

وزارة الجامعات
Ministère aux Universitaires

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE COMPARATIVE
D'ALGORITHMES DTW

Pour la reconnaissance de voyelles

Proposé par :

M^r. Benidder . N
M^r. Bousseksou . B

Etudié par :

M^{elle} . Ftabas . Karima
M^{elle} . Nèder . Karima

Dirigé par :

M^r. Benidder . N
M^r. Bousseksou . B

PROMOTION *juin 91*

Ministere delegue aux Universites

Dept : **ELECTRONIQUE**



MEMOIRE

* T H E M E

ETUDE COMPARATIVE
D'ALGORITHMES D.T.W
Pour la reconnaissance de voyelles

Propose & dirige par :

Mr BENIDDIR N.

Présenté par :

Melle Karima Nedir

Melle Karima ARTABAS

JUIN 91

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEDICACES

و
Sobira Ouagia
Malika Mezni
Houari Benasmlou

Dédicaces

Aux silences qui se noient
dans le fleuve de l'oubli
A l'espoir qui fait vivre
A tous ceux qui m'aiment
A tous ceux que j'aime

Karima Artabas

A la mémoire de mon père
A toute ma famille
A tous mes amis
A tous ceux qui me sont chers
A tous ceux à qui je suis chère

Karima Nedir

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Nous remercions tous ceux qui ont contribué à notre formation et ceux qui de loin ou de près nous ont aidés à élaborer ce travail.

Nous remercions tout particulièrement les enseignants qui nous ont suivis Mr B. Bousseksou et Mr N. Beniddir .

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Sommaire

SOMMAIRE

-INTRODUCTION.	-	-	-	-	-	1
-PRESENTATION DU TRAVAIL	-	-	-	-	-	3
CHAP I -ANALYSE DE LA PAROLE.	-	-	-	-	-	5
I-1/-INTRODUCTION.						
I-2/-PRETRAITEMENT.						
I-3/-ANALYSE CEPSTRALE.						
I-4/-ANALYSE PAR PREDICTION LINEAIRE.						
I-5/-CONCLUSION.						
CHAP II -PROGRAMMATION DYNAMIQUE.	-	-	-	-	-	24
II-1/-INTRODUCTION.						
II-2/-PRINCIPE DE LA PROGRAMMATION DYNAMIQUE.						
II-3/-ETUDE DE LA FONCTION DE DEFORMATION.						
II-4/-ALGORITHMES DE COMPARAISON PAR PROGRAMMATION DYNAMIQUE.						
II-5/-CONCLUSION						
CHAP III/ SIMULATION DES VOYELLES.	-	-	-	-	-	45
CHAP IV/ TESTS ET RESULTATS.	-	-	-	-	-	48
IV-1/ INTRODUCTION						
IV-2/ TESTS SUR L'AMPLITUDE.						
IV-3/ TESTS SUR LES FORMANTS.						

IV-4/ TESTS SUR LA DUREE.

IV-5/ CONCLUSION.

CHAP V-CONCLUSION GENERALE.

-ANNEXES.

-BIBLIOGRAPHIE.

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION :

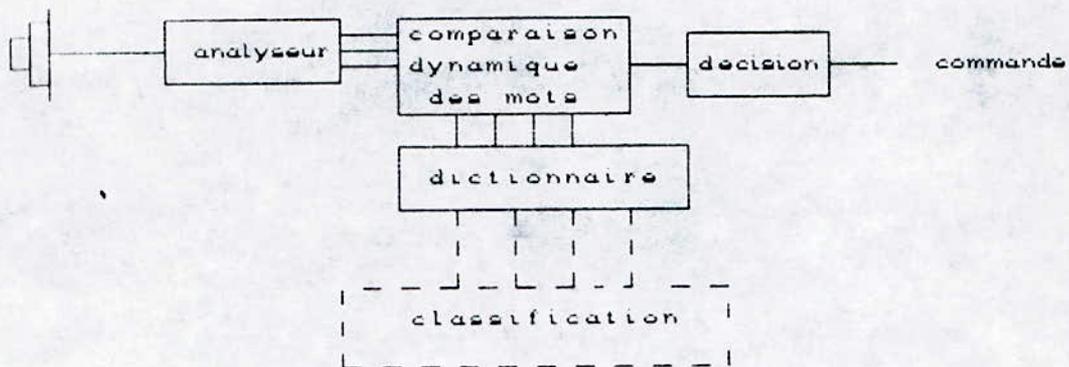
Depuis l'invention de l'ordinateur, on a toujours pensé qu'un jour ou l'autre il pourrait posséder des "facultés intellectuelles" égales ou supérieures à celles de l'Homme. On a montré que dans certains domaines tels que les jeux, l'ordinateur pouvait dépasser l'être humain. Les laboratoires de recherches du monde entier essayent de fabriquer des ordinateurs dotés de la parole, de la vue et de la pensée. La parole qui est le privilège de l'être humain fait l'objet d'études de plusieurs groupes de recherches dans le monde. Par traitement de la parole on entend, le traitement de l'information contenue dans le signal vocal c'est à dire la transmission, l'enregistrement, la synthèse ou la reconnaissance. Ce signal possède des caractères particuliers. En effet, l'analyse ou la simple visualisation sur un écran d'oscilloscope montre sa complexité et son extrême variabilité non seulement pour divers locuteurs, mais aussi pour un même individu. Le développement considérable de

la micro-électronique autorise désormais des traitements numériques très complexes du signal, même *en temps réel*. Or la voix humaine dont les nuances et les variétés nous semblent infinies peut se ramener à un nombre très restreint de données caractéristiques. La parole peut être désormais perçue et émise par des ordinateurs. C'est à dire qu'il existe des machines capables d'exécuter des ordres donnés oralement et de "*dire*" le résultat des calculs qu'elles ont effectués. L'apparition de processeurs à haute performances spécialisés dans le traitement du signal explique l'intérêt pour ce domaine. Les objectifs principaux poursuivis en traitement de la parole sont: le codage du signal vocal en vue de sa transmission ou de son enregistrement; sa synthèse; sa reconnaissance, base indispensable comme la synthèse au développement d'un système de *dialogue Homme-machine*; l'identification ou la vérification d'un locuteur; certaines applications médicales telle que la pathologie du larynx; certaines applications à l'étude des langues. On peut aborder la reconnaissance de la parole de deux manières : d'une manière globale où le mot est considéré comme une unité (entité individuelle); d'une manière analytique c'est à dire qu'on considère les composants élémentaires : les phonèmes.

Presentation du travail:

Le but de notre présent travail est une étude comparative d'algorithmes DTW pour la reconnaissance des six voyelles de la langue française : A O I E U Y .

Pour cela nous avons suivi les étapes décrites par le synoptique ci dessous:



et organisé notre travail comme suit:

-le premier chapitre comporte la description et la comparaison de deux méthodes d'analyse:

l'analyse cepstrale et l'analyse par prédiction linéaire .

-le deuxième chapitre comporte la description des algorithmes de programmation dynamique.

-Le troisième chapitre est consacré à la génération des échantillons de paroles qui doivent permettre de tester les programmes.

-Le quatrième chapitre englobe tous les tests ainsi que les résultats.

-Le cinquième et dernier chapitre qui n'est autre que la conclusion générale.

1/ Analyse de la parole:

1-1/ Introduction:

Pour pouvoir réaliser un système de reconnaissance de la parole, il est très important de faire passer ce signal par une analyse qui consiste à tirer, du signal, les paramètres pertinents capables de représenter correctement toutes ses caractéristiques.

La première opération d'analyse consiste à tronçonner le temps en intervalles d'environ 10 à 20 ms. Ces intervalles de temps sont appelés "fenêtres temporelles".

L'analyse du signal parole repose sur l'hypothèse fondamentale suivante:

"Le signal à analyser est stationnaire pendant toute la durée de la fenêtre d'analyse, c'est à dire que ses propriétés, en particulier spectrales, ne varient pas sur la longueur de la fenêtre".

L'analyse sera faite successivement sur chacune des fenêtres.

Parmi les méthodes d'analyse citons:

L'analyse cepstrale; l'analyse par prédiction linéaire et l'analyse par banc de filtre. Le banc de filtre peut être

numérique (logiciel) ou matériel (vocodateur à canaux par exemple) .

1-2/ Prétraitement:

Avant d'analyser le signal parole, on doit passer par un prétraitement qui consiste en un échantillonnage, une préaccentuation et un fenêtrage.

1-2-1/ Echantillonnage:

Dans le cas des méthodes numériques, le traitement ne s'effectue pas directement sur les signaux analogiques à temps continu fournis par un microphone .

Les signaux analogiques sont échantillonnés, codés, puis rangés sous forme numérique dans une mémoire pour être traité par ordinateur.

Le spectre du signal parole est limité à 6 Khz il conserve donc ses caractéristiques .

Selon le théorème de SHANON: $F_e \geq 2.F_m$. [5]

avec F_e : fréquence d'échantillonnage

F_m : fréquence maximale du signal parole

Donc théoriquement 12 kHz comme fréquence d'échantillonnage est suffisante. Nous avons pris une fréquence d'échantillonnage F_e égale à 12,8 kHz.

$$T_e = \frac{1}{F_e} \implies T_e \cdot 128 \text{ ech} = 10 \text{ ms}$$

nous avons pris une fenêtre temporelle de 10 ms, durée pendant laquelle le signal est stationnaire.

1-2-2/ Préaccentuation:

Du fait de l'évolution du spectre du signal parol en haute fréquence dans les deux milieux: le conduit vocal et l'air extérieur, il subit une baisse d'énergie de 6 db par octave. La préaccentuation est nécessaire pour rétablir le niveau énergétique. c'est le cas des sons voisés car le spectre est surtout localisé dans la partie haute fréquence.

1-2-3/ Fenêtrage:

Le fenêtrage limite l'amplitude des rebonds fréquentiels due à la limitation temporelle du signal.

Il existe plusieurs types de fenêtre [5] :

-Fenêtre rectangulaire:

$W_r(k) = A$ pour $k \in [0, N]$. Avec A: constante

Pour un nombre d'échantillons : $N=9$ l'atténuation = -13db.

-Fenêtre triangulaire:

$$w(k) = 1 - 2|k|/N \text{ Pour } |k| \leq N/2$$

L'amplitude des lobes secondaires est inférieure à celle de la fenêtre rectangulaire, mais cette fenêtre ne nous paraît pas très performante du fait de son élargissement du pic central.

-Fenêtre de Hanning:

$$w_h(k) = 1/2(1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot k/N)) \text{ pour } |k| \leq N/2$$

Son premier lobe secondaire n'est pas vraiment atténué par contre les autres lobes secondaires sont atténués à environ -43db du pic central.

-Fenêtre de Hamming:

$$w_h(k) = 0.54 - 0.46 \cos(2 \cdot \pi \cdot (k-1)/N) \text{ pour } k=1, N$$

Elle a 99.96% de son énergie dans le lobe principal et le lobe secondaire

le plus important est de 40 db en dessous du lobe principal.

-Critère de choix de la fenêtre:

Le choix de la forme particulière d'une fonction fenêtre dépend principalement de la largeur du pic central et de l'amplitude des lobes secondaires relative à celle du pic

central. Si le pic central est large, les transitions rapides de la transformée de Fourier du signal original sont très mal approximées. D'après le résultat [5] "(99,96% d'énergie est concentrée dans le lobe principal, niveau du premier lobe secondaire est à 43.9 au dessous du lobe principal)", semble le meilleur. Nous optons donc pour la fenêtre de hamming.

1-2/ Analyse cepstrale:

Le signal de parole contient des informations phonétiques essentiellement contenues dans le spectre du signal et des informations prosodiques essentiellement contenues dans le pitch (la fréquence du fondamental) .

Le conduit vocal module le signal pulsé qui est fourni par la vibration des cordes vocales .

Il y a combinaison par convolution des deux filtres qui sont les cordes vocales et le conduit vocal .

Soit $h(n)$ le signal issu de la source d'excitation et $x(n)$ la fonction de transfert du conduit vocale indépendante de $h(n)$.

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h(n-k) \cdot x(k) = h(n) * x(n) \quad (1)$$

Si D est l'opération de déconvolution

$$D(y(n)) = D(h(n) * x(n)) = D(h(n)) + D(x(n)) \quad (2)$$

$$y'(n) = h'(n) + x'(n)$$

(h(n) et x(n) sont régulièrement échantillonnés, * est l'opération de convolution .

Par la transformée en Z on obtient:

$$Y(z) = H(z) \cdot X(z)$$

$$\text{Ln}|Y(z)| = \text{Ln}|H(z)| + \text{Ln}|X(z)| \quad (3)$$

Le cepstre "c" sera alors la transformée inverse de "Z" de "Ln|Y(n)|" tel que:

$$c(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \text{Log}|Y(f)| e^{j2\pi n f / N} \quad (4)$$

Avec N: nombre de points dans une fenêtre.

n: rang du coefficient cepstral.

Les coefficients cepstraux se calculent par l'équation :

$$c(n) = \frac{1}{N_f} \sum_{k=1}^{N_f} \text{Log}(E(k)) \cos(n(k-1)/N_f) \quad (5)$$

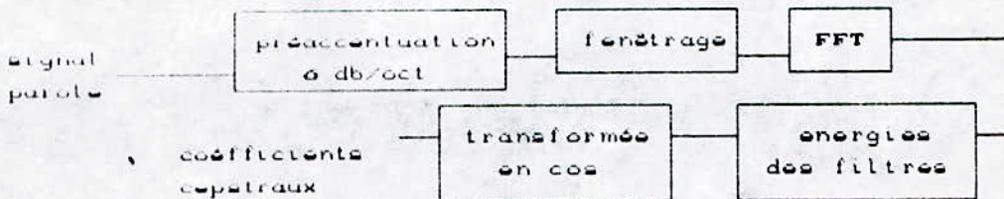
Avec n : le rang du coefficient cepstral.

k : le numéro du filtre d'énergie $E(k)$.

N_f : le nombre totale des (16 à 25) filtres triangulaires.

1-2-1/ étapes d'analyse:

Le synoptique suivant décrit les étapes de l'analyse:



étapes de l'analyse

La préaccentuation est une dérivation numérique:

$$Y(k+1) = Y(k+1) - Y(k)$$

Le calcul du spectre se fait grâce à la FFT.

