr Tafahi du service CCI (Centre de Chirurgie Infantile) du CHU Benboulaid Blida.

Les enregistrements ont été faits dans une salle non acoustique, en incluant le bruit environnant, car nous préconisons d'utiliser notre système dans un environnement en conditions normales de bruit.

Nous avons segmenté manuellement en mots et en phonèmes les segments dont nous avons besoin, puis nous les avons étiquetés. Chaque phonème ciblé est ensuite analysé par le logiciel Praat pour extraire les valeurs des formants.

Nous avons obtenu deux types de formants :

- normaux, stockés dans une BD qui fait appel à la Base de Données Normales ou de références (BDN).
- pathologiques, stockés dans une BD qui fait appel la Base de Données pathologiques (BDP).

4.3. Choix du langage de programmation

Dans toute branche de l'ingénierie, les outils communément disponibles jouent un rôle considérable. Parmi ces outils, le langage de programmation qui occupe une place sans doute importante dans le domaine d'informatique. D'une importance capitale pendant les phases de réalisation et la maintenance du logiciel, son choix devient par ce fait très délicat.

Pour notre projet, le langage de programmation choisi est le *Visual Basic 6.0* (VB).

Visual Basic (VB) est outil puissant pour le développement des applications Windows, ses possibilités orientées objets et son approche basée sur les composants qui permettent d'améliorer la réutilisation du code VB.

Il associe la vitesse et la convivialité d'un environnement de développement visuel à la puissance et à la souplesse d'un langage objet au compilateur le plus rapide au monde et à une technologie de Base de Données de pointe.

4.4. Modélisation du système

Nous allons par la suite, modéliser notre système avec le langage UML.

4.4.1. Description du système

Le Traitement Automatique de la Parole (TAP) possède plusieurs axes de recherche, parmi lesquels on trouve la synthèse de la parole et la Reconnaissance Automatique de la Parole (RAP).

Plusieurs chercheurs s'intéressent aux techniques de la RAP nous y trouvons la RAP pathologique. En ce qui concerne cette dernière, nous nous sommes intéressées à élaborer un système pour la détection des troubles de la parole, notamment, les troubles d'articulation.

Pour mieux comprendre notre système, nous allons le modéliser sous une forme de cas d'utilisation, ce qui permet de suivre un critère de décomposition fonctionnelle, dont les besoins peuvent être exprimés.

Un acteur représente un rôle joué par une personne externe, ou un processus qui interagit avec le système. Un acteur principal regroupe les personnes qui utilisent les fonctions principales du système, dans notre système, nous avons deux acteurs principaux : l'expert et les utilisateurs (figure 4.1).

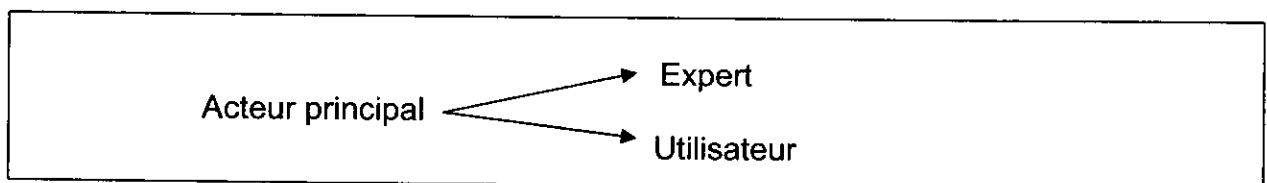


Figure 4.1 : Les acteurs de système.

4.4.2. Les diagrammes de cas d'utilisation

Nous pouvons distinguer les deux cas suivants (figure 4.2) :

- ajouter un nouveau trouble ;
- détecter un trouble d'articulation.

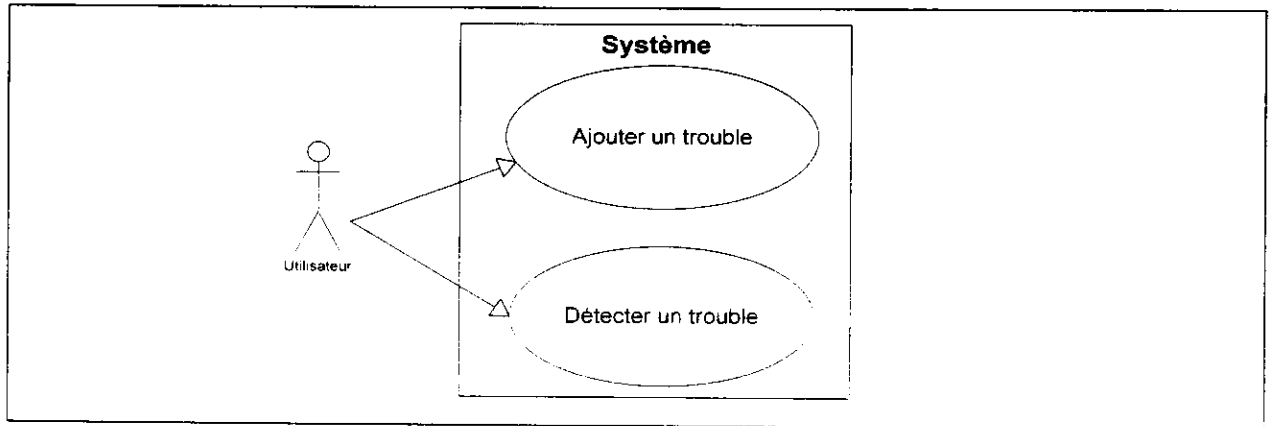


Figure 4.2 : Diagramme de cas d'utilisation générale d'application de système proposé.

4.4.2.1. Ajouter un trouble

Un expert peut ajouter un trouble tout en suivant ce processus :

Etape 1

- définir un trouble d'articulation **x** ;
- définir tous les phonèmes considérés comme pathologiques dans ce trouble ;
- choisir un patient **A** qui possède le trouble d'articulation **x** ;
- définir un ensemble **M** de 9 phrases par phonème [P], adéquates au trouble **x**, à prononcer par le patient **A** ;
- enregistrer le corpus de phrases adéquats aux mots de **M** prononcés par le patient **A** (utiliser **Praat**), puis les stocker dans la **BDP** ;
- segmenter et étiqueter par **Praat** le corpus enregistré en mots, syllabes et phonèmes pour obtenir l'ensemble de phonèmes souhaités [Y] (segments de son) ;
- analyser les segments comme suit : visualiser les formants des phonèmes [Y] selon les trois positions en AS (Initiale, Médiane et Finale) pour chaque voyelle choisie, les stocker dans la **BDP**, puis enregistrer les valeurs moyennes de chacun de ces formants. Nous obtenons alors pour un phonème **Y** :

$P_{P.fatha} (F_1, F_2, F_3, F_4) ;$

$P_{P.damma} (F_1, F_2, F_3, F_4) ;$

$P_{P.kasra} (F_1, F_2, F_3, F_4) ;$

- répéter le même processus pour les autres phonèmes pathologiques.

Etape 2

- choisir un locuteur **B** non pathologique ;
- répéter les processus de l'étape 1 pour le même corpus de phrases qui contiennent les phonèmes en question pour le locuteur **B**, afin d'obtenir la **BDN**.

Nous avons deux cas possibles pour un phonème :

- pathologique ;
- normal.

[**P_P**] le Phonème dans le cas Pathologique.

[**P_N**] le Phonème dans le cas Normal.

Etape 3

Après le calcul des valeurs moyennes des formants pour un phonème dans ses trois positions et avec les trois voyelles courtes de l'AS, nous obtenons pour chaque phonème [**P**] avec une voyelle [**v_i**] (avec [**v_i**] ≡ [a], [u], [i] et $F_{iM} = F_{iMoyenne}$) :

$$F_{1M} = (F_{1.debut} + F_{1.médiane} + F_{1.fin})/3$$

$$F_{2M} = (F_{2.debut} + F_{2.médiane} + F_{2.fin})/3$$

$$F_{3M} = (F_{3.debut} + F_{3.médiane} + F_{3.fin})/3$$

$$F_{4M} = (F_{4.debut} + F_{4.médiane} + F_{4.fin})/3$$

Alors, pour un phonème dans les deux cas (pathologique ou normal) , nous obtenons les valeurs suivantes :

$$P_{P.fatha} (F_{1M}, F_{2M}, F_{3M}, F_{4M}),$$

$$P_{N.fatha} (F_{1M}, F_{2M}, F_{3M}, F_{4M}),$$

$$P_{P.damma} (F_{1M}, F_{2M}, F_{3M}, F_{4M}),$$

$$P_{N.damma} (F_{1M}, F_{2M}, F_{3M}, F_{4M}),$$

$$P_{P.kasra} (F_{1M}, F_{2M}, F_{3M}, F_{4M}),$$

$$P_{N.kasra} (F_{1M}, F_{2M}, F_{3M}, F_{4M}),$$

- calcul de la distance phonémique ;

Après l'obtention des valeurs des formants, l'étape suivante est de calculer la distance entre le phonème dans le cas normal et son similaire dans le cas Pathologique, en utilisant la distance euclidienne (c'est la plus simple à calculer).

Alors la **distance formantique** est égale à :

$$\text{Distance} ([P_N], [P_P]) = \sqrt{(F_{N1M} - F_{P1M})^2 + (F_{N2M} - F_{P2M})^2 + (F_{N3M} - F_{P3M})^2 + (F_{N4M} - F_{P4M})^2} \quad (4.2)$$

Cette distance est appelée distance de référence, c'est-à-dire la distance pour laquelle on peut identifier si le phonème d'une personne quelconque est pathologique ou non, et ceci est réalisable après le calcul d'une nouvelle distance entre le phonème normal (existant dans la BDN), et son similaire de personne de test.

D'après l'étude des cas précédents, nous pouvons définir trois sous fonctions incluses dans la fonction principale « Ajouter un trouble » (figure 4.3) :

- définition du trouble x ;
- enregistrement des formants d'un phonème associé au trouble x ;
- calcul de la distance formantique du phonème en question.

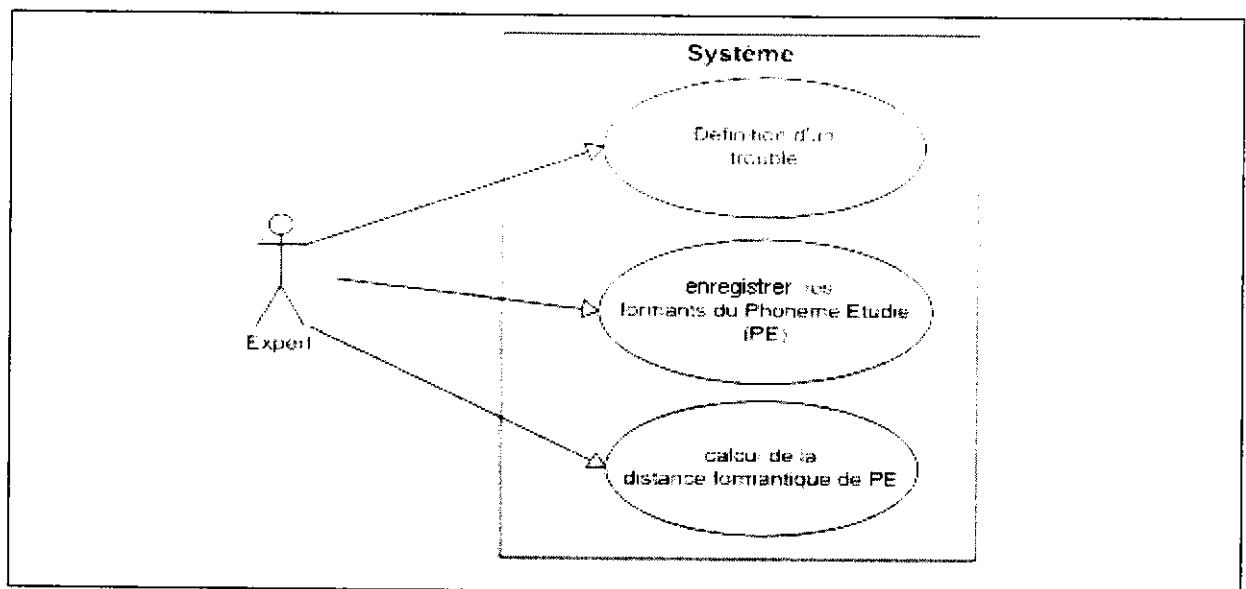


Figure 4.3 : Diagramme de cas d'utilisations de l'expert.