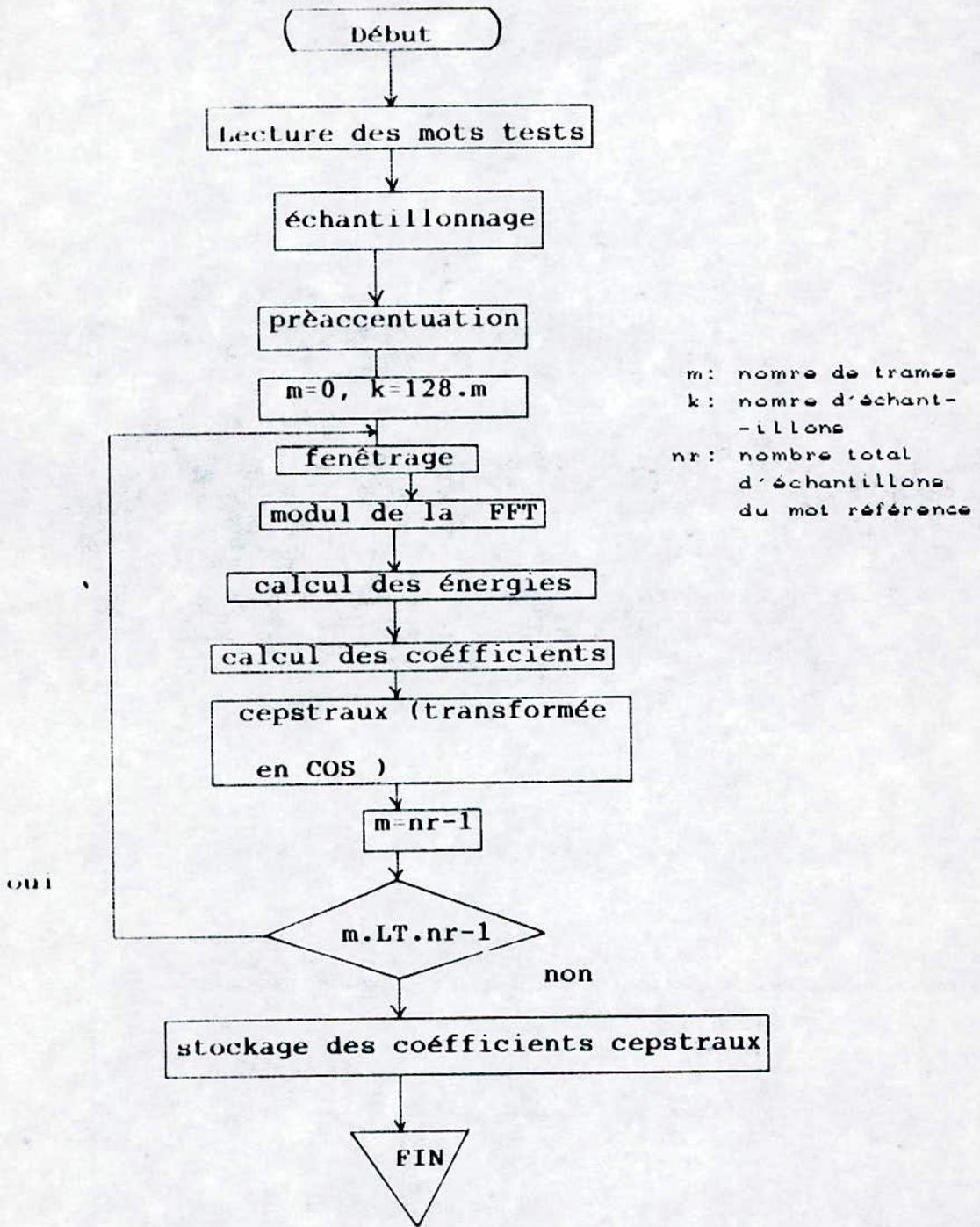
-Echelle Mel: l'oreille est sensible à une échelle quasi-logarithmique dite *échelle Mel* qui, est linéaire sur le premier Khz et logarithmique au delà. L'échelle logarithmique tente d'éviter de donner un même poids à des

zones de fréquences qui n'ont pas la même densité d'information.

1-2-17 organigrammes

Nous présentons ici l'organigramme de la méthode d'analyse cepstrale.

L'échantillon de parole référence dure 0.8 seconde, il a été tronqué en 80 trames de 10 ms chacune. C'est à dire que dans chaque trame nous avons 128 échantillons.



1-3/ Analyse par prédiction linéaire:

Cette technique permet d'estimer des paramètres comme le pitch, les formants, le spectre instantané.

Le signal est approximé par un polynôme d'ordre P.

Un échantillon du signal parole est représenté par les P échantillons qui le précèdent par une combinaison linéaire.

$$S_p(n) = \sum_{k=1}^P a(k) \cdot s(n-k) \quad (6)$$

n-1, N

P : ordre de prédiction

Le signal parole n'étant pas polynômial, les coefficients LPC $a(k)$ sont calculés en minimisant la somme des carrés des différences entre les échantillons réels de la parole $s(m)$ et la valeur estimée par combinaison linéaire S_p .

$$E = \sum_{n=1}^{N-P} \left[s(n) - \sum_{k=1}^P a(k) \cdot s(n-k) \right]^2 \quad (7)$$

Il existe plusieurs méthodes de minimisation de l'erreur quadratique citons entre autre :

- La méthode de covariance
- La méthode d'autocorrélation
- La méthode en treillis

La prédiction linéaire est une méthode précise d'estimation des paramètres de la parole, de plus les calculs de certaines méthodes de résolution sont relativement rapides. Dans notre cas la sommation se fait sur un nombre N fini d'échantillons pendant lesquels les caractéristiques du conduit vocal et de la source sont constantes, ce qui conduit à la stationnarité de l'échantillon considéré, pour cela on utilise la méthode d'autocorrélation.

-Méthode d'autocorrélation:

Déterminant les coefficients $a(k)$ pour lesquels E est minimale. Cela se fait en annulant la dérivé de E :

$$\frac{\partial E}{\partial a(i)} \sum_{n=i}^{N-p} 2 \left[s(n) - \sum_{k=1}^p a(k) \cdot s(n-k) \right] \cdot s(n-i) = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^{N+p} S(n) \cdot S(n-i) = \sum_{k=1}^p a(k) \cdot \sum_{n=1}^{N+p} S(n-k) \cdot S(n-i) \quad (9)$$

$$\text{On pose : } C(i, k) = \sum_{n=1}^{N+p} S(n-k) \cdot S(n-i) \quad (10)$$

$$\sum_{n=1}^{N+p} S(n) \cdot S(n-i) = \sum_{k=1}^p a(k) \cdot C(i, k) \quad (11)$$

avec $i=1, p$ et $k=1, p$

$$\text{d'où : } C(i, k) = \sum_{n=1}^{N-i+k} S(n) \cdot S(n+i-k) \quad (12)$$

avec $i=1, p$ et $k=1, p$

$c(i, k)$ est la matrice d'auto-correlation, c'est une matrice carrée d'ordre "p" dite aussi "matrice de toeplitz" car les éléments situés symétriquement de part et d'autre de la diagonale sont égaux.

On note $R(k)$ la fonction d'auto-correlation définie par:

$$R(k) = \sum_{n=1}^{N-k} S(n) \cdot S(n+k) \quad (13)$$

avec $k=1, p$

$$R(k) = R(-k)$$

$$\text{D'où: } C(i, k) = R(|i-k|) \quad (14)$$

L'équation 8 peut s'écrire sous forme:

$$\sum_{k=1}^p a(k) \cdot R(|i-k|) = R(i) \quad (15)$$

Avec: $i = 1, p$

L'équation 14 peut s'écrire sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} R(0) & R(1) & \dots & R(p-1) \\ R(1) & R(0) & \dots & R(p-2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R(p-1) & R(p-2) & \dots & R(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a(1) \\ \vdots \\ \vdots \\ a(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(1) \\ \vdots \\ \vdots \\ R(p) \end{bmatrix} \quad (16)$$

De nombreuses méthodes permettent de résoudre le système d'équation linéaires telles que:

-Méthode de Gauss-Seidel

-Méthode de Jacobi

-Méthode de Gauss-Jordan

-Méthode de Durbin

Mais en tenant compte de la rapidité d'exécution et de l'encombrement mémoire réduit, nous avons choisis pour résoudre le système d'équation d'auto-correlation la méthode de Durbin.

Méthode de durbin:

$$D(i) = \frac{R(i) - \sum_{j=1}^{i-1} a(j, i-1) \cdot R(i-j)}{E(i-1)} \quad (17)$$

$$E(i) = (1 - D^2(i)) \cdot E(i-1) \quad (18)$$

$$A(j, i) = A(j, i-1) - D(i) \cdot A(i-j, i-1)$$

$$A(i) = A(i, 12)$$

ou $D(i)$: coefficients de réflexion

$E(i)$: erreur quadratique

$A(j, i)$: coefficient de prédiction

$A(i)$: coefficient de d'auto-correlation

avec $i=1, 12$ et $j=1, i-1$

Conditions initiales :

$$E(1) = R(1)$$

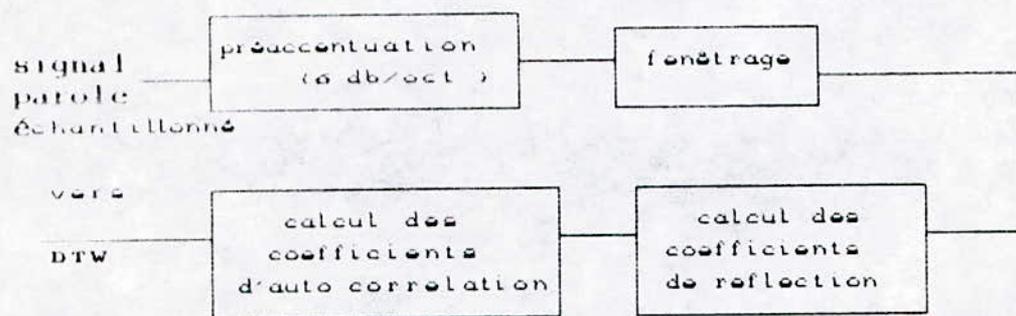
$$D(2) = (R(2)/R(1))$$

$$A(2,2) = D(2)$$

$$E(2) = (1 - D^2(2)) \cdot R(1)$$

I-3-1/ Etape d'analyse :

Le synoptique suivant décrit les étapes d'analyse de la prédiction linéaire:



étapes d'analyse

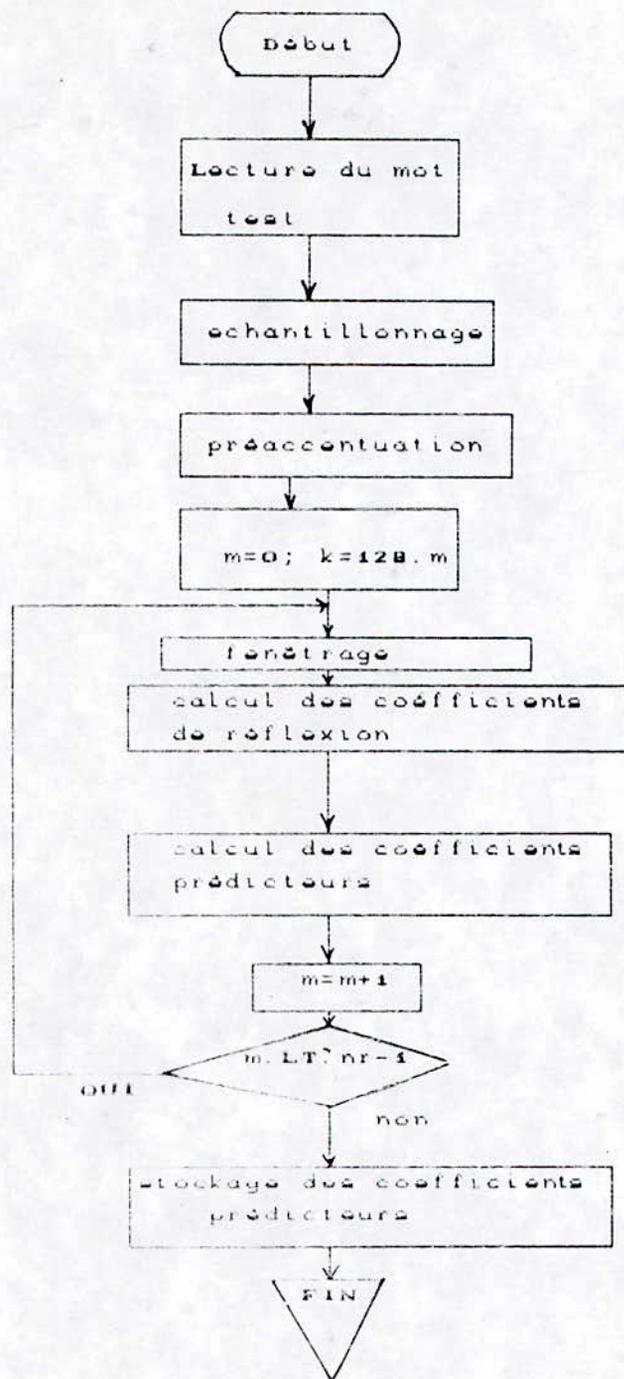
I-3-2/ organigrammes:

Dans cette partie nous nous proposons de présenter l'organigramme de la méthode d'analyse par prédiction linéaire.

où m est le nombre de trames.

k le nombre d'échantillons.

n_r le nombre total d'échantillon référence.



I-7/ Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons étudié deux méthodes d'analyse, "la méthode cepstrale" et "la méthode de prédiction linéaire". Il apparaît que la méthode cepstrale est plus intéressante dans la mesure où notre travail est une contribution à la reconnaissance multilocuteur.

En effet la méthode cepstrale inverse le cepstre du signal et favorise les hautes fréquences par rapport aux basses fréquences qui ne présentent pas le même intérêt puisqu'elles sont spécifiques (pitch) au locuteur.

De plus la méthode cepstrale est économique du point de vue représentation étant donné que huit coefficients au lieu de douze par trames (comme c'est le cas de la LPC) suffisent à bien représenter le signal.

Cette intérêt pour l'économie de l'espace mémoire, se justifie par le fait que le logiciel de reconnaissance est appelé à être implanté dans un système à base de micro-processeur de traitement du signal (le TMS 320 10 par exemple).

Il est également possible grâce à la méthode cepstrale de

réaliser une économie dans le temps de calcul .

Comparer huit (8) coefficients est évidemment plus rapide que d'en comparer douze (12), ce qui nous rapproche de l'aspect temps réel qui est un des buts les plus recherchés.