Alors les cas d'utilisation de l'**expert** peuvent être résumés dans les paragraphes suivants.

4.4.2.2. Définir le trouble

Cette fonction permet de définir un nouveau trouble (figure 4.4).

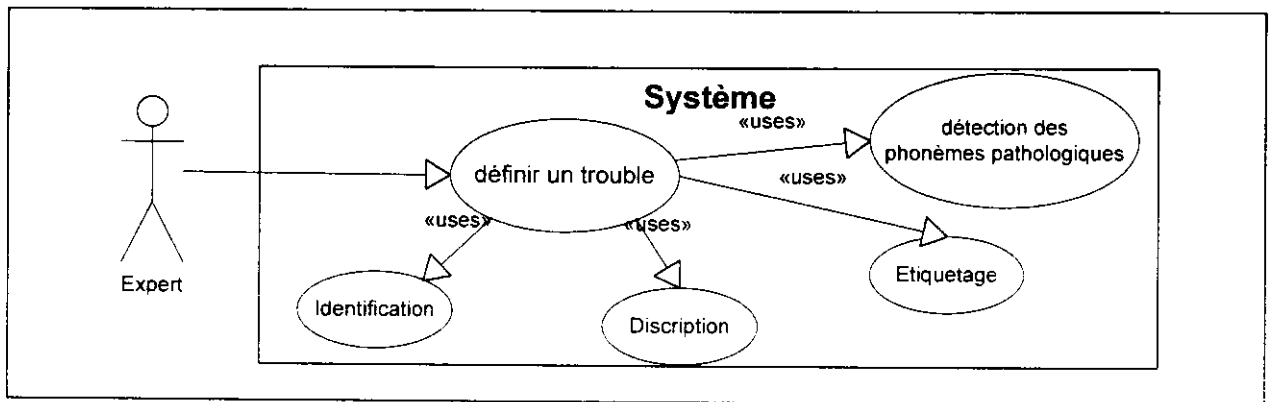


Figure 4.4 : Diagramme de cas d'utilisation pour la définition d'un trouble.

4.4.2.3. Enregistrement des formants de(s) phonème(s) associées au trouble en question

Cette fonction permet à l'expert de déterminer les phonèmes du trouble défini a priori et d'extraire les formants de ces phonèmes (figure 4.5).

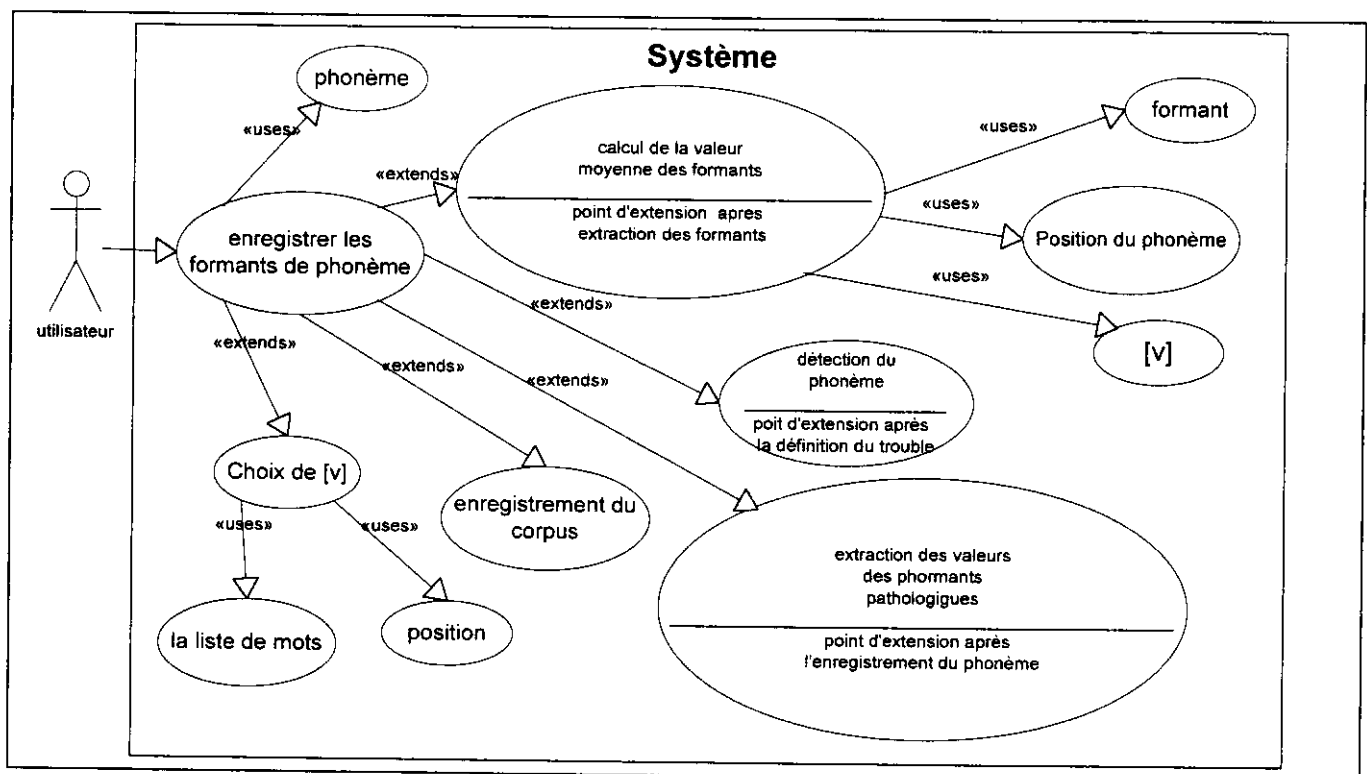


Figure 4.5 : Diagramme d'utilisation pour enregistrer les formants du phonème étudié.

4.4.2.4. Calcul de la distance formantique

Cette fonction permet de calculer les distances entre deux phonèmes (figure 4.6).

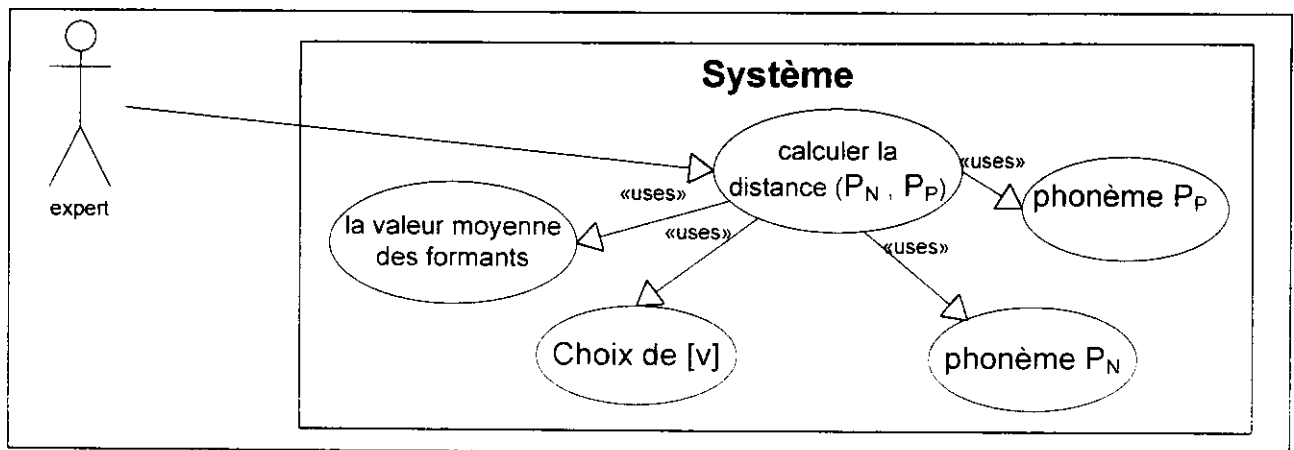


Figure 4.6 : Diagramme de cas d'utilisation pour le calcul de distance.

4.4.2.5. Détection du trouble

Un utilisateur peut détecter son trouble d'articulation, à l'aide de l'expert du système, tout en suivant le processus suivant :

Etape 1

- choisir un phonème parmi une liste, pour laquelle l'utilisateur présente un problème lors de sa prononciation ;
- Après le choix de la voyelle, on obtient une liste des phrases contenant des mots faisant apparaître le phonème en question, dont la forme syllabique [CV] ([C] : consonne choisie, [V] : voyelle choisie) apparaît en diverses positions (début, médiane et finale du mot) ;
- l'expert enregistre la prononciation de chaque phrase à l'aide de Praat ;
- l'expert utilise Praat pour segmenter les mots, afin d'extraire les segments qui contiennent la consonne en question puis l'enregistre après visualisation des formants de ce segment.
- calculer les valeurs moyennes des formants de l'utilisateur ;
- calculer la distance entre le phonème de l'utilisateur et le Phonème Normal ;
- lancer le test.

On peut aussi décomposer la fonction principale « détecter le trouble » en deux autres sous fonctions :

- enregistrement des formants du phonème ;
- tester le phonème.

Les cas d'utilisation de l'utilisateur peuvent être résumés dans les paragraphes suivants.

4.4.2.6. Enregistrement des formants des phonèmes de l'utilisateur

Cette fonction permet d'enregistrer les formants (figure 4.7).