Cela est tout à fait normal, si on pense que la commande vocale servirait par exemple dans une chambre d'hôpital ou pour un fauteuil roulant.

CHAPITRE II

II/programmation dynamique:

II-1/Introduction :

Il est bien connu que le taux de variation de la parole cause des fluctuations non linéaires dans l'axe des temps d'un modèle de parole .

L'élimination de cette fluctuation, ou la normalisation temporelle, a été un des problèmes les plus rencontrés dans le domaine de la reconnaissance.

Dans un premier temps, quelques techniques de normalisation linéaire ont été examinées, dans lesquelles les différences temporelles entre les échantillons de parole ont été éliminées par transformation linéaire de l'axe des temps.

Une transformation linéaire est naturellement insuffisante pour traiter des fluctuations non linéaires très compliquées bien que cette normalisation temporelle améliore de manière significative la précision de la reconnaissance .

Dans un algorithme de normalisation temporelle non linéaire, la fluctuation de l'axe des temps est approximativement modélisée avec une fonction de déformation non linéaire. Les

différences temporelles entre deux échantillons de parole sont éliminées par transformation de l'axe des temps de manière à ce que les maximums coïncident.

Puis la distance normalisée en temps est calculée comme la distance minimal résiduelle entre eux .

Des recherches ont été faites en se basant sur les hypothèses que le signal parole est échantillonné avec un pas uniforme, comme c'est souvent le cas. Un des problèmes traité est la relative supériorité de la forme symétrique ou asymétrique.

Dans la forme asymétrique, la normalisation temporelle est faite en transformant les axes des temps de l'échantillon de parole.

Des comparaisons théoriques et expérimentales montrent que la forme symétrique par rapport à la forme asymétrique donne de meilleurs taux de reconnaissance.

Un autre problème considéré, concerne la technique de la contrainte de pente . Quelques fois la faible discrimination entre deux mots de catégories différentes est le résultat du manque de flexibilité de la fonction de déformation, une contrainte est introduite dans la pente de la fonction de déformation. Les conditions concernant la contrainte de pente sont optimisées à partir d'études expérimentales.

L'algorithme optimal est expérimentalement comparé à plusieurs algorithmes de programmation dynamique qui ont été déjà appliqués à la reconnaissance de la parole par des groupes de chercheurs.

II-17 Principe de la programmation dynamique:

II-17-1 Définition de la normalisation temporelle :

La parole peut être exprimée par une séquence de vecteurs.

$$A = a_1, a_2, \dots, a_n \quad (1)$$

$$B = b_1, b_2, \dots, b_m$$

Considérons le problème de l'élimination de la différence temporelle entre deux mots dans le but de clarifier la nature de la fluctuation de l'axe des temps ou la différence temporelle.

Considérons un plan $i-j$ voir figure II-1, où A et B développés respectivement le long des axes I et J sont des échantillons de parole de même catégorie, la différence temporelle peut être reperées par une séquence de points $c(i, j)$:

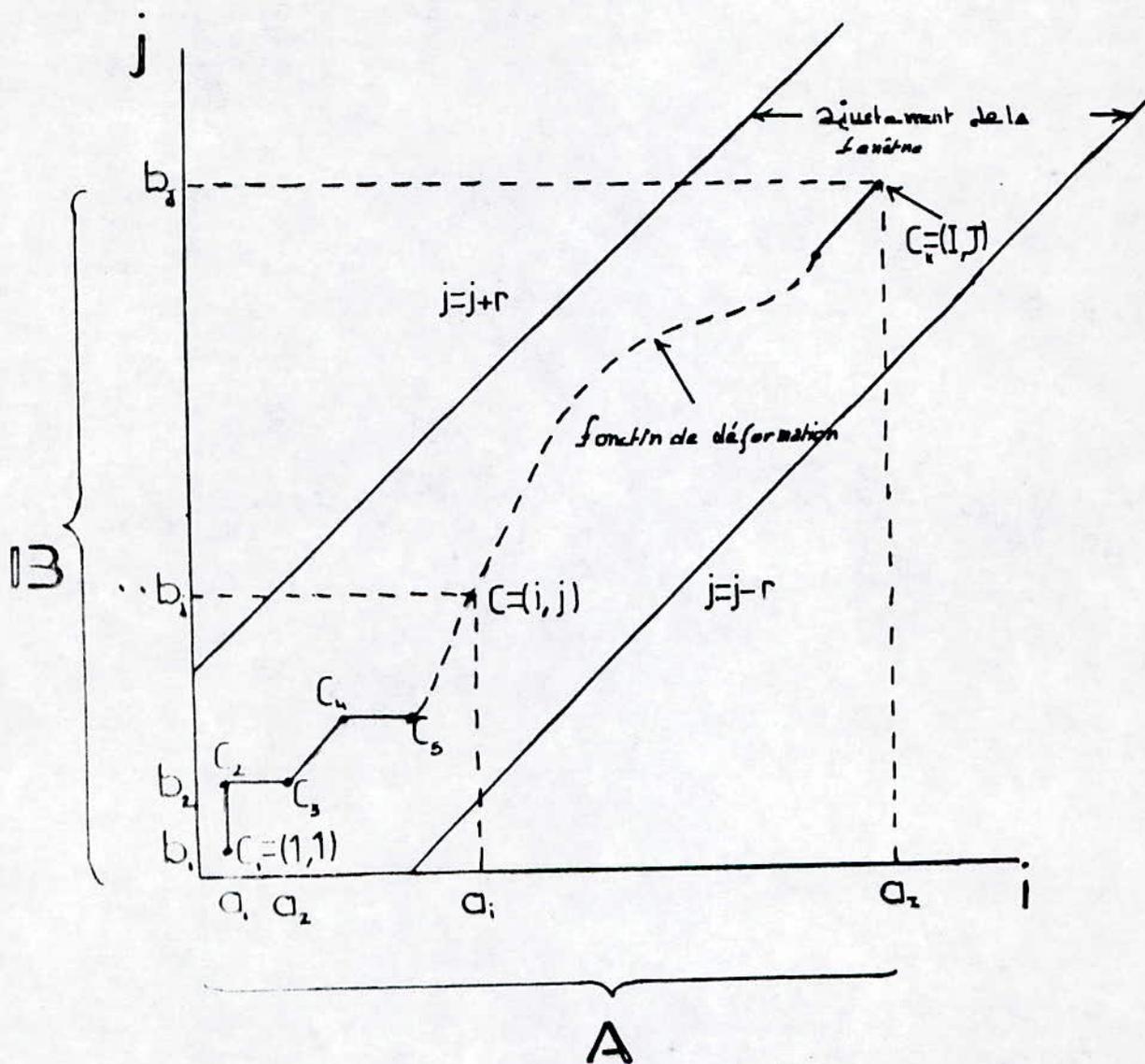


fig. II-1 fonction de déformation
et ajustement de la fenêtre

$$F(c(1), c(2), \dots, c(k), \dots, c(K)) \quad (2)$$

où $c(k) = (i(k), j(k))$.

Cette séquence peut représenter une fonction qui réalise approximativement un graphe de l'échantillon A en fonction de B.

Cette dernière est appelée *fonction de déformation*. Quand il n'y a aucune différence temporelle entre les deux mots la fonction de déformation coïncide avec la diagonale $j=i$. Elle dévie de la diagonale dès que la différence temporelle croît. Comme mesure de la différence entre deux séquences de vecteurs a_i et b_j une distance :

$$d(i, j) = \|a_i - b_j\| \quad (3)$$

est calculée entre eux.

La somme des distances pondérée par la fonction de déformation F devient :

$$E(F) = \sum_{k=1}^K d(c(k)) \cdot w(k) \quad (4)$$

(ou $w(k)$ est un coefficient de pondération non négatif qui est introduit pour rendre $E(F)$ flexible) et est une mesure de l'efficacité de F. Elle atteint son minimum quand la fonction de déformation est optimisée pour ajuster la

différence temporelle . La valeur résiduelle de la distance minimale peut être considérée comme étant la distance entre les échantillons A et B . On se basant sur ces considérations, la distance normalisée dans le temps entre deux échantillons de parole A et B est définie comme suit:

$$D(A, B) = \min_k \left[\frac{\sum_{k=1}^k d(c(k)) \cdot w(k)}{\sum_{k=1}^k w(k)} \right] \quad (5)$$

où le dénominateur $\sum w(k)$ est employé pour compenser l'effet de k (nombre de point de la fonction de déformation F).

L'équation (5) n'est autre qu'une définition de la normalisation temporelle d'une distance .

Les caractéristiques effectives de cette mesure dépendent beaucoup des spécifications de la fonction de déformation et de la définition des coefficients de pondération . Les caractéristiques désirées, de la normalisation temporelle, varient en fonction des propriétés de l'échantillon de parole. Donc, le problème qui nous intéresse est réduit au cas le plus fréquent où les deux conditions suivantes sont réunies:

1^{re} condition : Le signal parole est échantillonné avec un pas

uniforme et constant .

2^{ème} condition : On ne sait pas a priori laquelle des parties du signal parole contient les informations linguistiques importantes.

Dans ce cas il est raisonnable de considérer que chaque partie de l'échantillon de parole contient des informations linguistiques .

II-3/ Etude de la fonction de déformation :

La fonction de déformation F , définie en (II-2) , est un modèle de la fluctuation de l'axe des temps dans un échantillon de parole. Quand la fonction F est représentée dans un plan formé par l'échantillon A et l'échantillon B elle doit préserver les structures linguistiques essentielles de l'échantillon A et de l'échantillon B .

Les structures essentielles de l'axe des temps de l'échantillon de parole sont : la continuité , la monotonie , limitation de la vitesse de transition des paramètres acoustiques dans un mot . Ces conditions peuvent être réalisées comme des contraintes sur la fonction de déformation F (ou les points $c(k)=(i(k),j(k))$)

1) Monotonie :

$$i(k-1) \leq i(k) \quad \text{et} \quad j(k-1) \leq j(k)$$

2) Continuité :

$$i(k) - i(k-1) \leq 1 \quad \text{et} \quad j(k) - j(k-1) \leq 1$$

Comme résultat de ces deux restrictions, la relation suivante est établie pour deux points consécutifs :

$$c(k-1) \begin{cases} (i(k), j(k)-1) \\ (i(k)-1, j(k)-1), \\ \text{ou } (i(k)-1, j(k)) . \end{cases} \quad (6)$$

3) Conditions aux limites :

$$i(1) = 1, \quad j(1) = 1 \quad \text{et} \quad i(k) = I, \quad j(k) = J . \quad (7)$$

4) Ajustement de la condition sur la fenêtre :

(voir Figure II-1)

$$| i(k) - j(k) | \leq r \quad (8)$$

où r est un entier positif, approprié appelé *tail de la fenêtre*, cette condition correspond au fait que la fluctuation de l'axe des temps, en générale ne cause jamais des différences temporelles excessives .

5) Contrainte de pente :

la pente de la fonction de déformation ne doit être ni trop raide ni trop faible car ceci pourrait entraîner d'indésirables distortions .

Une pente trop raide par exemple fait la correspondance unilatérale entre un échantillon trop court A et un échantillon relativement trop long B. Donc une restriction appelée *contrainte de pente* est posée sur la fonction de déformation F, de manière à ce que la 1^{ère} dérivée soit discrète.

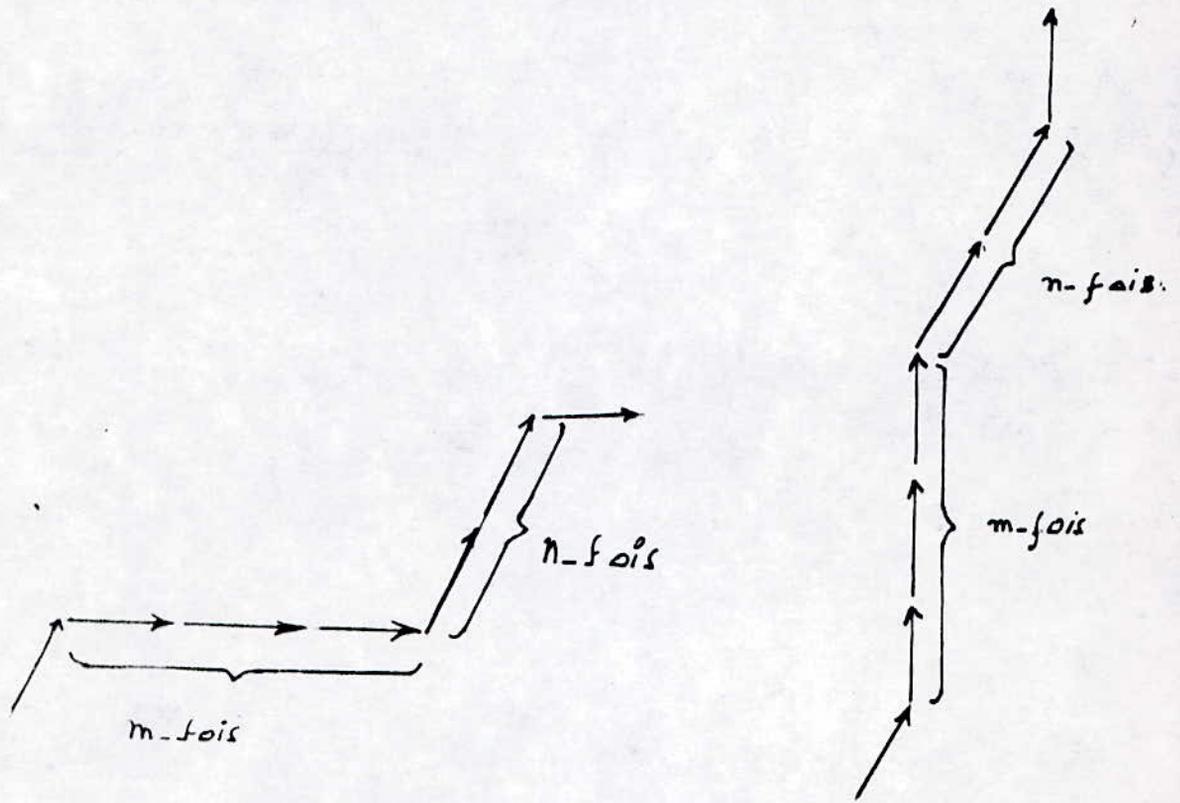
La contrainte de pente est réalisée comme une restriction sur les relations possibles entre les différents points consécutifs de la fonction de déformation , voir figures II-2 (a) et II-2 (b). Pour la concrétisée, si le point c(k) se déplace le long de l'axe i (ou j) m fois consécutives, alors c(k) n'est pas autorisé à progresser dans la même direction avant de s'être déplacé au moins n fois dans le sens de la diagonale. L'intensité effective de la contrainte de pente peut être évaluée par la mesure suivante :

$$p = n/m \quad (9).$$

Quand $p=0$, il n'y a aucune restriction sur la pente de la fonction de déformation .

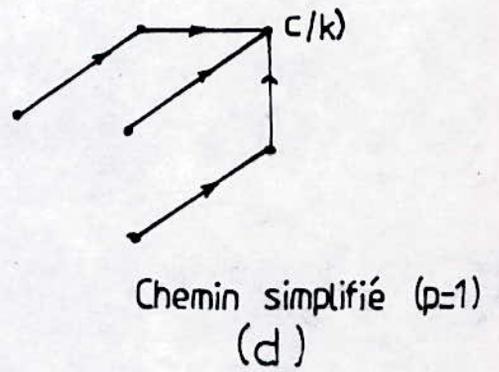
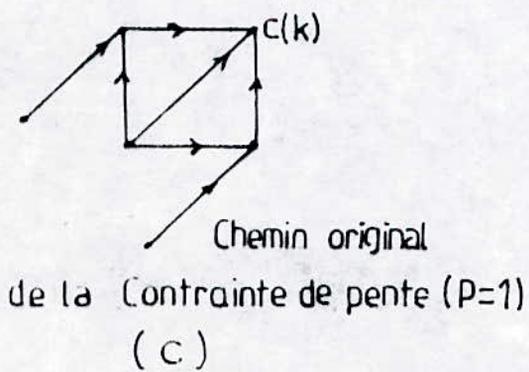
fig. II2

fig.2 Contrainte de pente de la fonction de déformation



Pente minimale
(a)

Pente maximale
(b)



Quand $p=0$ (c'est à dire $m=0$), la fonction de déformation est réduite à la diagonale $j=i$.

Si la contrainte de pente est trop rigide, alors la normalisation temporelle ne marche pas convenablement.

Si la contrainte de pente est trop large, alors la discrimination entre deux mots de différentes catégories est dégradée [8].

Ainsi il est à éviter de se trouver dans les cas où p est soit trop grand soit trop petit.

Les fig. II-2 (c) et II-2 (d) montrent deux exemples de chemins permis pour les points $c(k)$ sous la contrainte de pente $p=1$. Le type de contrainte présenté en II-2 (c) découle directement de la définition précédente, pendant que celui de la figure II-2 (d) est une approximation, ainsi c'est une contrainte. C'est la seconde dérivée de la fonction de déformation F , qui est réduite de manière à ce que le chemin suivi par $c(k)$ ne change pas de direction orthogonalement. Cette nouvelle contrainte réduit le nombre de chemins à calculer. Donc le type présenté en fig. II-2 (d) sera adopté sauf pour le cas où $p=0$.

ou Forme symétrique / Forme asymétrique:

A partir du moment où le critère de l'équation (5) est une expression rationnelle, sa maximisation est un problème peu maniable. Si le dénominateur dans l'équation (5)

$$N = \sum_{k=1}^K w(k) \quad (10)$$

(appelé coefficients de normalisation) est indépendant de la fonction de déformation F , il peut être mis en dehors des parenthèses :

$$D(A,B) = \frac{1}{N} \min_F \left[\sum_{k=1}^K d(c(k)) \cdot w(k) \right] \quad (11)$$

Le problème simplifié peut être résolu par l'utilisation de la technique de programmation dynamique .

Il y a deux définitions typiques des coefficients de pondération qui permettent cette simplification .

Elles sont comme suit :

1) Forme Symétrique:

$$w(k) = (i(k) - i(k-1)) + (j(k) - j(k-1)), \quad (12)$$

alors

(13)

$$N = I + J$$

où I et J sont les longueurs des échantillons de parole A et B respectivement .

a) Forme ~~de~~ symétrique:

$$w(k) = i(k) - j(k-1), \quad (14)$$

alors

$$N = I$$

(15)

(ce qui équivaut à $w(k) = (j(k) - j(k-1))$)

Les concepts de base des formes symétrique et asymétrique ont été défini à l'origine par Sakoe et Chiba .

Le problème de leur relative supériorité est resté sans solution. S'il est admis que les axes des temps i et j sont tous deux continus alors, dans la forme symétrique, la somme dans (5) signifie une intégration le long de l'axe i (i) définit provisoirement .

Dans la forme asymétrique, d'un autre côté, la somme signifie une intégration le long de l'axe des temps i .

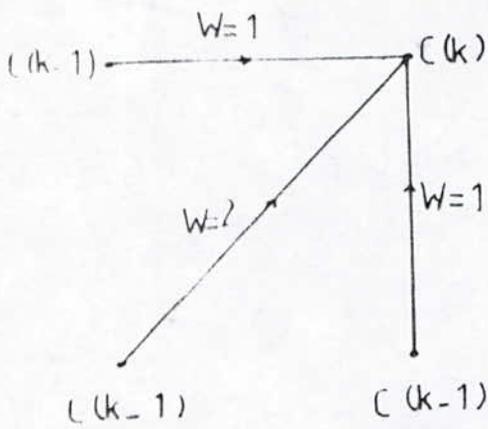
Comme résultat de cette différence, la distance normalisée dans le temps, pour la forme symétrique, est symétrique $D(A,B) = D(B,A)$, bien que ce ne soit pas le cas de la forme asymétrique .

Un autre résultat plus important, causé par la différence dans les axes d'intégration, est que comme il est indiqué dans la figure 11-3, le coefficient de pondération $w(k)$ réduit à zéro ([8]), dans la forme asymétrique, quand le point dans la fonction de déformation se déplace dans la direction de l'axe j , ou $c(k) = c(k-1) + (0,1)$.

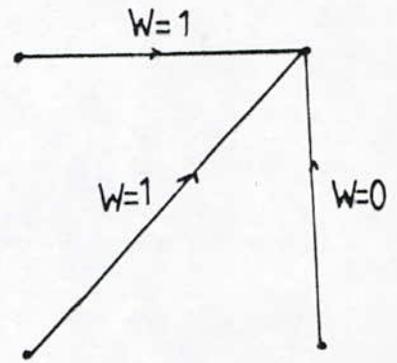
Cela signifie que quelques vecteurs caractéristiques b_j seraient peut être exclus de l'intégrale dans la forme asymétrique.

Au contraire, dans le cas de la forme symétrique, la valeur minimal de $w(k)$ est égale à 1 et aucune exclusion n'intervient.

A partir du moment où on s'est basé sur l'hypothèse que chaque partie de l'échantillon de parole est traitée de la même manière que les autres. Il peut être attendu donc, que la forme symétrique donne de meilleurs résultats. Cependant, il est à noter que la contrainte de pente réduit la situation où le point dans la fonction de déformation se déplace dans la direction de l'axe j .



forme symétrique
(a)



forme asymétrique
(b)

Fig. II-3. Coefficient de pénétration $W(k)$

11-4/ Algorithme de comparaison par programmation dynamique :

11-4-1/ Equation de programmation dynamique :

La définition simplifiée de la distance $D(A,B)$ donnée par l'expression (11) est un des problèmes typiques auxquels peut s'appliquer le principe de programmation dynamique. L'algorithme de base pour le calcul de (11) s'écrit comme suit :

Condition initiale

$$g(c(k)) = \min_{c(k-1)} [g(c(k-1)) + d(c(k)).w(k)] \quad (17)$$

Normalisation temporelle

$$D(A,B) = \sum_{k=1}^N g_k(c(k)). \quad (18)$$

Il est implicitement supposé ici que $c(0)=(0,0)$. $w(1)=2$ dans la forme asymétrique et $w(1)=1$ dans la forme symétrique .

Un des plus simples exemples, l'algorithme pour la forme symétrique dans lequel il n'y a pas de contrainte de pente (c'est le cas où $p=0$) , est présenté ci dessous:

Condition initiale

$$g(1,1) = 2d(1,1) \quad (19)$$

Equation

$$g(i,j) = \min \left[\begin{array}{l} g(i,j-1)+d(i,j) \\ g(i-1,j-1)+2d(i,j) \\ g(i-1,j)+d(i,j) \end{array} \right] \quad (20)$$

Ajustement de la fenêtre

$$j \text{ ou } i \leq j - r \quad (21)$$

normalisation temporelle de la distance

$$D(A,B) = \frac{1}{N} g(I,J) \quad \text{ou} \quad N=I+J \quad (22)$$

L'algorithme et spécialement l'équation de programmation dynamique, seraient modifiés lorsque la forme asymétrique serait adoptée ou quelques contraintes de pente employées.

Le tableau 1 représente des algorithmes de programmation dynamique avec les contraintes de Sakoe et Chiba.

Symétrie		Equation de programmation dynamique $g(i, j) =$	
symétrique / asymétrique			
0	symétrique	min	$\begin{bmatrix} g(i, j-1) + d(i, j) \\ g(i-1, j-1) + 2d(i, j) \\ g(i-1, j) + d(i, j) \end{bmatrix}$
	asymétrique	min	$\begin{bmatrix} g(i, j-1) \\ g(i-1, j-1) + d(i, j) \\ g(i-1, j) + d(i, j) \end{bmatrix}$
1 2	symétrique	min	$\begin{bmatrix} g(i-1, j-2) + 2d(i, j-2) + d(i, j-1) + d(i, j) \\ g(i-1, j-2) + 2d(i, j-1) + d(i, j) \\ g(i-1, j-1) + 2d(i, j) \\ g(i-2, j-1) + 2d(i-1, j) + d(i, j) \\ g(i-2, j-1) + 2d(i-1, j) + d(i-1, j) + d(i, j) \end{bmatrix}$
	asymétrique	min	$\begin{bmatrix} g(i-1, j-2) + (d(i, j-2) + d(i, j-1) + d(i, j)) / 2 \\ g(i-1, j-2) + (d(i, j-1) + d(i, j)) / 2 \\ g(i-1, j-1) + d(i, j) \\ g(i-2, j-1) + d(i-1, j) + d(i, j) \\ g(i-2, j-1) + d(i-2, j) + d(i-1, j) + d(i, j) \end{bmatrix}$
1	symétrique	min	$\begin{bmatrix} g(i-1, j-2) + 2d(i, j-1) + d(i, j) \\ g(i-1, j-1) + 2d(i, j) \\ g(i-2, j-1) + 2d(i-1, j) + d(i, j) \end{bmatrix}$
	asymétrique	min	$\begin{bmatrix} g(i-1, j-2) + (d(i, j-1) + d(i, j)) / 2 \\ g(i-1, j-1) + d(i, j) \\ g(i-2, j-1) + d(i-1, j) + d(i, j) \end{bmatrix}$
2	symétrique	min	$\begin{bmatrix} g(i-2, j-2) + 2d(i-1, j-2) + 2d(i, j-1) + d(i, j) \\ g(i-1, j-1) + 2d(i, j) \\ g(i-2, j-2) + 2d(i-2, j-1) + 2d(i-1, j) + d(i, j) \end{bmatrix}$
	asymétrique	min	$\begin{bmatrix} g(i-2, j-2) + 2(d(i-1, j-2) + d(i, j-1) + d(i, j)) / 2 \\ g(i-1, j-1) + d(i, j) \\ g(i-2, j-2) + d(i-2, j-1) + d(i-1, j) + d(i, j) \end{bmatrix}$

Tableau II-1

11-4- / Mise en oeuvre:

L'équation de P.D. ou $g(i,j)$ doit être calculée de manière récursive dans un ordre ascendant en respectant les coordonnées i,j ; commençant par les conditions initiales en $(1,1)$ jusqu'à $(1,J)$.

Le domaine où l'équation de P.D. doit être utilisée est spécifié par :

$$1 \leq i \leq I \quad , \quad 1 \leq j \leq J$$

et

$$j+r \leq i \leq j+r \quad \text{(ajustement de la fenêtre).}$$

La procédure pratique de calcul des distances est montrée dans l'organigramme de la figure 11-4

Cependant cette fenêtre n'a pas été utilisée dans tous les algorithmes concernant la contrainte de Sakoe et Chiba.

Une autre fenêtre qui est un losange dans le plan formé par les deux mots à comparer, constitue le domaine de recherche des plus courtes distances.

On a ainsi :

$$1 \leq i \leq I$$

$$1 \leq j \leq J$$

$$1/2 \leq i \leq 2i$$

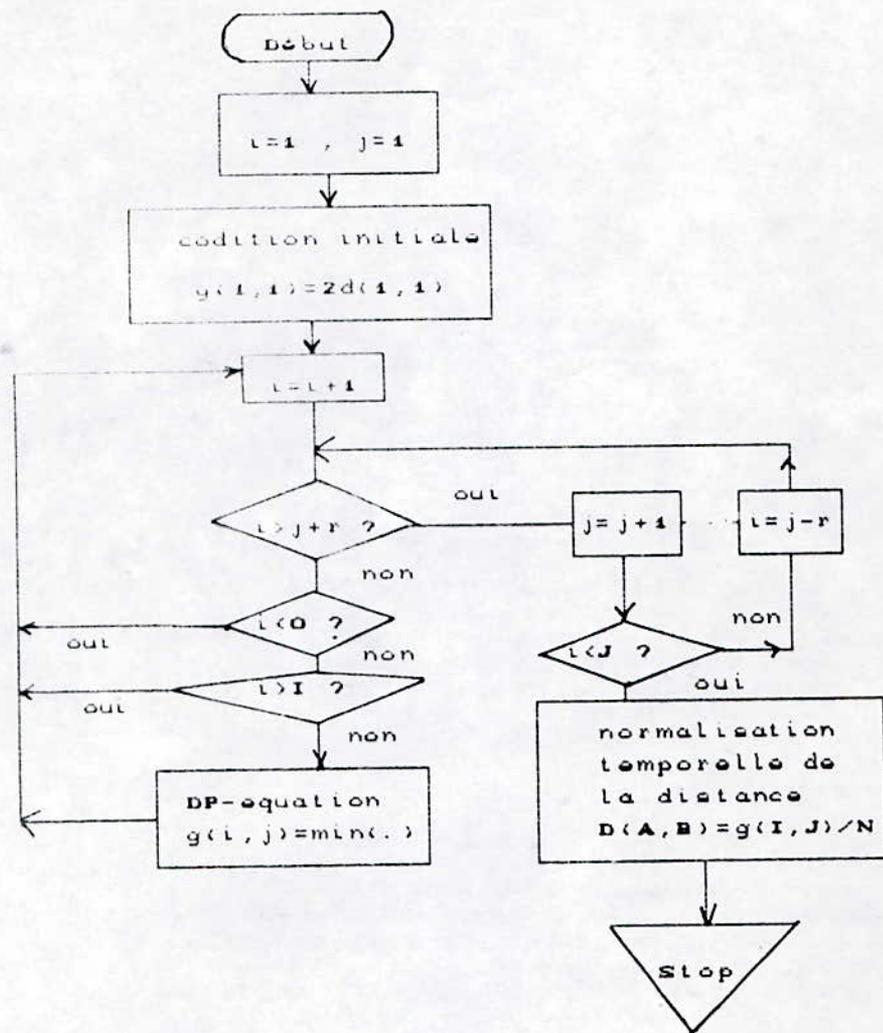


figure II-4 Organigramme de DP

11-5/ Conclusion:

Dans ce chapitre ont été étudié les équations donc les algorithmes de programmation dynamique qui serviront dans la comparaison les mots.