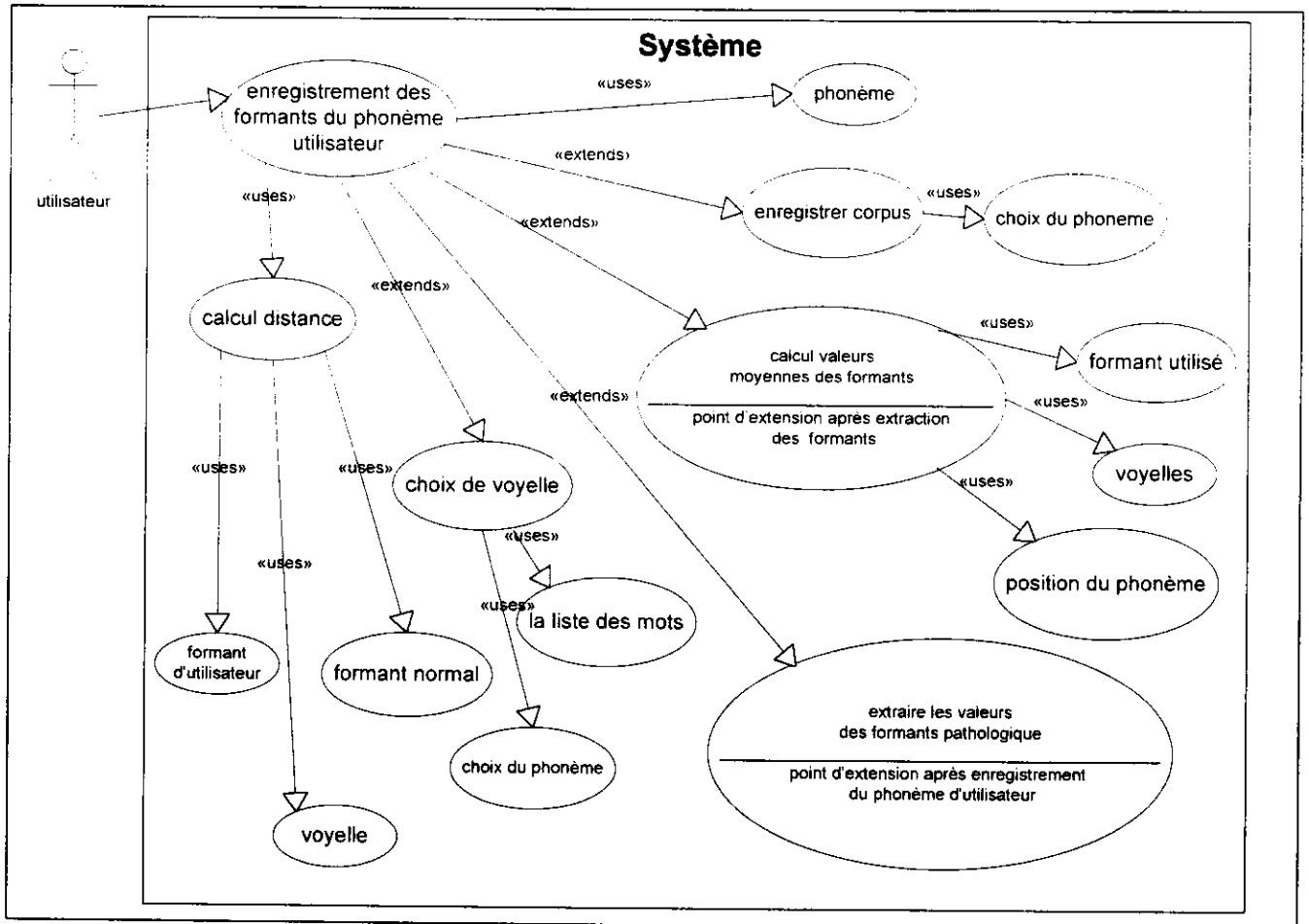


Figure 4.7: Diagramme de cas d'utilisation pour l'enregistrement des formants du phonème d'utilisateur.

4.4.2.7. Test du phonème

Cette fonction permet d'évaluer le phonème de l'utilisateur s'il est pathologique ou non (figure 4.8).

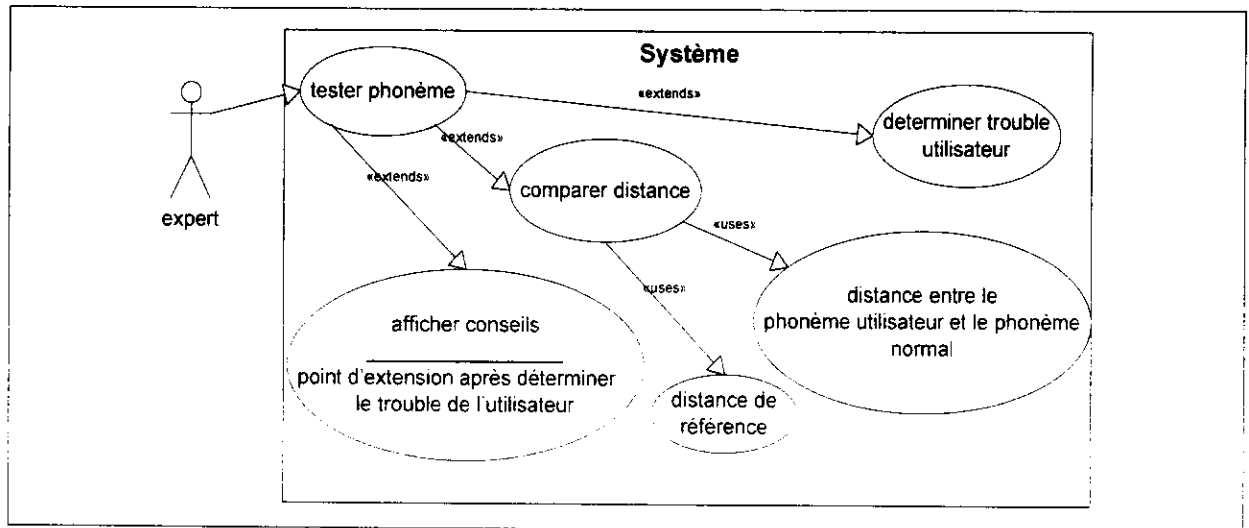


Figure 4.8 : Diagramme de cas d'utilisation pour le test phonème de l'utilisateur.

4.4.3. Diagrammes des séquences et scénarios

Dans la section suivante nous allons détailler les cas des utilisations précédentes avec des scénarios et leurs diagrammes de séquences correspondantes.

Scénario 1: Définition d'un trouble (figure 4.9) :

- l'expert saisit les informations transmises au système tels que :
 - le code du trouble ;
 - le libellé du trouble.
- le système valide et enregistre les informations dans la table trouble ;
- le système renvoie le code du nouveau trouble.

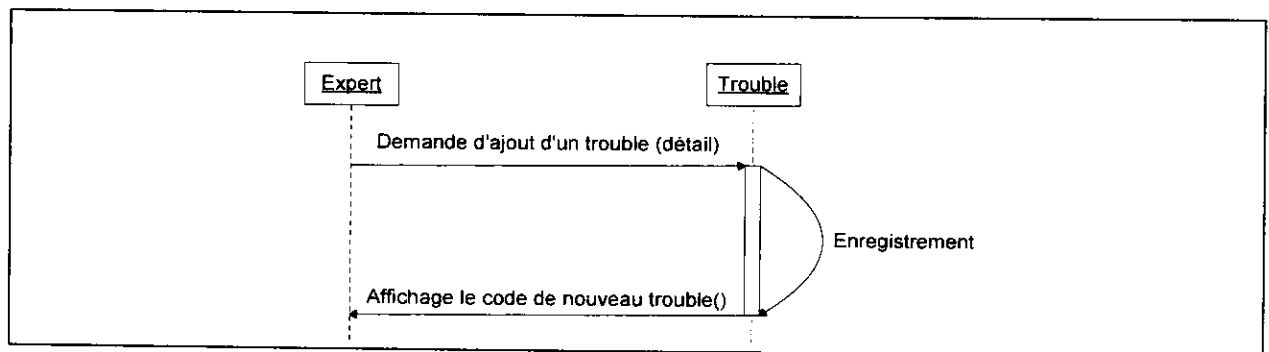


Figure 4.9 : Diagrammes des séquences de définition d'un trouble.

Scénario 2 : enregistrer les formants d'un trouble (figure 4.10) :

- l'expert détermine le(s) phonème(s) du trouble ;
- l'expert saisit les informations de l'utilisateur présentant le trouble en question ; dans la table locuteur pathologique ;
- l'expert fait l'enregistrement de 9 phrases qui contiennent le phonème associé au trouble a priori dans différentes positions à l'aide de Praat ;
- l'expert segmente par Praat le corpus enregistré, afin d'obtenir les phonèmes dans différents contextes vocaliques (les voyelles Fatha, Damma et Kasra) puis les enregistrer dans la **BDP**.

Nous avons deux types de BD.

BDN : Base de Données Normales ou saines qui contient les segments sonores normaux, propres à des sujets normaux ;

BDP : Base de Données Pathologiques qui contient les segments sonores pathologiques qui correspondent à des sujets pathologiques :

- l'expert lance le calcul des valeurs de formants sonores ;
- enregistrement de la BD, les valeurs moyennes des formants du phonème [P] dans ses trois positions avec une voyelle **[V]** ([V] ≡[a], [u], [i]).

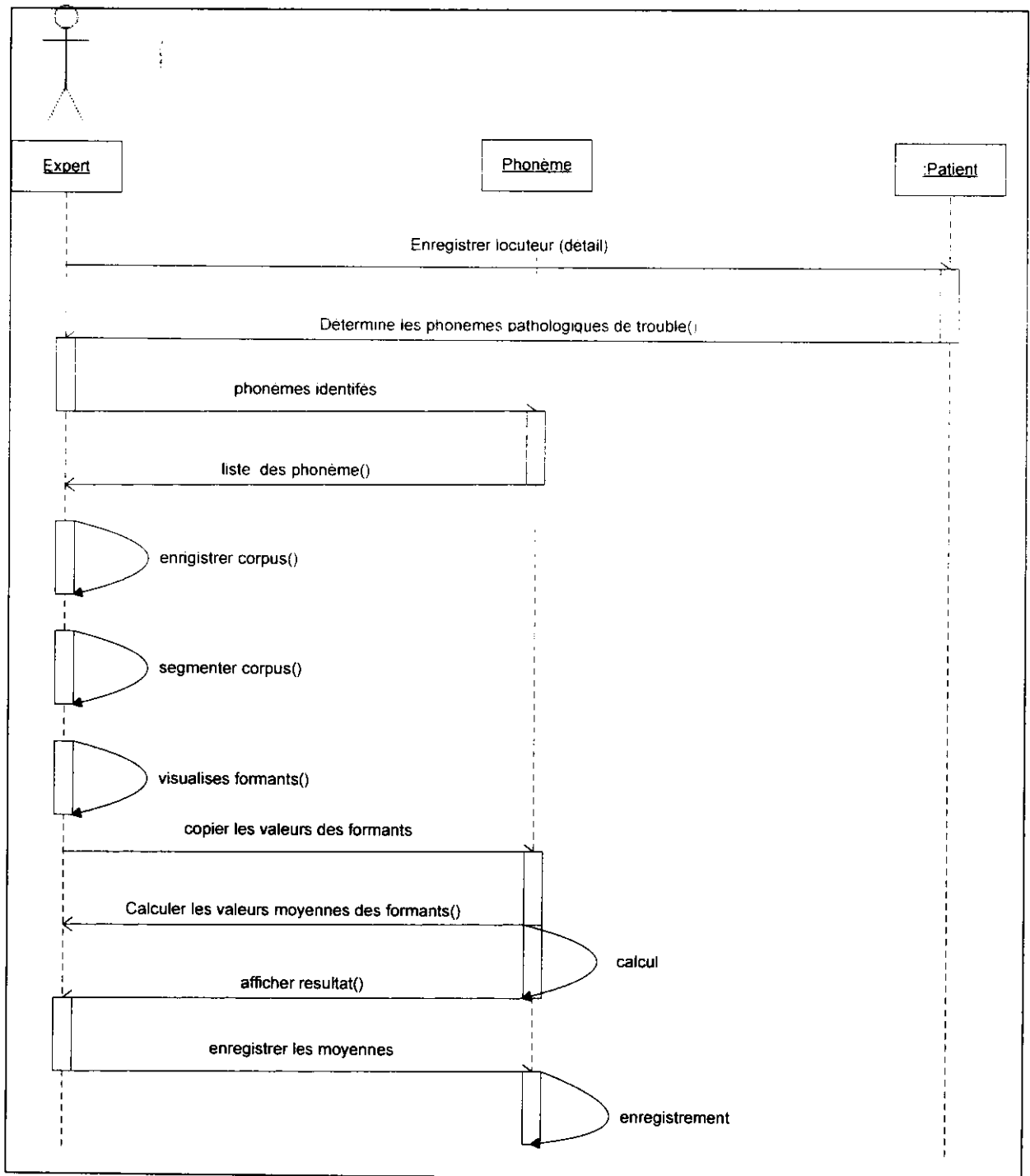


Figure 4.10 : Diagrammes des séquences de l'enregistrement les formants d'un trouble.

Scénario 3 : calculer la distance entre les formants des phonèmes (figure 4.11) :

- l'expert demande d'effectuer le calcul de la distance euclidienne entre les formants de [P_P] et [P_N];
- le système affiche le résultat.