Il apparaît que la fonction de déformation et les contraintes qu'elle subit sont des facteurs primordiaux pour la recherche de l'algorithme optimal de reconnaissance.

Il est clair que l'algorithme optimal est celui qui d'un côté est le plus facile à mettre en oeuvre et d'un autre côté celui qui va donner les meilleurs résultats en reconnaissance.

L'algorithme le plus facile à mettre en oeuvre est celui qui a une pente $p = 0$ c'est à dire pas de contrainte de pente.

Le résultat des tests de reconnaissance est le meilleur critère de choix de l'algorithme optimal.

CHAPITRE III

III/ Simulation des voyelles:

Le conduit vocal favorise certaines zones fréquentielles nommées formants. Un formant se caractérise par un maximum de la fonction de transfert du conduit vocal. La richesse en harmoniques et leurs intensités relatives déterminent le timbre. Pour la plupart des voyelles 3 ou 4 formants apparaissent dans le spectre et leur position est très importante. En général, les deux premiers formants F1 et F2 suffisent à déterminer le timbre et à caractériser une voyelle donnée. Notons également que les positions des fréquences des formants peuvent varier chez un même locuteur lorsqu'il prononce un même son. Elles varient encore plus d'un locuteur à un autre.

Le pitch, premier harmonique, ne présente pour nous aucun intérêt dans notre travail. Il apparaît donc qu'il est suffisant de représenter les voyelles par deux formants caractéristiques. Nous appellerons ces formants F1; F2 . Cela va se voir dans la génération d'échantillons de parole (les voyelles) qui constituent les mots à reconnaître.

$$A_v/\sqrt{2} \sin(2\pi(F_1-10)n/N) + A_v \sin(2\pi F_1 n/N)$$

$$+ A_v/\sqrt{2} \sin((F_1+10)n/N) + A_v/\sqrt{2} \sin(2\pi(F_2-10)n/N)$$

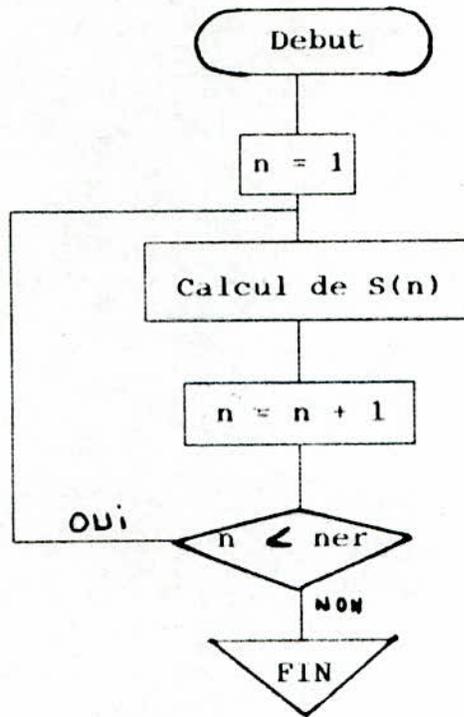
$$+ A_v \sin(2\pi F_2 n/N) + A_v/\sqrt{2} \sin(F_2+10)n/N$$

A_v est l'amplitude, est prise arbitrairement égale à 80 et peut être ajustée par la suite.

Le tableau suivant contient les formants caractéristiques pour chaque voyelle.

voyelles	F ₁	F ₂
A	750	1350
O	375	750
I	250	2500
E	400	2200
U	250	600
Y	250	1800

ORGANIGRAMME:



ner: nombre d'échantillons dans le signal parol.

S(n): les échantillons du signal parol, c'est la somme des six sinusoides présentées à la page précédente.

Av: amplitude de la voyelle "v".

CHAPITRE IV

IV/ Tests et résultats:

IV-1/ Introduction:

Dans le but d'évaluer quantitativement différents algorithmes de programmation dynamique, plusieurs tests de reconnaissance ont été effectués .

Les méthodes d'analyse de la parole utilisées sont: la méthode cepstrale puis la méthode de prédiction linéaire, déjà décrites dans le chapitre I .

Il a été constitué deux dictionnaires pour les six voyelles. Le premier contient les coefficients issus de l'analyse cepstrale et le second les coefficients de la LPC.

Le mot test passe aussi par l'analyse et est représenté par des coefficients (cepstraux et linéaires), c'est la phase d'apprentissage.

La distance $d(i, j)$ utilisée est la distance de *Tchebitchef* .

Les expériences se divisent en deux parties. La première partie a pour objectif la comparaison des performances de la forme symétrique par rapport à la forme asymétrique. Il s'agit aussi dans cette première partie de rechercher la contrainte de pente optimale .

Dans la seconde partie, l'algorithme optimale est comparé à différents autres algorithmes proposés.

Les paramètres des mots qui seront modifiés dans les différents tests sont: l'amplitude, les formants, et la durée.

La comparaison de la forme symétrique par rapport à la forme asymétrique a été faite pour les différentes valeurs de p (0, 1/2, 1, 2).

IV-2/TESTS SUR L'AMPLITUDE :

Tableau 1 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P=0 Forme Symétrique.

test / tol	A	O	I	E	U	Y
A	0.5007 E - 04 rejet	2.10303 E - 03	5.30630 E - 04	8.14100 E - 04	3.52250 E - 03	5.05340 E - 05
O	3.40412 E - 03	0.61233 E - 04	3.38360 E - 03	3.65725 E - 03	6.70541 E - 04	2.01358 E - 03
I	7.81100 E - 04	1.08302 E - 03	0.50756 E - 04 rejet	0.34315 E - 04	3.39247 E - 03	1.80640 E - 04
E	4.07084 E - 04	2.35712 E - 03	3.87552 E - 04	0.61111 E - 04 rejet	3.67568 E - 03	0.47756 E - 05
U	4.82258 E - 03	1.07060 E - 03	4.60215 E - 03	4.07570 E - 03	6.61141 E - 04	4.23104 E - 03
Y	1.35140 E - 03	1.61361 E - 03	1.22006 E - 03	1.40462 E - 03	2.03216 E - 03	6.50057 E - 04

Tableau 2 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P=0 Forme Asymétrique.

test / tol	A	O	I	E	U	Y
A	2.20002 E - 03 rejet	4.18585 E - 03	1.05005 E - 03	1.60617 E - 03	6.82206 E - 03	1.18847 E - 04
O	6.78602 E - 03	1.30024 E - 03	6.54516 E - 03	7.00228 E - 03	1.33686 E - 03	5.60405 E - 03
I	1.54015 E - 03	3.04562 E - 03	1.20020 E - 03 rejet	1.84640 E - 03	6.58273 E - 03	3.50070 E - 04
E	0.03747 E - 04	4.40203 E - 03	7.52882 E - 04	1.30000 E - 03 rejet	7.12014 E - 03	1.87320 E - 04
U	0.42204 E - 03	3.03716 E - 03	0.18208 E - 03	0.72020 E - 03	1.30006 E - 03	8.24187 E - 03
Y	2.48076 E - 03	3.00501 E - 03	2.23000 E - 03	2.78702 E - 03	5.64211 E - 03	1.20060 E - 03

Tableau 3 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse par Prediction Lineaire.

Pente P=0 Forme Symétrique

	A	O	I	E	U	Y
A	28 0112	1479.64	1807.97	1414.93	1919.98	1453.15
O	1455.73	1.79854 E - 02	403.895	63.4299	640.979	31.4588
I	1804.99	406.448	5.21643	439.575	506.689	429.978
E	1491.52	65.2578	436.849	0.56914	669.387	54.8287
U	1912.53	649.822	515.213	679.329	1.37271	661.282
Y	1453.42	32.5743	426.439	51.9999	662.492	0.26179

Tableau 4 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse par Prediction Lineaire.

Pente P=0 Forme Asymétrique.

	A	O	I	E	U	Y
A	56.0111 10 jul	2048.18	3724.83	2038.95	3929.95	2915.41
O	2992.36	3.49368 E - 02	814.679	135.748	1392.94	63.9664
I	3678.87	821.786	10.1417	869.939	1119.26	848.845
E	2883.93	135.394	862.589	0.92718	1449.66	112.546
U	3873.96	1389.53	1119.31	1447.54	2.63431	1411.45
Y	2959.73	63.9376	831.767	102.999	1303.87	0.41232

Tableau 5 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P = 1 Forme Symétrique

Forme / ref	A	O	I	E	U	Y
A	2.20051 E - 04	0.12228	0.14282	7.48867 E - 02	0.16091	8.04219 E - 02
O	0.18272	2.20051 E - 04	0.17789	0.12102	0.21971	0.12792
I	0.15814	0.14046	2.20044 E - 04	0.14832	7.86112 E - 02	0.10169
E	7.42480 E - 02	0.14042	0.15845	2.20045 E - 04	0.17278	6.91924 E - 02
U	0.15245	0.16776	8.95812 E - 02	0.18262	2.20052 E - 04	0.12812
Y	7.80474 E - 02	0.12920	0.10282	6.86220 E - 02	0.12290	2.20050 E - 04

Tableau 6 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P = 1 Forme Asymétrique.

Forme / ref	A	O	I	E	U	Y
A	6.49962 E - 04 rejet	2.69292	5.29529 E - 04	8.03088 E - 04	2.41148 E - 02	5.94239 E - 05
O	2.29201 E - 02	6.50122 E - 04	2.27258 E - 02	2.54614 E - 02	6.68430 E - 04	2.80247 E - 02
I	7.70078 E - 04	1.97281 E - 02	6.49645 E - 04 rejet	9.22204 E - 04	2.29126 E - 02	1.79539 E - 04
E	4.90872 E - 04	2.24001 E - 02	2.76441 E - 04	6.50000 E - 04 rejet	2.56457 E - 02	9.20645 E - 05
U	7.1147 E - 02	1.96858 E - 02	4.59104 E - 02	4.86460 E - 02	6.50030 E - 04	4.12092 E - 02
Y	1.24028 E - 02	1.50250 E - 02	1.11951 E - 02	1.20251 E - 02	2.82105 E - 02	6.40846 E - 04

Tableau 7 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse par Prediction Lineaire.

Pente P=1 Forme Symétrique

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	27.9001 rejet	1468.53	1806.86	1413.02	1009.07	1452.15
O	1440.62	1.68744 E - 02	401.785	62.3186	640.968	31.4771
I	.83.89	405.337	5.01532	429.464	504.579	418.867
E	1386.41	62.1467	425.739	0.45803	669.276	50.7176
U	1881.42	639.711	504.102	668.219	1.26160	650.171
Y	1424.31	31.4632	415.328	50.0090	651.381	0.15065

Tableau 8 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse par Prediction Lineaire.

Pente P=1 Forme Asymétrique.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	55.8003 rejet	2937.07	3613.72	2827.84	3819.04	294.309
O	2881.25	3.37489 E - 02	803.570	124.637	1281.03	62.0543
I	3567.79	310.675	10.0306	858.928	1009.15	837.734
E	2772.82	124.293	851.479	0.91607	1338.55	101.435
U	3762.85	1279.42	1008.20	1336.43	2.52320	1300.34
Y	2848.62	62.0265	830.656	101.998	13027.7	0.30131

VI- TESTS SUR LES FORMANTS

Tableau 1- Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Ceptrale.

Pente P=0 Forme Symétrique.

Formant / ref	A	O	I	E	U	Y
A	2.88784 K 00	2.74010 K 08	1.17005 K - 04	1.55075 K - 04	4.05871 K - 08	5.87712 K - 04
O	2.74471 K 08	1.71094 K 00	2.02427 K - 08	2.80788 K - 08	1.81605 K - 08	2.15417 K - 08
I	1.82772 K 04	2.01048 K 08	1.21819 K - 05	2.85090 K - 04	8.02800 K - 08	4.57987 K - 04
E	1.48809 K 04	1.88779 K 08	2.04441 K - 04	9.82965 E - 06	4.20685 K - 08	7.84847 K - 04
U	4.00891 K 08	1.82018 K 08	8.04298 K 08	4.21014 K - 08	1.40401 K - 06	8.47248 K - 08
Y	5.08220 K 04	2.14478 K 08	4.77704 K - 04	7.51858 K - 08	8.40888 K - 08	7.07708 K - 06

Tableau 2-Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Ceptrale.

Pente P=0 Forme Asymétrique.

Formant / ref	A	O	I	E	U	Y
A	5.07547 K 00	5.48010 K 08	2.85189 K - 04	8.11028 E - 04	8.11721 K - 08	1.17540 K - 08
O	5.48020 K 08	8.42107 K - 00	5.24888 K - 08	5.79545 E - 08	2.08868 K - 08	4.80812 K - 08
I	1.05128 K 04	5.22065 K - 08	2.42581 K - 05	5.71876 E - 04	7.85776 K - 08	9.15052 K - 04
E	2.87594 K - 04	3.77887 K - 08	5.28401 K - 04	1.80571 K - 05	8.41048 K - 08	1.46867 K - 08
U	8.12881 K - 08	2.04008 K - 08	7.88495 K - 08	8.48206 K - 08	2.02900 K - 06	6.04474 K - 08
Y	1.19648 K - 08	4.28985 K - 08	9.55566 K - 04	1.50268 K - 08	6.02645 K - 08	1.58556 K - 05

Tableau 3 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse par Prediction Lineaire.