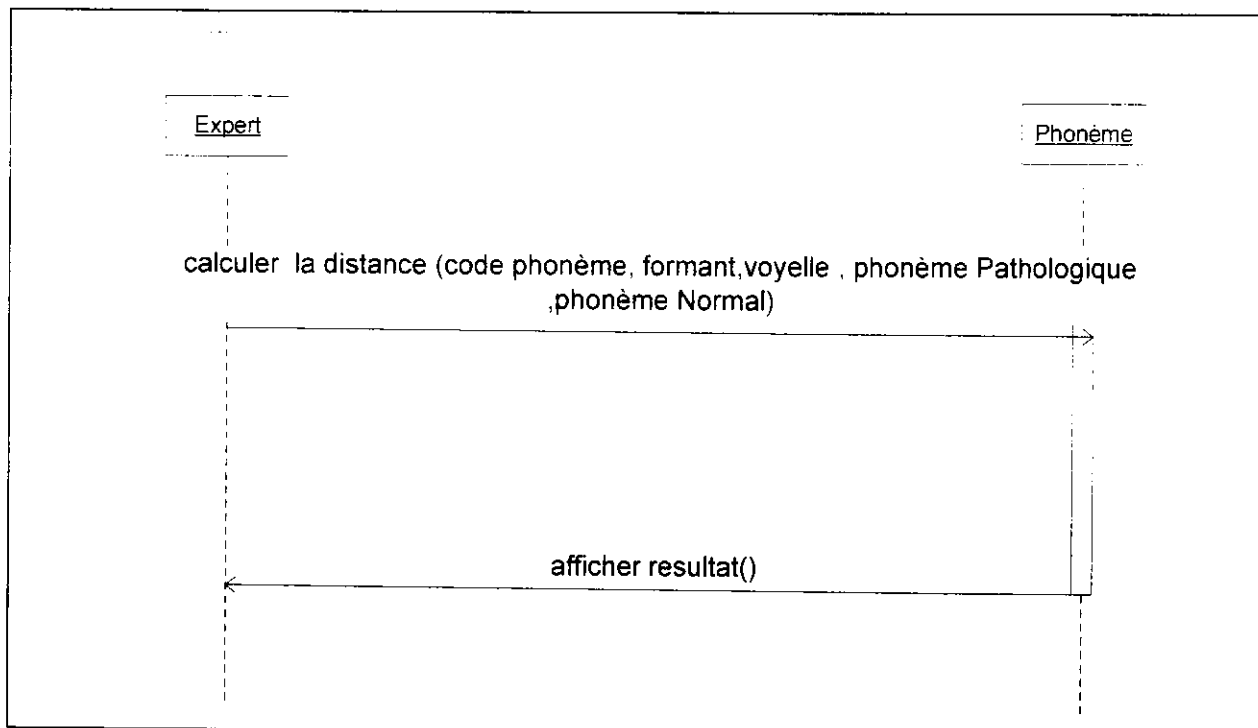


Figure 4.11: Diagrammes des séquences de calcul de distance entre les formants des phonèmes.

Scénario 4 : enregistrer les formants des phonèmes (figure 4.12) :

- l'utilisateur demande la détection d'un trouble (s'il existe) ;
- le système demande de choisir un phonème (consonne) et une voyelle, où l'utilisateur croit avoir un problème lors de la prononciation ;
- l'utilisateur choisit une consonne et une voyelle ;
- le système affiche la liste des phrases ;
- l'expert enregistre la prononciation de chaque phrase à l'aide de Praat, puis la segmente pour extraire le phonème en question, et visualise les formants associés ;
- l'expert demande d'effectuer le calcul des valeurs moyennes des formants ;
- le système affiche le résultat puis l'enregistre dans la table formant_moyennes.

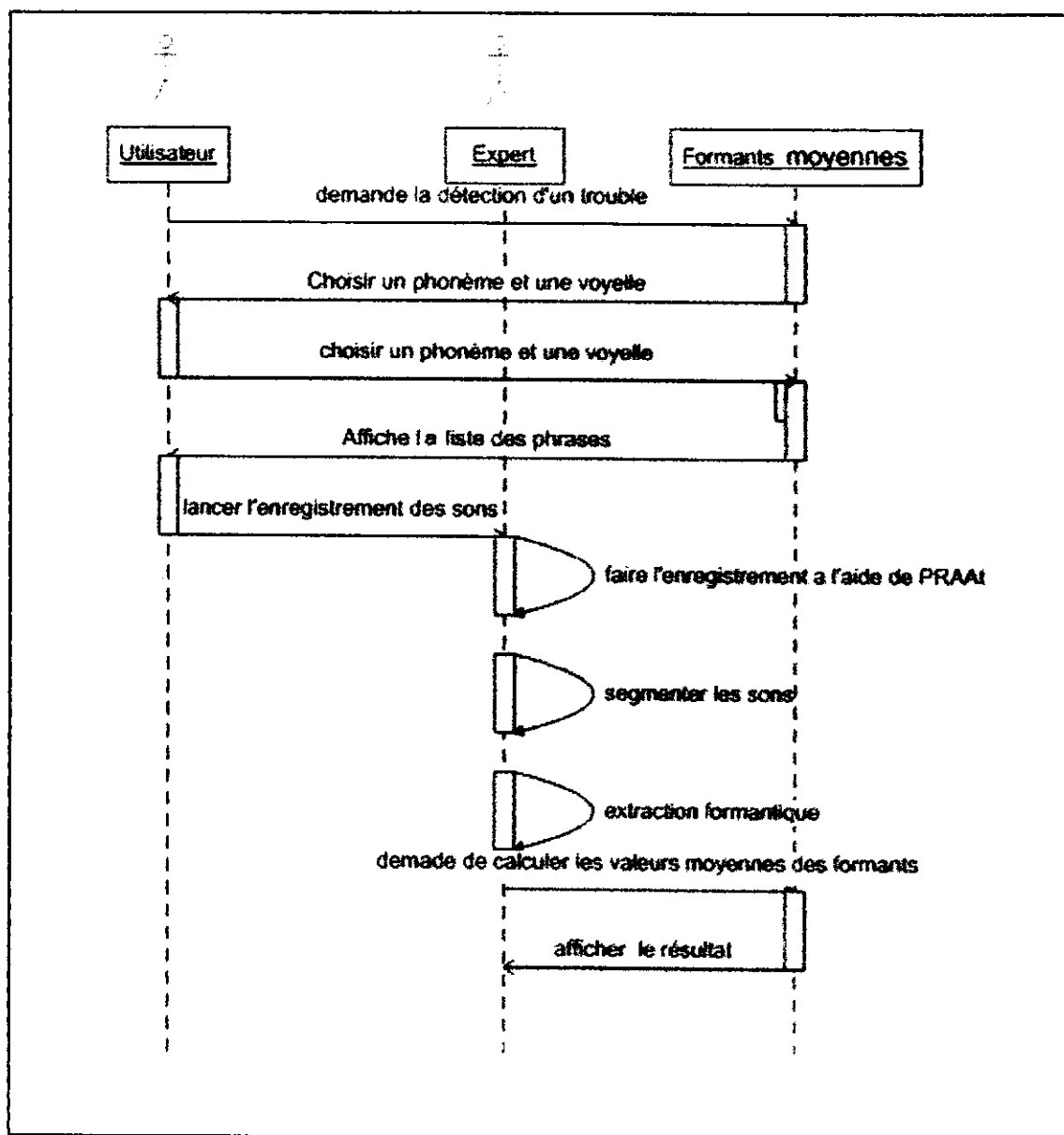


Figure 4.12 : Diagrammes des séquences d'enregistrement des formants des phonèmes.

Scénario 5 : Tester le phonème (figure 4.13) :

- l'expert demande d'effectuer le calcul de la distance entre le phonème de l'utilisateur [P_P] et le phonème Normal [P_N] ;
- le système calcule, puis affiche le résultat ;
- l'expert demande de trouver la distance de référence, il saisit :
 - le libellé du phonème ;
 - la voyelle ;
- le système recherche la distance demandée, puis l'affiche ;

- l'expert lance la comparaison des distances ;
- le système effectue la comparaison, puis affiche comme résultat le nom du trouble.

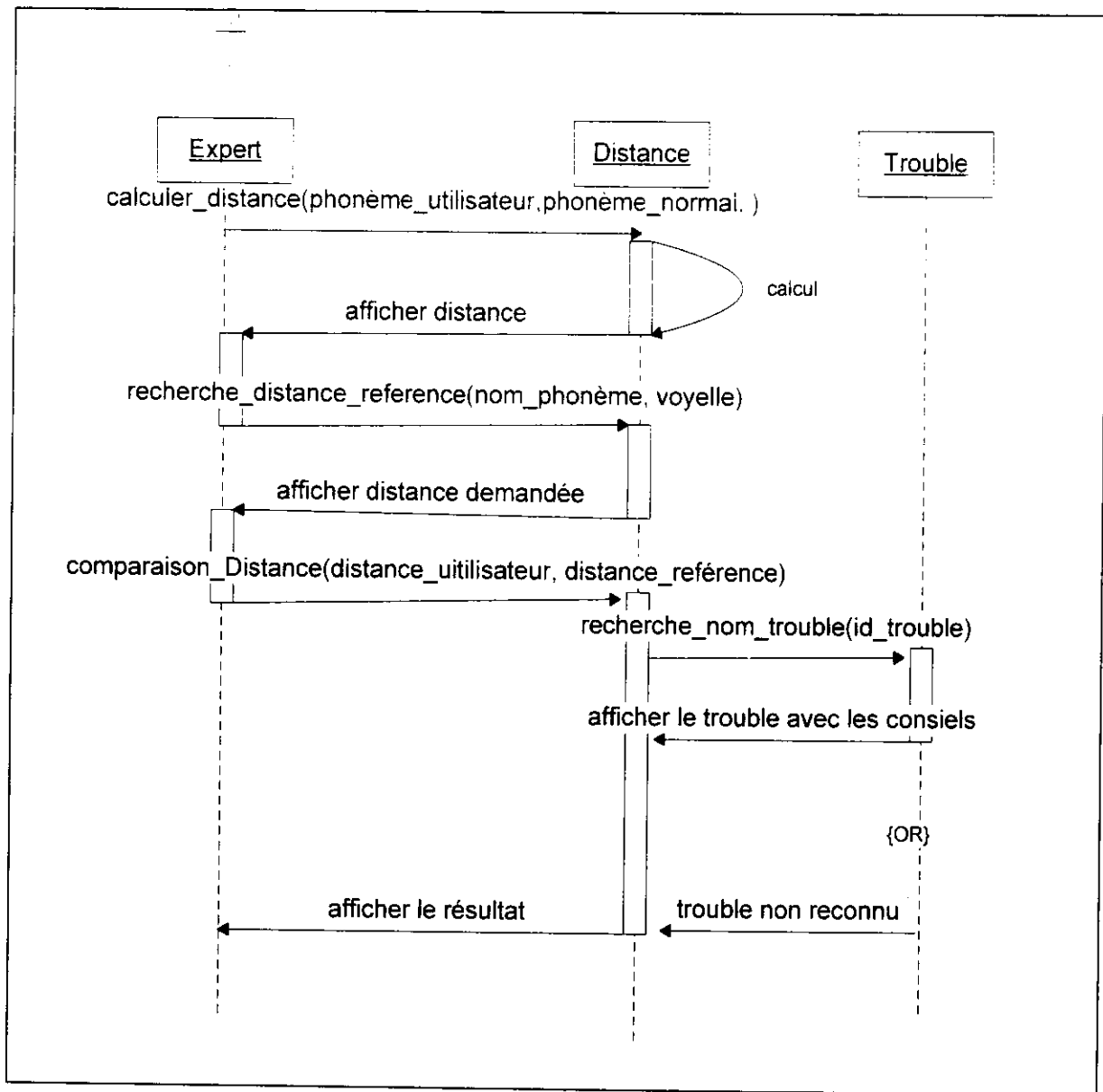


Figure 4.13: Diagramme de séquences de tester le phonème.

4.4.4. Le diagramme de classe

Le diagramme qui modélise notre système est le suivant (figure 4.14) :

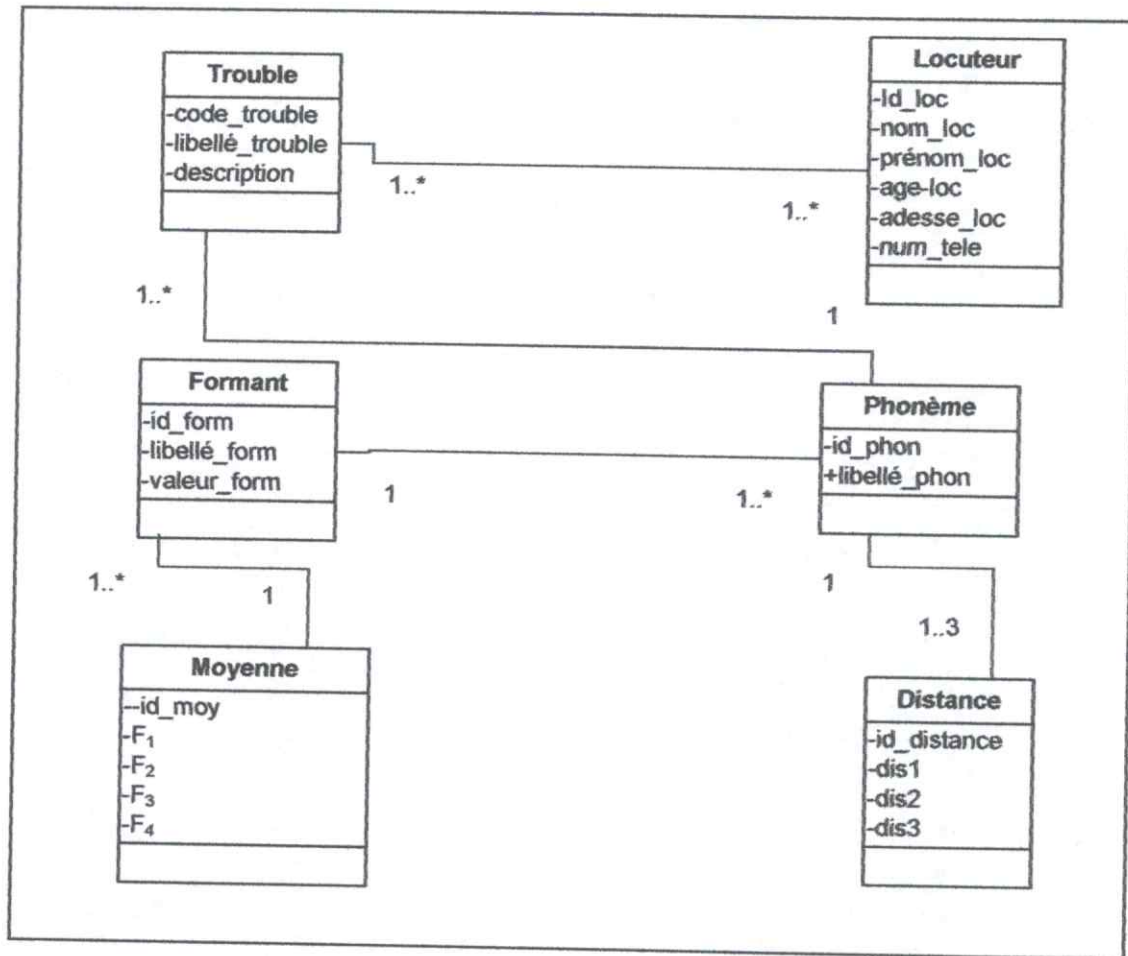


Figure 4.14 : Diagramme de classes.

4.5. Sonagramme des mots choisis

Nous présentons ici les sonagrammes des différents mots enregistrés avec le logiciel Praat.

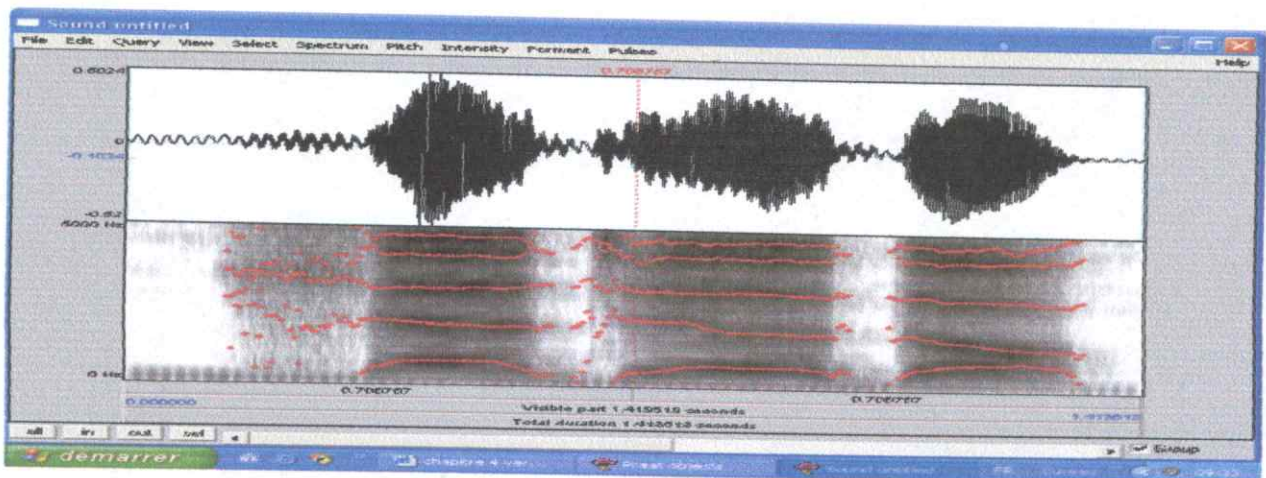


Figure 4.15 : Spectrogramme de [سجد] Normale.

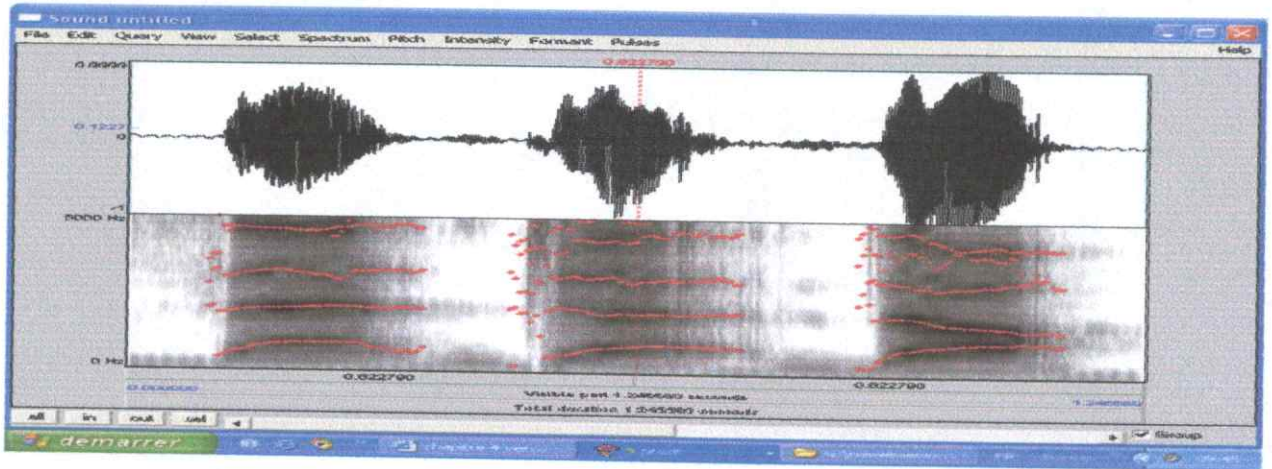


Figure 4.16 : Spectrogramme de [سجد] Pathologique.

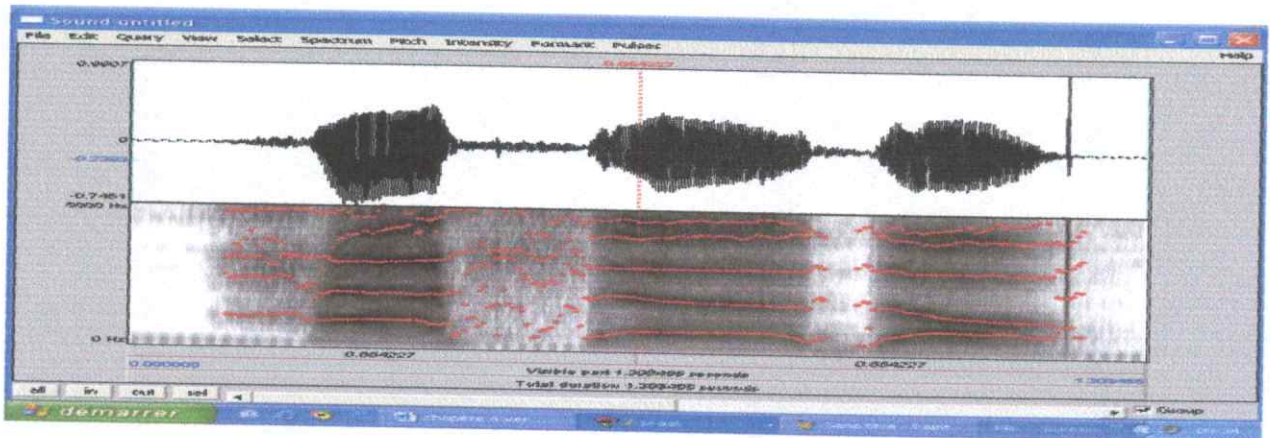


Figure 4.17 : Spectrogramme de [حصد] Normale.

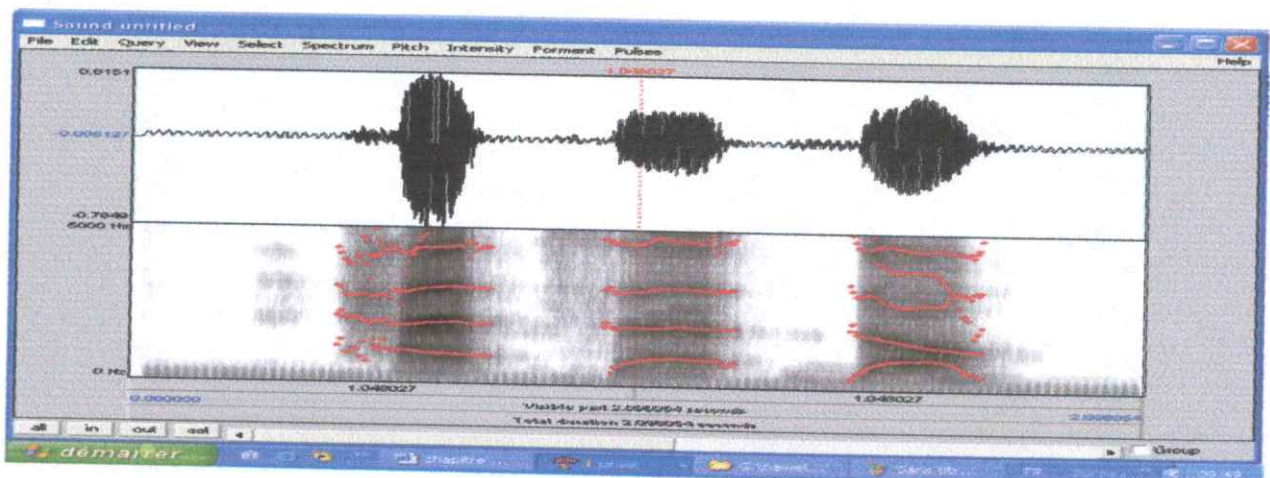


Figure 4.18 : Spectrogramme de [حصد] Pathologique.