Pente P=0 Forme Symétrique

Contrainte	A	O	I	E	U	Y
A	1101.22 rejet	358.634	708.080	200.135	801.531	340.513
O	1430.31	6.54016	400.711	60.8618	641.331	32.3274
I	1540.42	6.54016	408.541 rejet	362.474	608.425	362.364
E	1300.38	50.1078	435.521	5.16041	660.195	40.6852
U	2124.08	857.154	605.770	885.661	217.800 rejet	877.614
Y	1430.35	36.7281	426.756	54.8625	650.713	7.64580

Tableau 4-Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse par Prediction Lineaire.

Pente P=0 Forme Asymétrique.

Contrainte	A	O	I	E	U	Y
A	2182.22 rejet	600.047	1375.75	506.040	1760.84	678.804
O	2870.62	13.0803	801.422	121.723	1282.66	64.6540
I	2738.65	710.182	074.801 rejet	702.724	1374.63	700.727
E	2777.04	118.211	849.536	7.75730	1336.18	07.1483
U	4027.75	1602.08	1380.33	1740.10	412.412 rejet	1713.00
Y	2854.48	60.2341	831.201	107.502	1200.20	14.8495

Tableau 5- Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P=1/2 Forme Symétrique.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	2.95773 E - 06	2.84005 E - 03	1.27594 E - 04	1.65964 E - 04	4.15860 E - 03	5.97700 E - 04
O	2.84460 E - 03	1.81083 E - 06	2.72416 E - 03	2.99772 E - 03	1.41684 E - 03	2.25406 E - 03
I	1.42561 E - 04	2.71032 E - 03	1.31290 E - 05	2.95688 E - 04	3.99889 E - 03	4.67976 E - 04
E	1.53798 E - 04	2.98466 E - 03	2.74230 E - 04	9.42859 E - 06	4.30524 E - 03	7.44336 E - 04
U	4.16290 E - 03	1.42001 E - 03	3.99247 E - 03	4.31603 E - 03	1.56450 E - 06	3.57237 E - 03
Y	5.99915 E - 04	2.24467 E - 03	4.88783 E - 04	7.61342 E - 04	3.56322 E - 03	7.77782 E - 06

Tableau 6 -Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P=1/2 Forme Asymétrique.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	5.77547 E - 06	5.58010 E - 03	2.45189 E - 04	3.21928 E - 04	8.21721 E - 03	1.27540 E - 03
O	5.58920 E - 03	3.52167 E - 06	5.34833 E - 03	5.89547 E - 03	2.73368 E - 03	4.40812 E - 03
I	2.75123 E - 04	5.32065 E - 03	2.52581 E - 05	5.81376 E - 03	7.95776 E - 03	9.25952 E - 04
E	2.97596 E - 04	5.87337 E - 03	5.38461 E - 04	1.96571 E - 05	8.51048 E - 03	1.56867 E - 03
U	8.22581 E - 03	2.74003 E - 03	7.98495 E - 03	8.53206 E - 03	2.99900 E - 06	6.99474 E - 03
Y	1.30046 E - 03	6.78624 E - 03	1.54133 E - 03	8.99213 E - 04	9.42335 E - 03	2.48154 E - 03 rejet

Tableau 7- Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Par Prediction Lineaire.

Pente P=1/2 Forme Symétrique.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	2092.41 rejet	440.523	787.870	308.024	080.420	430.402
O	2441.40	1.000000	501.380	72.7243	730.021	41.2840
I	2260.92	455.001	587.430 rejet	451.362	787.310	450.364
E	2888.52	60.1057	524.768	3.08000	768.434	50.1270
U	3013.87	040.043	704.668	074.550	306.206 rejet	056.503
Y	2427.24	44.6170	515.645	63.7514	740.602	8.00876

Tableau 8 -Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Par Prediction Lineaire.

Pente P=1/2 Forme Asymétrique.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	3182.22 rejet	700.047	2275.75	606.040	2760.84	778.804
O	3882.03	3.88436	002.770	225.448	2270.84	72.5608
I	3738.65	810.182	085.861 rejet	802.724	2374.63	600.727
E	3777.04	218.211	040.536	7.87043	2336.87	00.3660
U	5027.75	2002.08	2380.33	2740.10	512.412 rejet	2712.00
Y	3854.48	70.2341	031.201	207.502	2200.20	15.0506

Tableau 9 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P=1 Forme Symétrique.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	2.83773 E - 06	2.74005 E - 03	1.17594 E - 04	1.55964 E - 04	4.05860 E - 03	5.87700 E - 04
O	2.74460 E - 03	1.71082 E - 06	2.62416 E - 03	2.89772 E - 03	1.21684 E - 03	2.15400 E - 03
I	1.10857 E - 04	2.68252 E - 03	1.00750 E - 05	2.68484 E - 04	2.05108 E - 03	4.80180 E - 04
E	1.42708 E - 04	2.88668 E - 03	2.64220 E - 04	0.22859 E - 06	4.20524 E - 03	7.24226 E - 04
U	4.06200 E - 03	1.22001 E - 03	2.94247 E - 03	4.21602 E - 03	1.46450 E - 06	2.47227 E - 03
Y	5.98215 E - 04	2.14467 E - 04	4.77782 E - 04	7.51242 E - 04	2.46222 E - 03	7.67782 E - 06

Tableau 10 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P= 1 Forme Asymétrique.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	0.12068 E - 02	0.17775	0.11970	0.12549	0.12420	0.12804
O	0.15498	0.12620	0.14202	0.10576	0.14497	0.12265
I	0.12012	0.18266	0.11167	0.14262	0.16730	0.15130
E	2.80020 E - 02	0.10864	0.12922	7.20064 E - 02	0.14102	0.14157
U	0.22697	0.18552	0.20291	0.12124	0.20007 rejet	0.12694
Y	0.12514	0.16626	0.12214	0.11290	0.15702	0.11066

Tableau 11 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Par Prediction Lineaire.

Pente P=1 Forme Symétrique.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	1091.11 rejet	340.523	687.870	298.024	880.420	330.402
O	1441.46	1.65316	401.380	62.7243	630.021	31.2840
I	1360.32	355.091	487.430 rejet	351.362	687.310	350.364
E	1388.52	50.1057	424.768	3.87866	668.434	40.1270
U	2013.87	846.043	604.668	874.550	206.206 rejet	856.503
Y	1427.24	34.6170	415.645	53.7514	640.602	7.42475

Tableau 12 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Par Prediction Lineaire.

Pente P=1 Forme Asymétrique.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	332.511 rejet	143.121	375.306	230.440	176.814	113.374
O	623.275	351.850 rejet	560.600	450.057	375.036	310.080
I	4503.65	4233.10	4458.21 rejet	4342.04	4274.95	4245.04
E	440.707	167.940	425.021	238.201 rejet	186.605	143.082
U	4027.75	1602.08	1380.33	1740.10	412.412 rejet	1713.00
Y	2854.48	60.2341	831.201	107.502	1200.20	14.8405

Tableau 13 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente $P=2$ Forme Symétrique.

test \ ref	A	O	I	E	U	Y
A	2.00073 E - 06	2.85105 E - 03	1.28695 E - 04	1.66075 E - 04	4.16071 E - 03	5.08800 E - 04
O	2.85560 E - 03	1.82194 E - 06	2.79527 E - 03	2.00883 E - 03	1.42705 E - 03	2.26507 E - 03
I	1.43672 E - 04	2.72043 E - 03	1.32300 E - 05	2.06700 E - 04	3.03000 E - 03	4.68087 E - 04
E	1.54800 E - 04	2.00770 E - 03	2.75341 E - 04	0.43060 E - 06	4.31635 E - 03	7.45447 E - 04
U	4.17300 E - 03	1.43112 E - 03	3.05358 E - 03	4.32714 E - 03	1.57561 E - 06	3.58348 E - 03
Y	5.00326 E - 04	2.25578 E - 03	4.88804 E - 04	7.62433 E - 04	3.57433 E - 03	7.78803 E - 06

Tableau 14 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente $P=2$ Forme Asymétrique

test \ ref	A	O	I	E	U	Y
A	5.78658 E - 06	5.59217 E - 03	2.46200 E - 04	3.22030 E - 04	8.22832 E - 03	1.28651 E - 03
O	5.50031 E - 03	3.53278 E - 06	5.35044 E - 03	5.89656 E - 03	2.74470 E - 03	4.41023 E - 03
I	2.76234 E - 04	5.33176 E - 03	2.53602 E - 05	5.82487 E - 04	7.06887 E - 03	0.26063 E - 04
E	2.08607 E - 04	5.88448 E - 03	5.30572 E - 04	1.07682 E - 05	5.30572 E - 04	1.57072 E - 03
U	8.23602 E - 03	2.75114 E - 03	7.00506 E - 03	8.54317 E - 03	2.03011 E - 06	6.05585 E - 02
Y	1.20755 E - 03	4.30046 E - 03	0.66677 E - 04	1.61370 E - 03	6.03756 E - 03	1.64667 E - 05

Tableau 15 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Par Prediction Lineaire.

Pente P= 2 Forme Symétrique.

test \ ref	A	O	I	E	U	Y
A	2401.08 rejet	74.8784	646.082	68.7100	864.800	60.3327
O	2441.40	2.65316	601.380	82.7242	830.021	61.3327
I	2300.82	335.001	687.430 rejet	82.7242	830.021	51.2840
E	1300.82	70.1057	624.768	5.87866	868.434	60.1270
U	4013.87	058.143	804.668	006.660	408.456 rejet	078.503
Y	3427.22	54.6010	615.647	73.7420	840.616	0.38028

Tableau 16 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse par Prediction Lineaire.

Pente P= 2 Forme Asymétrique.

test \ ref	A	O	I	E	U	Y
A	2803.86 rejet	300.757	008.164	00.8818	3220.80	03.6654
O	4830.70	643.560 rejet	076.625	628.180	3357.58	624.583
I	4738.65	010.182	087.861 rejet	002.724	3374.62	000.727
E	4777.04	338.211	006.546	7.00562	3336.87	00.5550
U	6027.75	3602.08	3380.33	3740.10	612.412 rejet	3713.00
Y	4854.48	80.2341	053.201	300.502	3200.20	17.8408

Tableau 17 - Contrainte de VELICHKO & ZAGORUYKO.

Analyse Centrale.

lens / ref	A	O	I	E	U	Y
A	0.00000	0.00726	0.00727	0.00088	0.00504	0.00041
O	0.00008	0.00728 rejet	0.00082	0.00084	0.00505	0.00042
I	0.00007	0.00787	0.00088 rejet	0.00085	0.00508	0.00052
E	0.00007	0.00777	0.00004	0.00006	0.00506	0.00048
U	0.00008	0.00808	0.00005	0.00578	0.00007	0.00758
Y	0.00008	0.00007	0.00006	0.00678	0.00006	0.00652 rejet

Tableau 18 - Contrainte de VELICHKO & ZAGORUYKO.

Analyse par Prediction Lineaire.

lens / ref	A	O	I	E	U	Y
A	-1400.0 rejet	-58.878	-445.08	-47.710	-668.80	-30.882
O	-1440.4	-0.6581	-400.80	-61.724	-688.02	-30.284
I	-1808.8	-854.00 rejet	-480.48	-350.36	-686.81	-340.36
E	-1807.5	-58.105	-428.76	-2.8786	-667.48	-48.127
U	-2012.8	-848.04	-608.66	-878.55	-205.20 rejet	-855.50
Y	-1426.2	-88.617	-414.64	-52.751	-648.60	-6.4247

IV-4/ TESTS SUR LA DUREE :

Tableau 1 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P=0 Forme Symétrique.

test sur la durée

TEST / VOT	A	O	I	E	U	Y
A	IR 0 E - 03	5.48578 E - 03	2.40865 E - 04	3.06253 E - 04	8.12288 E - 03	1.18107 E - 03
O	5.48578 E - 03	IR 0 E - 03	5.24491 E - 03	5.79203 E - 03	2.63710 E - 03	4.30470 E - 03
I	2.40865 E - 04	5.24491 E - 03	IR 0 E - 03	5.47118 E - 04	7.88202 E - 03	9.40211 E - 04
E	3.06253 E - 04	5.79203 E - 03	5.47118 E - 03	IR 0 E - 03	8.42914 E - 03	1.48732 E - 03
U	8.12288 E - 03	2.63710 E - 03	7.88202 E - 03	8.42914 E - 03	IR 0 E - 03	6.94181 E - 03
Y	1.18107 E - 03	4.30470 E - 03	9.40211 E - 04	1.48732 E - 03	6.94181 E - 03	IR 0 E - 03

D1

Tableau 2 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P=0 Forme Asymétrique.

TEST / VOT	A	O	I	E	U	Y
A	IR 0 E - 03	2.74289 E - 03	1.20432 E - 04	1.53126 E - 04	4.06144 E - 03	5.90538 E - 04
O	2.74289 E - 03	IR 0 E - 03	2.62245 E - 03	2.89601 E - 03	1.31855 E - 03	2.15235 E - 03
I	1.20432 E - 04	2.62245 E - 03	IR 0 E - 03	2.73559 E - 04	3.94101 E - 03	4.70105 E - 04
E	1.53126 E - 04	2.89601 E - 03	2.73559 E - 04	IR 0 E - 03	4.21457 E - 03	7.43664 E - 04
U	4.06144 E - 03	1.31855 E - 03	3.94101 E - 03	4.21457 E - 03	IR 0 E - 03	3.47090 E - 03
Y	5.90538 E - 04	2.15235 E - 03	4.70105 E - 04	7.43664 E - 04	3.47090 E - 03	IR 0 E - 03

Tableau 3 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P=1 Forme Symétrique.

Forme / Pente	A	O	I	E	U	Y
A	≈ 0	0.19711	0.16323	8.48341 E - 02	0.18402	0.88285 E - 02
O	0.20871	0.73761 E - 08	0.20321	0.14962	0.25120	0.15753
I	0.17487	0.17038	≈ 0	0.16945	0.00888 E - 02	0.11627
E	8.48341 E - 02	0.16060	0.18110	≈ 0	0.19768	7.92527 E - 02
U	0.17411	0.19152	0.10205	0.20963	≈ 0	0.15201
Y	8.91346 E - 02	0.15916	0.11737	7.82198 E - 02	0.15201	≈ 0

tests
sur la
A dure
2

Tableau 4 - Contrainte de SAKOE & CHIBA.

Analyse Cepstrale.

Pente P = 1 Forme Symétrique.