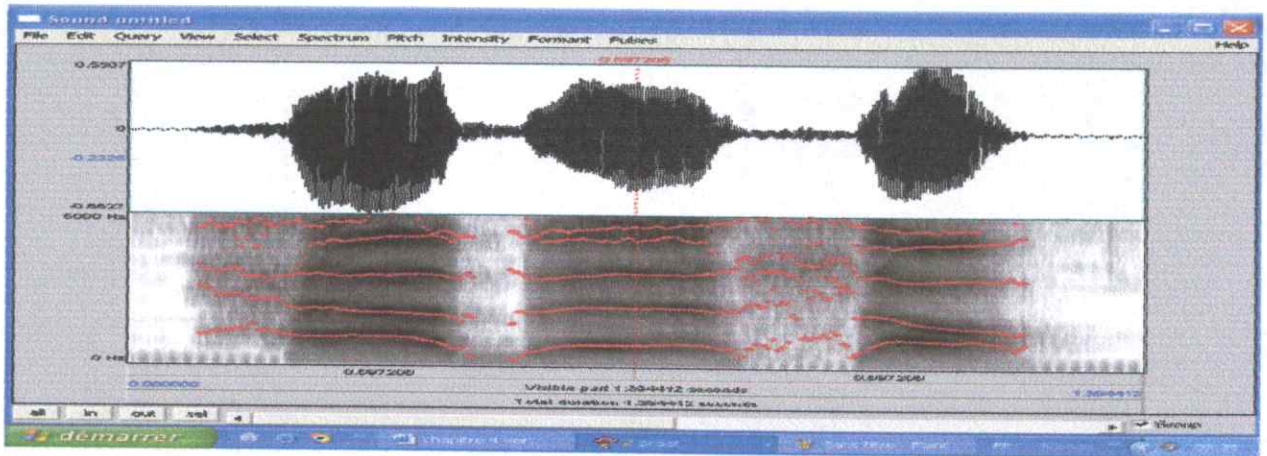


Figure 4.19 : Spectrogramme de [حيس] Normale.

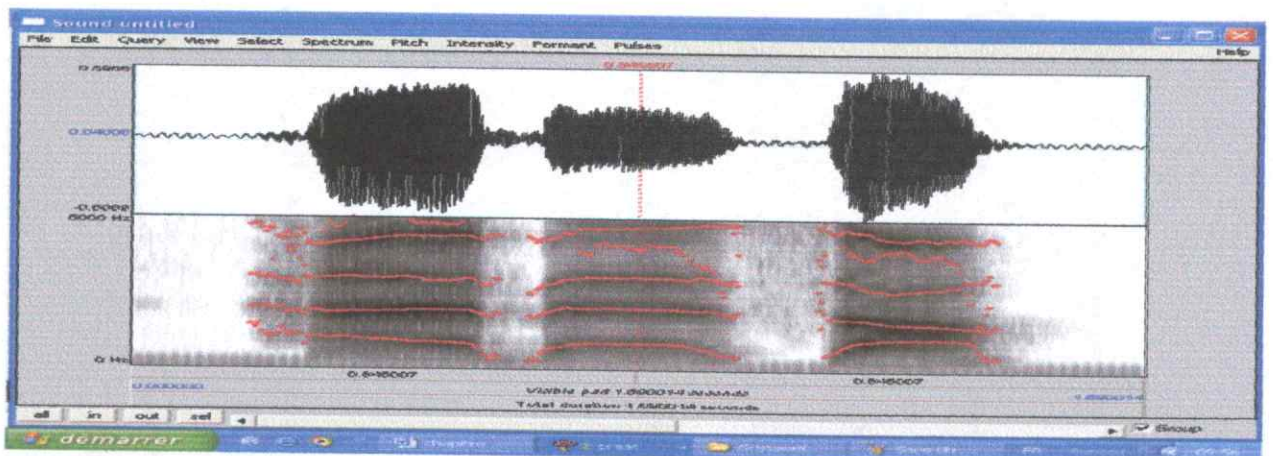
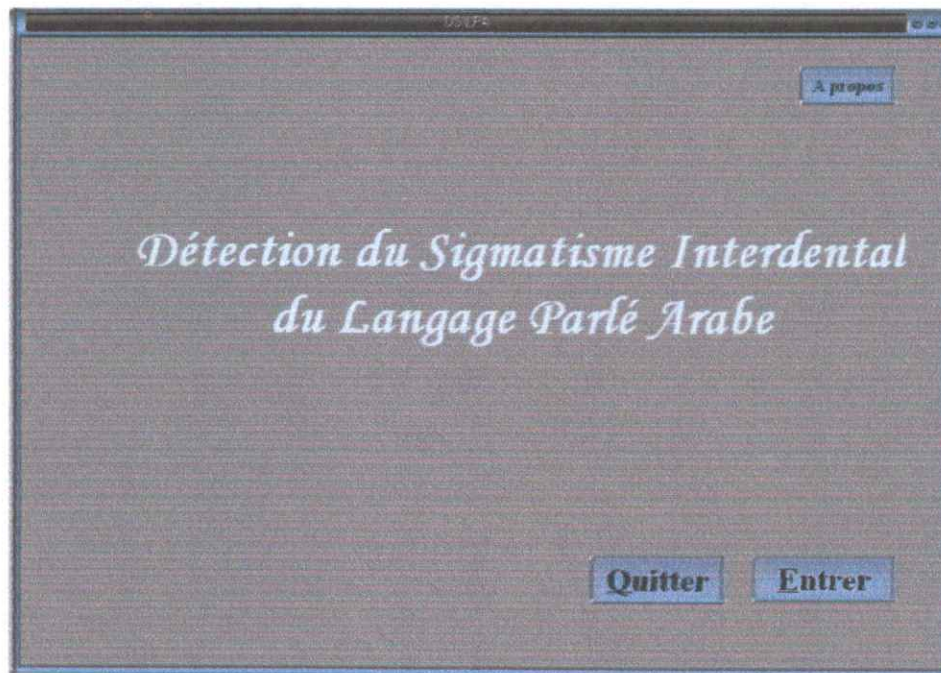


Figure 4.20 : Spectrogramme de [حيس] pathologique.

4.6. Description du logiciel de DSILPA (Détection du Sigmatisme Interdental de Langage Parlé Arabe)

La fenêtre principale de notre application :

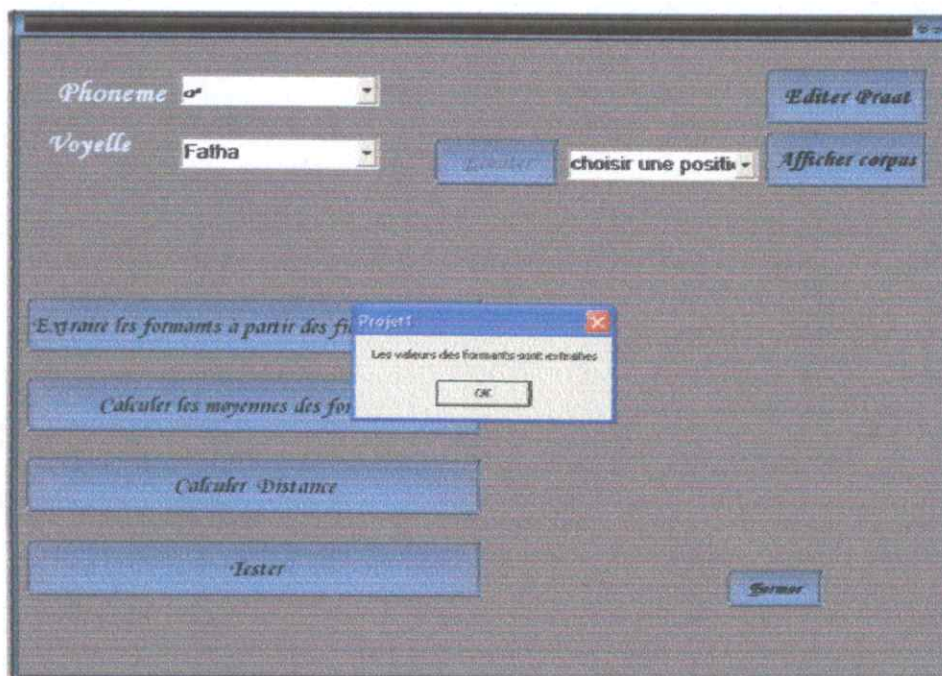


Cette fenêtre principale contient les boutons suivants :

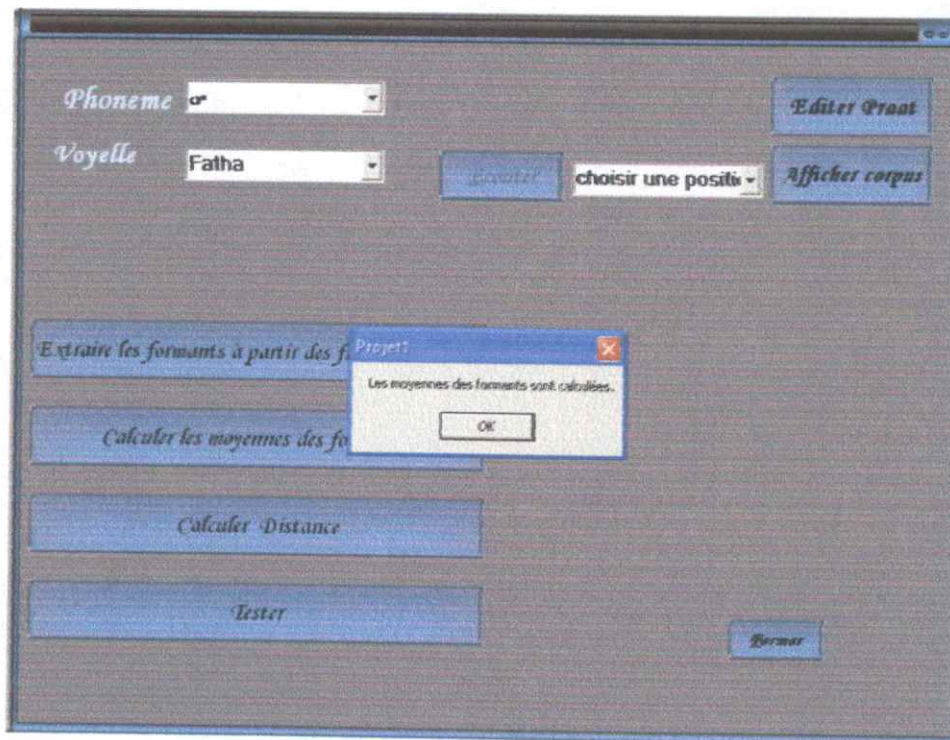
- Entrer : pour lancer le test ;
- Quitter : pour quitter l'application ;
- A propos.

La fenêtre de test contient les boutons suivants :

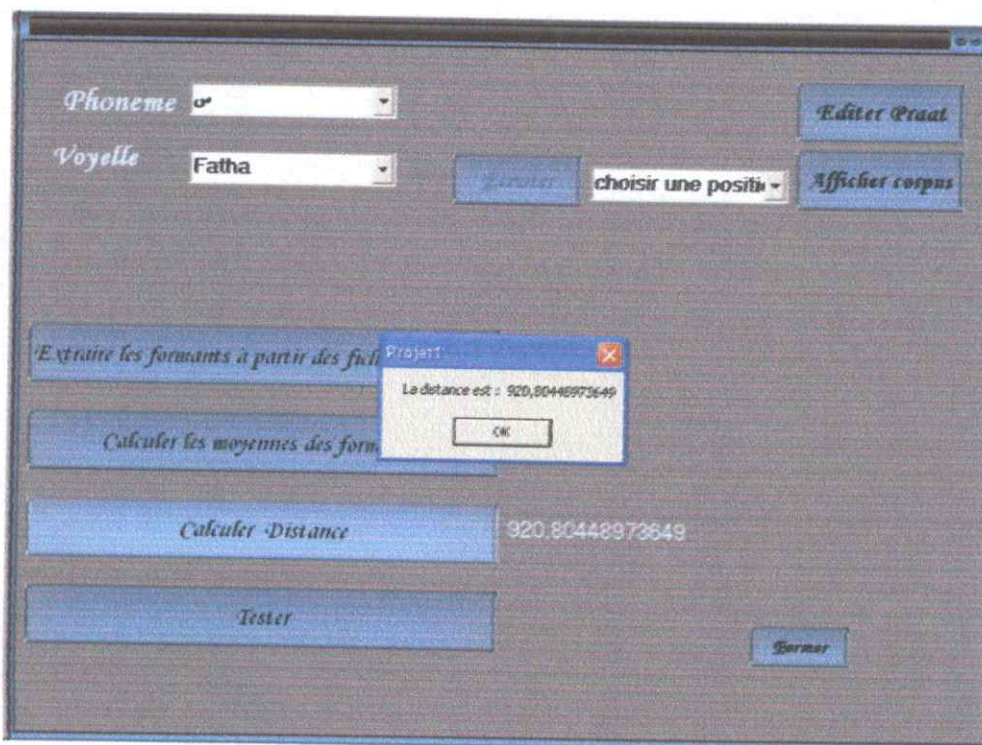
Extraire les formants à partir fichiers textes : permet la copie des valeurs des formants stockés dans la BDP.



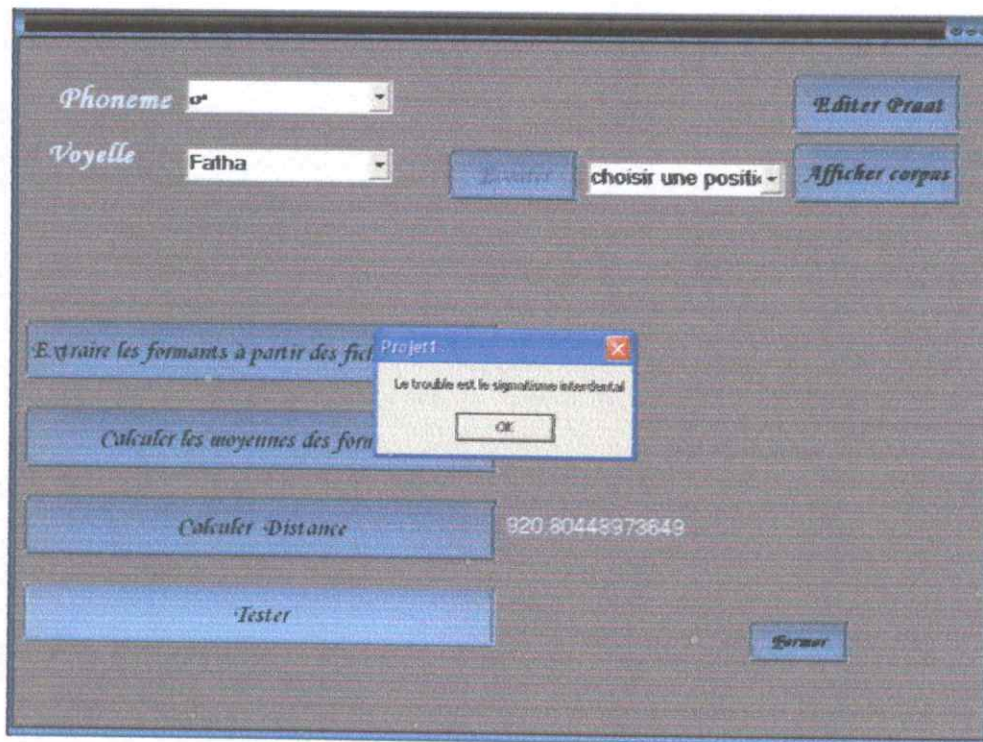
Calcul les moyennes des formants : permet le calcul des valeurs moyennes des formants.



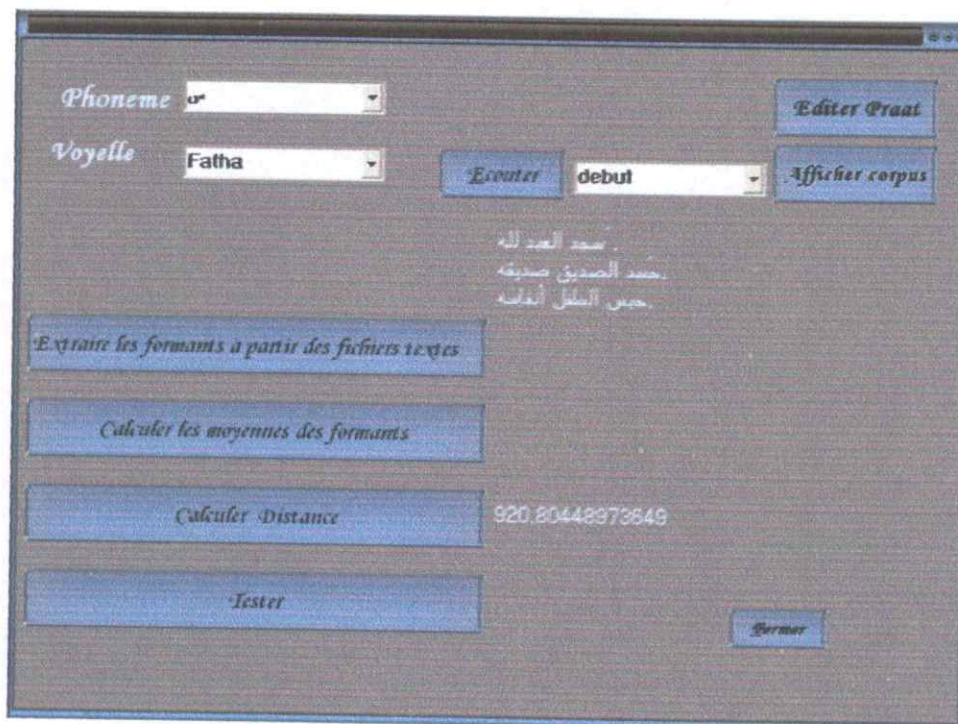
Calcul distance : ce bouton fait le calcul de distance et l'affiche.



Tester : Ce bouton compare la distance d'entrée avec la distance de référence stockée dans la BD, et affiche le résultat s'il est normal ou pathologique.



Afficher le corpus : permet l'affichage du corpus.



Ecouter : permet d'entendre la phrase contenant le phonème en question.

Editer Praat : Fait appel au logiciel d'analyse Praat.

4.7. Résultats et commentaires

Pour évaluer notre travail, nous avons pris quelques mots du corpus (sain et pathologique) présentant des phonèmes [s] et [z], dans différentes positions (initiale, médiane et finale) et différents contextes vocaliques (fatha=[a], damma=[u]et kasra=[i]) , nous avons obtenus les résultats suivantes :

4.7.1. Les valeurs des formants de phonème [s] normal

- avec la voyelle [a]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Les Formants de phonème [s] avec [a].

Formant (Hz)	[sa1] (Hz)	[sa2] (Hz)	[sa3] (Hz)	Moyenne (Hz)
F1	2104,4939	1195,22034	1443,35864	1581,02429
F2	3748,12354	2910,24414	2567,02246	3075,13005
F3	4718,88232	4292,50342	3568,72339	4193,36971
F4	5394,88232	5069,80322	4690,31397	5051,6665

- avec la voyelle [u]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Les Formants de phonème [s] avec [u].

Formant (Hz)	[so1] (Hz)	[so2] (Hz)	[so3] (Hz)	Moyenne (Hz)
F1	1621,148804	297,078094	240,591721	719,6062063
F2	2907,231934	2164,967773	2169,766846	2413,988851
F3	4139,587402	3014,665771	3911,723633	3688,658935
F4	4565,29248	4419,59375	4067,75415	4350,880127

- avec la voyelle [i]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.3.

Tableau 4.3 : Les Formants de phonème [s] avec [i].

Formant (Hz)	[si1] (Hz)	[si2] (Hz)	[si3] (Hz)	Moyenne (Hz)
F1	1153,026733	2026,754395	1127,53186	1435,770996
F2	2163,945068	3363,538086	2936,439941	2821,307698
F3	2841,706543	3956,490479	4292,081055	3696,759359
F4	4364,37207	5279,475586	5244,124023	4962,657226

4.7.2. Les valeurs des formants de phonème [s] pathologique ([s] pathologique = [s'])

- avec la voyelle [a]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4 : Les Formants de phonème [s'] avec [a].

Formant (Hz)	[s'a1] (Hz)	[s'a2] (Hz)	[s'a3] (Hz)	Moyennes (Hz)
F1	1669,505005	1182,23761	1032,758057	1294,833557
F2	3344,498779	2586,002075	2684,29248	2871,597778
F3	3460,158447	3459,515625	3444,421631	3454,698568
F4	5409,034668	4398,790161	4078,223145	4628,682658

- avec la voyelle [u]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5 : Les Formants de phonème [s'] avec [u].

Formant (Hz)	[s'o1] (Hz)	[s'o2] (Hz)	[s'o3] (Hz)	Moyennes (Hz)
F1	1952,397522	650,079773	1925,284302	1509,253866
F2	3043,127563	2876,893799	2693,091797	2871,03772
F3	3573,211914	3368,525146	3558,395264	3500,044108
F4	4719,375	4558,917236	4774,003906	4684,098714

- avec la voyelle [i]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.6.

Tableau 4.6 : Les Formants de phonème [s'] avec [i].

Formant (Hz)	[s'i1] (Hz)	[s'i2] (Hz)	[s'i3] (Hz)	Moyennes (Hz)
F1	1721,976501	880,362061	840,572693	1147,637085
F2	3104,989136	2073,990967	2273,849609	2484,276571
F3	3722,055786	3426,049316	3371,693604	3506,599569
F4	4941,924805	3567,77832	3734,754639	4081,485921

- calcul de distance entre le [s]normal et[s'] pathologique

Les différentes distances pathologiques sont représentées dans le tableau 4.7, le tableau 4.8 et le tableau 4.9.

Tableau 4.7 : La distance pathologique entre [s] et [s'] avec [a].

	F _{1M} (Hz)	F _{2M} (Hz)	F _{3M} (Hz)	F _{4M} (Hz)
[sa]	1581,02429	3075,13005	4193,36971	5051,6665
[s'a]	1294,83356	2871,59778	3454,69857	4628,68266
Dist1 ([sa], [s'a]) (Hz)	920,804486			

Tableau 4.8 : La distance pathologique entre [s] et [s'] avec [u].

	F _{1M} (Hz)	F _{2M} (Hz)	F _{3M} (Hz)	F _{4M} (Hz)
[so]	719,606206	2413,98885	3688,65894	4350,88013
[s'o]	1509,25387	2871,03772	3500,04411	4684,09871
Dist2 ([so], [s'o]) (Hz)	989,46818			

Tableau 4.9 : La distance pathologique entre [s] et [s'] avec [i].