Forme / Pente	A	O	I	E	U	Y
A	≈ 0	2.74289	1.20432	1.53126	4.06144	5.90538
		E - 03	E - 04	E - 04	E - 03	E - 04
O	2.74289 E - 03	≈ 0	2.62245	2.89601	1.31855	2.15235
			E - 03	E - 03	E - 03	E - 03
I	1.20432	2.62245	≈ 0	2.73559	3.94101	4.70105
	E - 04	E - 03		E - 04	E - 03	E - 04
E	1.53126	2.89617	2.73559	≈ 0	4.21457	7.43664
	E - 03	E - 03	E - 04		E - 03	E - 04
U	4.06144	1.31855	3.94101	4.21457	≈ 0	3.47090
	E - 03	E - 03	E - 03	E - 03		E - 03
Y	5.90538	2.15235	4.70105	7.43664	3.47090	≈ 0
	E - 04	E - 03	E - 04	E - 04	E - 03	

IV-5/Conclusion :

Les tests effectués sur l'amplitude indiquent que la méthode d'analyse par prédiction linéaire est nettement plus sensible à ce paramètre que l'analyse cepstrale. Cela pouvait être prédit par l'étude théorique au chapitre I; le cepstre est normalisé en énergie ce qui explique son immunité aux variations d'amplitude.

De leur côté les tests sur les formants indiquent eux aussi que des deux analyses, la cepstrale est la plus adaptée à notre système. Le cepstre ne tient pas compte du pitch ce qui le rend plus apte à servir dans la partie analyse d'un logiciel de reconnaissance multi locuteurs.

Les tests sur la durée est la pente de la fonction de déformation, eux sont plutôt déterminants pour le choix de l'algorithme DTW optimal pour notre logiciel.

Pour fixer son choix sur un algorithme il a été tenu compte de tous les tests.

Le calcul du taux d'erreur pour chaque algorithme lors des tests sur l'amplitude, les formants et la pente, est le critère de décision quant à la relative efficacité de ces algorithmes en reconnaissance.

Une comparaison entre les deux formes symétrique et asymétrique indique que la forme symétrique est dans notre cas

plus performante que la forme asymétrique.

Ce résultat est satisfaisant puisque l'utilisation de la forme asymétrique (qui comporte des divisions) pose un problème de temps de calcul dans un microprocesseur.

Dés quatre pentes ($p=0, 1, 1/2, 2$) testées, la pente $p=1$ est optimale. Elle est une des plus facile à mettre en oeuvre.

L'algorithme optimal de Sakoe & Chiba ($p=1$ forme symétrique) est comparé à trois autres algorithmes, celui d'Itakura, celui de Velichko & Zagoruyko, celui de White & Neely.

Il sort de cette comparaison que l'algorithme de Sakoe & Chiba reste l'optimale.

CHAPITRE V

CONCLUSION

V/ Conclusion generale:

Ce travail, nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le traitement du signal et dans la programmation d'algorithmes sur calculateur.

La reconnaissance de la parole est un domaine pluridisciplinaire.

Il existe plusieurs techniques pour la reconnaissance de la parole:

- l'intelligence artificielle en utilisant les langages, LOGO, LISP, PROLOG....

- les methodes statistiques à l'aide des chaines de Markov.

- les algorithmes de programmation dynamique.

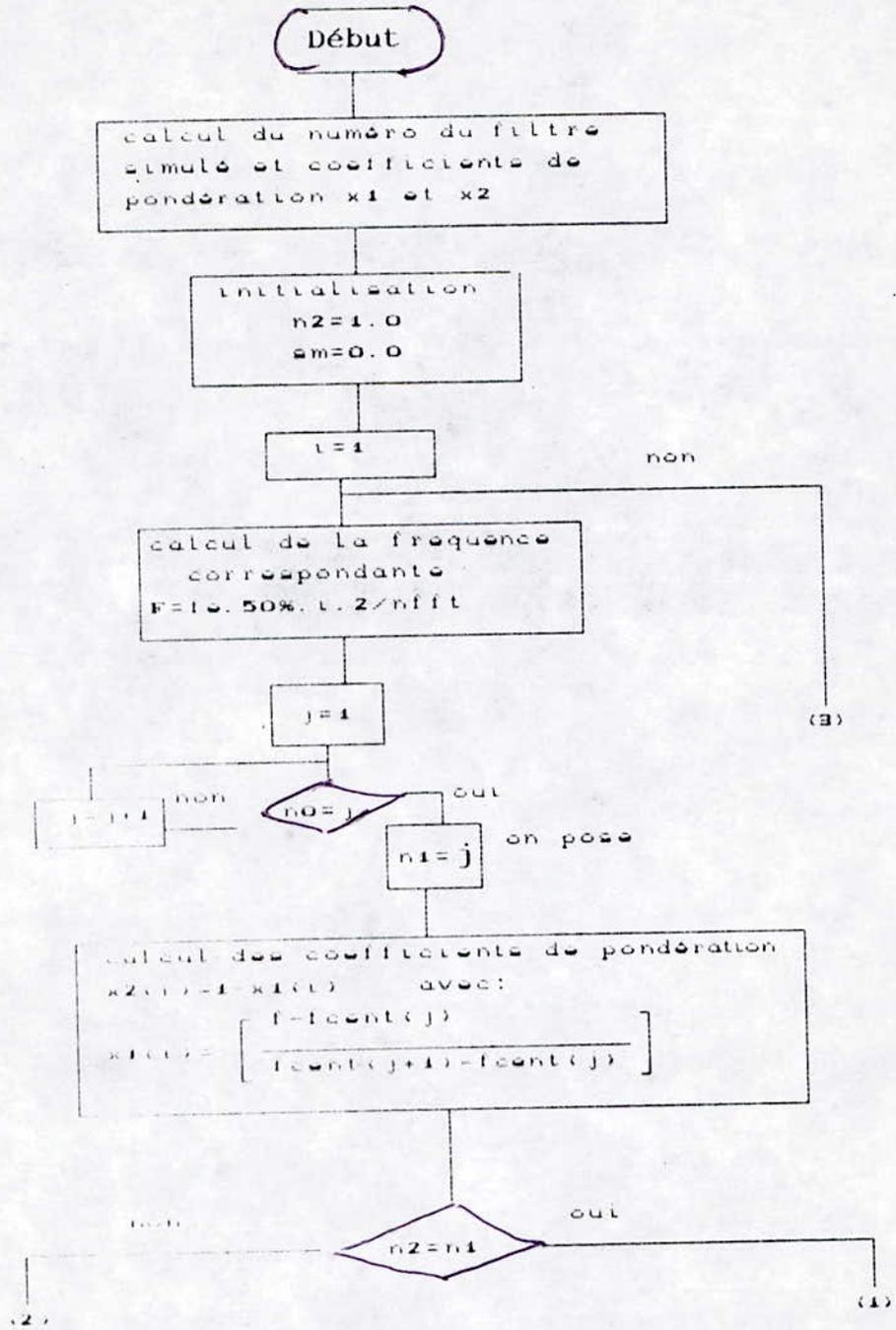
Dans le cadre de notre projet, nous avons opté pour la reconnaissance, la programmation dynamique, toutefois, il serait souhaitable de concrétiser notre travail en réalisant un système autonome à base d'un microprocesseur. Ce projet peut être complété :

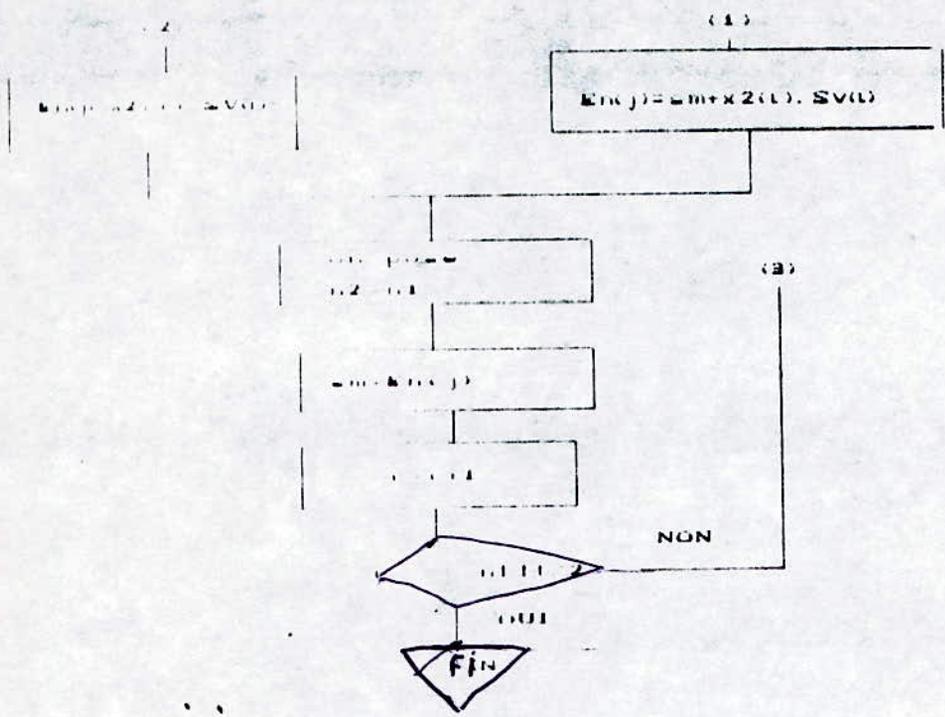
- d'une part en testant nos programmes avec les échantillons de la parole réelle .

- d'autre part en établissant une comparaison entre les différentes techniques de reconnaissance de la parole .

ANNEXE

ORGANIGRAMME:





nfft: nombre de points pour le calcul de fft.

F: fréquence correspondante à chaque rate.

50%: on utilise un banc de filtres triangulaires avec un recouvrement de 50% donc toutes les raies seront contenues dans les filtres et les pertes en energies seront minimises, ainsi les rates qui se trouvent dans l'intersection des 2 filtres peuvent avoir une énergie pondérée par le milieu des deux.

sv: signal vocal, n2 n1: c'est pour passer d'un filtre à un autre, x1, x2: coefficients de ponderations.

organigramme :

Coefficients cepstraux

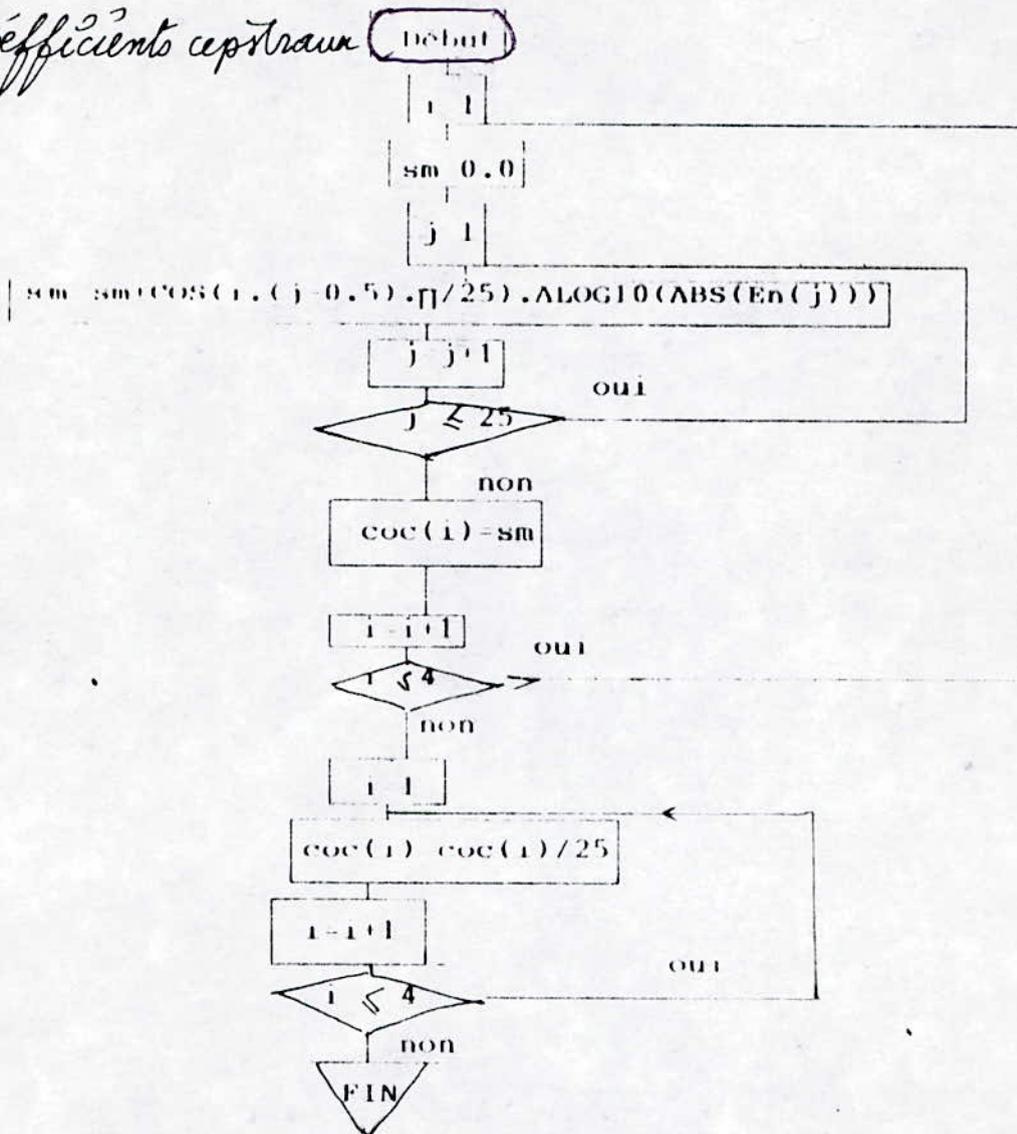
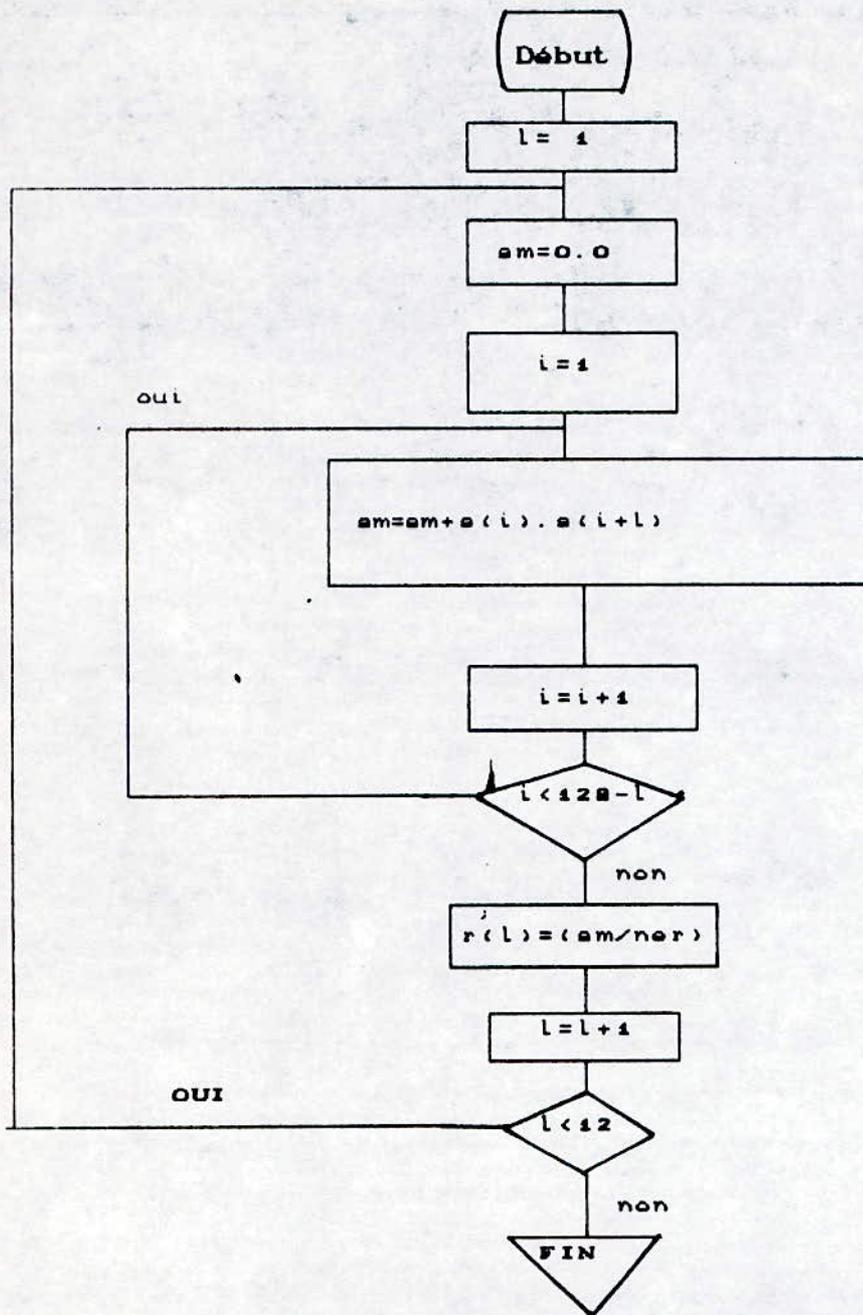