	F _{1M} (Hz)	F _{2M} (Hz)	F _{3M} (Hz)	F _{4M} (Hz)
[si]	1435,771	2821,3077	3696,75936	4962,65723
[s'i]	1435,771	2484,27657	3506,59957	4081,48592
Dist3 ([si],[s'i]) (Hz) (Hz)	1004,60677			

4.7.3. Les valeurs des formants de phonème [z] normal

- avec la voyelle [a]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.10.

Tableau 4.10 : Les Formants de phonème [z] avec [a].

Formant (Hz)	[za1] (Hz)	[za2] (Hz)	[za3] (Hz)	Moyennes (Hz)
F1	1001,33728	1775,038574	242,260605	1006,212153
F2	2184,241699	2657,881836	2051,990234	2298,037923
F3	3631,381104	3911,891357	2983,805176	3509,025879
F4	4348,228027	5276,420898	4331,31543	4651,988118

- avec la voyelle [u]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.11.

Tableau 4.11 : Les Formants de phonème [z] avec [u].

Formant (Hz)	[zo1] (Hz)	[zo2] (Hz)	[zo3] (Hz)	Moyennes (Hz)
F1	1499,011841	1592,293823	1816,998901	1816,998901
F2	2437,960693	2580,323242	2845,105469	2621,129801
F3	3532,944092	3468,85376	3452,138916	3484,645589
F4	4508,858398	4502,978027	4326,027344	4505,918213

- avec la voyelle [i]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.12.

Tableau 4.12 : Les Formants de phonème [z] avec [i].

Formant (Hz)	[zi1] (Hz)	[zi2] (Hz)	[zi3] (Hz)	Moyennes (Hz)
F1	1133,991577	221,206116	258,176697	537,7914633
F2	2056,871582	1866,192749	1719,85022	1880,971517
F3	3505,054443	3252,388428	2602,8125	3120,085124
F4	4891,5	4430,852051	4047,414307	4456,588786

4.7.4. Les valeurs des formants de phonème [z] pathologique ([z] pathologique = [z'])

- avec la voyelle [a]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.13.

Tableau 4.13 : Les Formants de phonème [z'] avec [a].

Formant (Hz)	[z'a1] (Hz)	[z'a2] (Hz)	[z'a3] (Hz)	Moyennes (Hz)
F1	1571,64055	1975,09168	2018,02588	1854,91937
F2	2864,62394	2473,09253	3309,24292	2882,3198
F3	3680,66969	3450,45178	3826,90064	3652,67404
F4	4748,62259	4585,23779	5048,8125	4794,22429

- avec la voyelle [u]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.14.

Tableau 4.14 : Les Formants de phonème [z'] avec [u].

Formant (Hz)	[z'o1] (Hz)	[z'o2] (Hz)	[z'o3] (Hz)	Moyennes (Hz)
F1	1305,576149	332,492188	320,736572	652,9349697
F2	2648,143677	2179,611328	2064,70697	2297,487325
F3	3680,89563	2876,263916	3054,621216	3203,926921
F4	4754,786621	4411,930176	3614,682373	4260,46639

- avec la voyelle [i]

Les valeurs des formants sont présentées dans le tableau 4.15.

Tableau 4.15 : Les Formants de phonème [z'] avec [i].

Formant (Hz)	[zi1] (Hz)	[zi2] (Hz)	[zi3] (Hz)	Moyennes (Hz)
F1	357,860931	314,121857	264,859406	312,2807313
F2	1986,05011	2137,617798	1897,752686	2007,140198
F3	3158,324463	3146,397461	3305,628662	3203,450195
F4	4504,099365	4480,729248	4140,21582	4375,014811

- calcul de distance entre le [z]normal et[z'] pathologique

Les différentes distances pathologiques sont représentées dans le tableau 4.16, le tableau 4.17 et le tableau 4.18.

Tableau 4.16 : La distance pathologique entre [z] et [z'] avec [a].

	F _{1M}	F _{2M}	F _{3M}	F _{4M}
za	1006,212153	2298,037923	3509,025879	4651,988118
z'a	1854,919369	2882,3198	3652,67404	4794,22429
Dist1 ([za],[s'a]) (Hz)	1050,02627			

Tableau 4.17 : La distance pathologique entre [z] et [z'] avec [u].

	F _{1M} (Hz)	F _{2M} (Hz)	F _{3M} (Hz)	F _{4M} (Hz)
zo	1816,998901	2621,129801	3484,645589	4505,918213
z'o	652,9349697	2297,48733	3203,92692	4260,46639
Dist2 ([sa],[s'a]) (Hz)	1264,452			

Tableau 4.18 : La distance pathologique entre [z] et [z'] avec [i].

	F_{1M} (Hz)	F_{2M} (Hz)	F_{3M} (Hz)	F_{4M} (Hz)
zi	537,7914633	1880,971517	3120,085124	4456,588786
z'i	312,2807313	2007,1402	3203,4502	4375,01481
Dist2 ([sa],[s'a]) (Hz)	283,509567			

Nous remarquons pour le phonème [s'] :

- avec la voyelle fatha une diminution des F_{iM} par rapport au cas normal ;
- avec la voyelle damma une diminution de F_{1M} et F_{3M} et une augmentation de F_{2M} et F_{4M} par rapport au cas normal ;
- avec la voyelle kasra une diminution des F_{iM} par rapport au cas normal.

Nous remarquons pour le phonème [z'] :

- avec la voyelle fatha une augmentation des F_{iM} par rapport au cas normal ;
- avec la voyelle damma une augmentation de F_{1M} et une diminution de F_{2M} , F_{3M} et F_{4M} par rapport au cas normal ;
- avec la voyelle kasra une diminution de F_{1M} et F_{4M} et une augmentation de F_{2M} et F_{3M} par rapport au cas normal.

4.9. Conclusion

Notre système DSILPA et toutes les fonctions permettent :

- l'extraction des formants à partir des fichiers textes ;
- le calcul de leurs moyennes ;
- le calcul de distances formantiques ;
- le test à l'aide des seuils définis a priori afin de détecter si le cas pathologique ou non.

Cette application peut être utilisée dans le domaine de TAP, ou comme outil d'aide pour l'orthophoniste.



Conclusions Générales
et Perspectives

Conclusions générales et perspectives

Au cours de ce projet, nous avons mis l'accent sur les concepts généraux qui sont importants à connaître dans le cadre de notre travail.

Nous avons développé une application complémentaire au traitement de la parole qui concerne la segmentation phonétique orientée vers la détection de la prononciation du sigmatisme interdental sur micro-ordinateur. Cette approche est basée sur une analyse formantique des segments sonores. Cet outil aide l'orthophoniste pour évaluer les prononciations de ses patients.

Nous avons utilisé un corpus de 18 phrases contenant les phonèmes [s] et [z], dans différentes positions (initiale, médiane et finale) et différents contextes vocaliques (Fatha, Damma et Kasra). Nous avons utilisé le logiciel Praat pour faire l'enregistrement du corpus, ainsi que la segmentation manuelle, cette dernière s'avère difficile à cause du problème de la variabilité de la parole (intra-locuteur, inter-locuteur et contextuelle), cela nécessite de bonnes connaissances en phonétique et phonologie.

A partir d'une analyse formantique à l'aide du logiciel Praat, nous avons extrait les valeurs des formants de segments sonores normaux et pathologiques, enregistrés selon les conditions citées précédemment.

Ces valeurs ont été stockées dans des fichiers textes générés par Praat, notre application utilise ces fichiers pour le calcul des valeurs moyennes de ces formants associés à un phonème normal et l'autre pathologique, puis il mesure la distance euclidienne entre les deux phonèmes. Cette distance est appelé distance de référence, utile pour la comparaison avec d'autres distances propres à des utilisateurs de système, et voir s'ils ont atteint des troubles d'articulation ou non, en utilisant des seuils de référence pour chaque trouble.

Ces distances ont été calculées à travers des sujets normaux, et d'autres pathologiques.

En terme de perspectives à ce travail :

- nous préconisons de modéliser d'autres pathologies d'ordre articulaire (Chuintement, Rhotacisme, etc).
- nous complétons d'autres paramètres pertinents de signal vocal tel que la durée, l'intensité et le pitch.



Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]. <http://lpp.univ-paris3.fr/recherche/theme4.htm>
- [2]. S. Rouibia, Prise en compte de critères acoustiques pour la synthèse de la parole, thèse de Doctorat, ENAST de Bretagne, 2006.
- [3]. <http://www.leger-transport.com/claudio/audition.html>
- [4]. <http://www.sfu.ca/fren270/Phonetique/phonetique.htm#hautphonetique.html>
- [5]. R. Boite, T. Dutoit & T. Bourlard, Traitement de la parole, Collection électronique, Presses Polytechniques et Université Romandes, 1999.
- [6]. T. Dutoit, Introduction au traitement numérique du signal, Notes de cours première édition, Facultés polytechniques de Mons, TCTSLab, 2000 .
- [7]. M. Aissiou Mohamed, Application des algorithmes génétiques en vue de la Reconnaissance automatique des voyelles de l'Arabe Standard, Mémoire de Magister, CRSTDLA, Alger, Algérie, 2004.
- [8]. M.A. Bencherif Pathologie du langage arabe, Etude du sigmatisme occlusif , Mémoire de Magister, département d'Electronique, USD Blida, 2005.
- [9]. T.Saidane, M.Zrigui et M.Benahmed, La transcription orthographique phonétique de la langue arabe, Société Tunisienne d'Electricité et du Gaz, centre de production de Sousse, Laboratoire RIADI, Unité Monastir, Faculté des sciences de Monastir, Laboratoire RIADI, Ecole Nationale des sciences de l'informatique, Tunis, Tunisie, 2004.
- [10]. <http://m.antoniotti.free.fr/images/apifr2.gif>

- [11]. B. JACOB, Un outil informatique de gestion de Modèles de Markov Cachés : expérimentations en Reconnaissance thèse du doctorat, Institut de recherche en informatique de Toulouse, Université Paul Sabatier de Toulouse III France, 1995.
- [12]. http://www.isacolondecarvajale.perso.cegetel.net/matrice_isacoln2004.pdf
- [13]. <http://www.membres.lycos.fr/guillaumery/rapport.htm>
- [14]. http://www.gdem74.edres74.acgrenoble.fr/rubrique.php3?id_rubrique=2/GDEM74.htm
- [15]. <http://www.i3s.unic-s.fr/cr?sc?n/publication/ofldb-?ssi3-rapport2002-04.pdf>
- [16]. <http://metaforstrasbourg.free.fr/id5.htm>
- [17]. P. Valtat, G. Freyss et F. Legent : Précis d'orthophonie, Masson, 1975.
- [18]. H. DAHMANI, Ressources linguistiques pour l'assistance aux aphasiques d'une région de l'est algérien, université de Mohamed BOUDHIAF M'sila, Algérie, 2002.
- [19]. <http://uml.free.fr/index-me.html>
- [20]. R. Fannader, H. Leroux, UML, Principes de Modélisation, 2001.
- [21]. N. Kettani, D. Mignit, P. Paré, C. Sabroux, De Merise à UML, Eyrolles, 2001.
- [22]. P.A. Muller, Modélisation Objet avec UML, Eyrolles 1997.
- [23]. J. Gabay, Merise vers OMT et UML, Masson, 1998.
- [24]. F. Bernardi, Méthode d'analyse orientée objet UML, Dunod, 2002.
- [25]. R. Fannader, H. Leroux, UML principes de modélisation, Dunod, 2000.
- [26]. http://fr.wikipedia.org/wiki/Base_de_donn%C3%A9es_multim%C3%A9dia
- [27]. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Distance_\(math%C3%A9matiques\)#column-one](http://fr.wikipedia.org/wiki/Distance_(math%C3%A9matiques)#column-one)