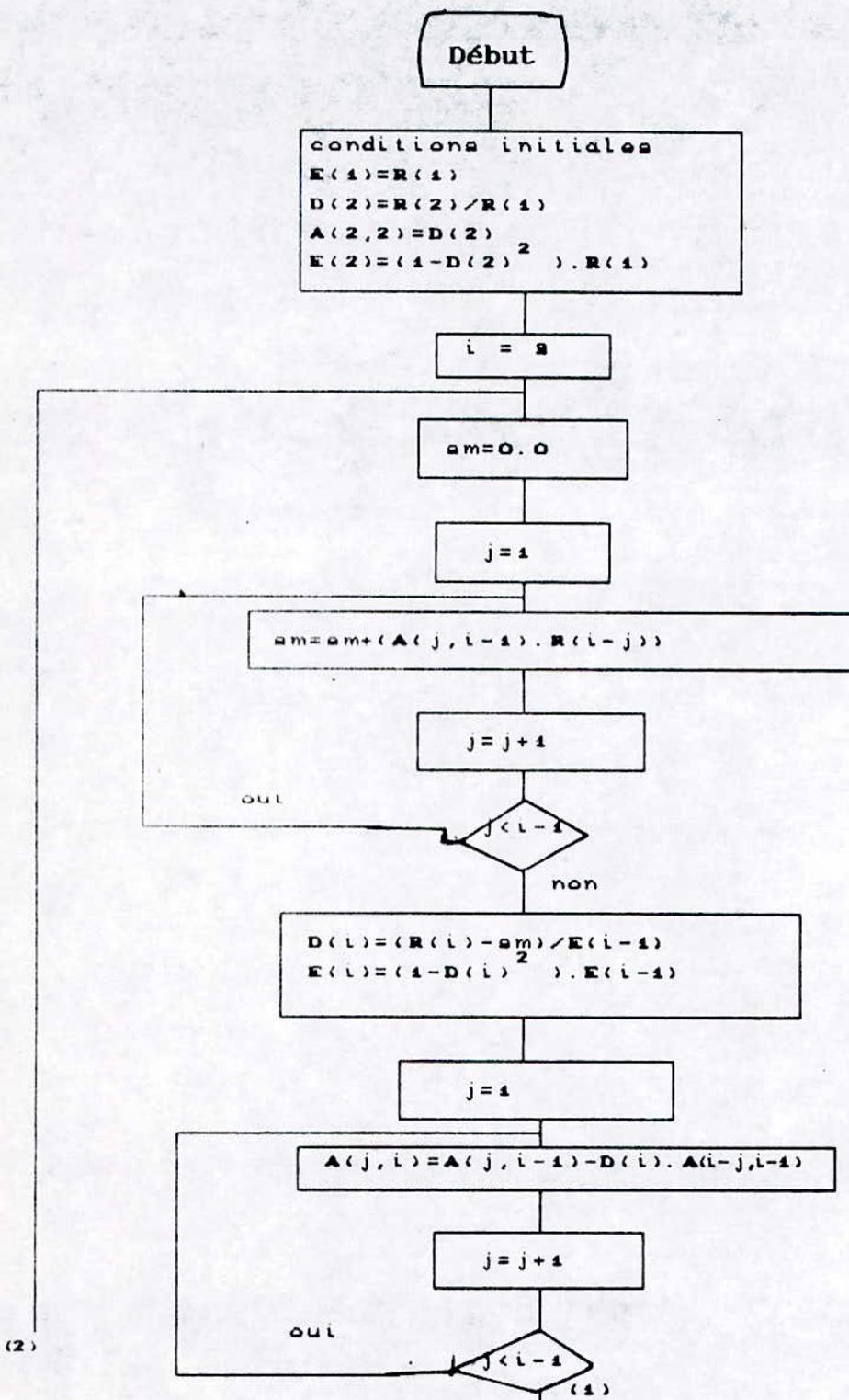
fig 2

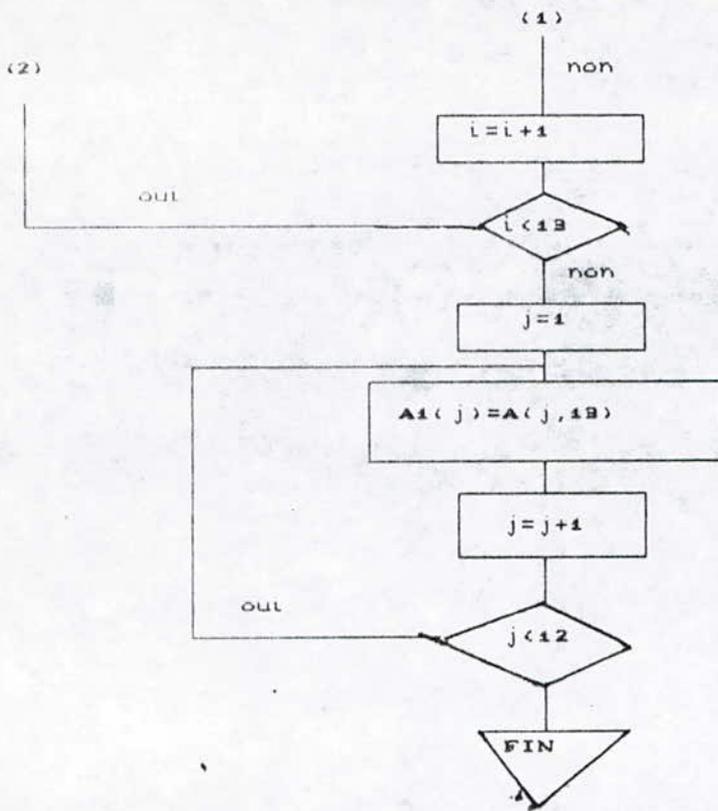
ORGANIGRAMME :



coefficients d'auto correlation

ORGANIGRAMME :





coefficients prédictifs

Algorithme	condition initiale $g(1,1)=$	coefficiente de normalisation N	DP-equation $g(i,j)$
Itakura	$d(1,1)$	I	$\min \begin{bmatrix} g(i-1,j)+d(i,j) \\ g(i-1,j-1)+d(i,j) \\ g(i-1,j-2)+d(i,j) \end{bmatrix}$
Velichko et Zagoruyko	$a(1,1)$	$\max [I, J]$	$\max \begin{bmatrix} g(i,j-1) \\ g(i-1,j) + a(i,j) \\ g(i,j-1)+d(i,j) \end{bmatrix}$ où $a(i,j) = 1 - d(i,j)$
White et Neely	$d(1,1)$	(I, J)	$\min \begin{bmatrix} g(i-1,j)+d(i,j) \\ g(i-1,j-1)+d(i,j) \\ g(i,j-1)+d(i,j) \end{bmatrix}$

Tableau III-2 Algorithmes de P.D. soumis à la comparaison

Tableau 19 - Contrainte de NEELY & WHITE.

Analyse Centrale.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	2.05005 E - 00	2.07227 E - 00	1.80706 E - 04	1.77086 E - 04	4.27002 E - 02	5.00022 E - 04
O	2.00022 E - 00	1.02207 E - 00	2.84022 E - 02	2.02222 E - 02	1.54207 E - 02	2.22027 E - 02
I	1.55272 E - 04	2.00247 E - 00	1.52002 E - 05	2.02270 E - 04	4.02777 E - 02	4.20202 E - 04
E	1.05000 E - 04	2.22050 E - 02	2.20452 E - 04	0.54070 E - 06	4.42740 E - 02	7.40552 E - 04
U	4.22402 E - 02	1.54222 E - 02	4.22120 E - 02	4.52224 E - 02	1.02072 E - 06	2.52450 E - 02
Y	0.00427 E - 04	2.40020 E - 02	4.00002 E - 04	7.74504 E - 04	2.02544 E - 02	7.20004 E - 06

Tableau 20 - Contrainte de NEELY & WHITE.

Analyse par Prediction Lineaire.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	2205.02 rejet	04.2724	666.022	62.0210	004.200	60.2227
O	2450.40	1.05027	601.220	02.7252	020.020	61.4250
I	2202.22	502.002	727.420 rejet	557.202	062.210	520.260
E	2222.02	70.1027	624.702	2.20024	002.424	60.1220
U	0012.27	002.202	004.002	074.000	200.002 rejet	022.502
Y	2427.24	04.0170	715.042	22.7525	040.024	2.00742

Tableau 21 - Contrainte d'ITAKURA.

Analyse Cepstrale.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	3.05080 E - 06	3.74069 E - 03	2.17640 E - 04	2.66975 E - 03	5.16971 E - 03	6.08811 E - 03
O	3.85571 E - 03	2.82109 E - 06	3.73527 E - 03	3.09883 E - 03	2.42795 E - 03	3.26517 E - 03
I	2.33672 E - 04	3.72143 E - 03	2.32391 E - 05	3.06799 E - 04	4.03993 E - 03	5.68985 E - 04
E	2.54899 E - 04	3.09779 E - 03	3.75341 E - 04	0.66979 E - 06	5.31637 E - 03	8.45447 E - 04
U	5.17391 E - 03	2.43112 E - 03	4.05358 E - 03	5.32714 E - 03	2.68671 E - 06	4.58348 E - 03
Y	6.09326 E - 04	3.25578 E - 03	5.88804 E - 04	8.62453 E - 04	4.57433 E - 03	8.78893 E - 06

Tableau 22 - Contrainte d'ITAKURA.

Analyse r Prediction Lineaire.

test / ref	A	O	I	E	U	Y
A	2192.22 rejet	450.634	708.080	300.735	991.531	440.513
O	2552.57	2.76475	512.400	73.8354	749.932	42.3957
I	2470.43	466.102	508.541 rejet	462.473	708.429	461.475
E	2400.63	69.2168	535.879	4.98977	779.545	59.2389
U	3124.98	957.154	795.779	985.661 rejet	328.317	967.614
Y	2538.35	45.7281	526.756	64.8625	759.713	8.53586

Bibliographie

Bibliographie

- 1- E.EMERIT. " COURS DE PHONETIQUE ACOUSTIQUE ".
SNED.
- 2- JEAN.GUIBERT. " LA PAROLE COMPREHENSION ET SYNTHESE PAR
LES ORDINATEURS ".
PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE 1979.
- 3- A.MENACER. "RECONNAISSANCE DE LA PAROLE EN MODE
MULTILOCUTEURS ".
THESE DE DOCTEUR-INGENIEUR A L'UNIVERSITE DE NEUCHATEL.
- 4- M.ROSSI. " ELECTRO-ACOUSTIQUE ".
DUNOD.
- 5- M.KUNT. " TRAITEMENT NUMERIQUE DES SIGNAUX ".
DUNOD.
- 6- R.BOITE ET M.KUNT. " TRAITEMENT DE LA PAROLE ".
PRESSES POLYTECHNIQUES ROMANDES.
- 7- J.TREMOLIERE. " SYNTHESE DE LA PAROLE ".
ELECTRONIQUE APPLICATION OCT/NOV 1988.
- 8-SAKOE ET CHIBA. " DYNAMIC PROGRAMMING ALGORITHM
OPTIMISATION FOR SPOKEN WORD RECONGNITION ".
IEEE ASSP 26 N= 1 FEV 1978.
- 9-LAWRENCE R.RABINER ET RONALD W.SCHAFFER. " DIGITAL
PROCESSING OF SPEECH SIGNALS ".
PRINTICE.HALL-ALAN OPENHEIM EDITOR.NEW JERSEY.1978.

10-A.MOKEDDEM." ANALYSE DE LA PAROLE:RECONNAISSANCE
MULTILOCUTEURS DE MOTS ISOLEES POUR LES SYSTEMES MINIATURISES"
THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES . UNIVERSITE DE NEUCHATEL.1985.