

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POLULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DU GÉNIE ELECTRIQUE ET
D'INFORMATIQUE



MEMOIRE

De fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme

D'INGENIUER D'ETAT EN ELECTRONIQUE

OPTION : COMMUNICATION

THEMIE

**LES METHODES DE DEBRUITAGE
DU SIGNAL DE PAROLE**

Proposé et dirigé par :

M^R. S.HADDAB

Etudié par :

M^R. BEDOUHENE MOULOU

M^R.TABANI KARIM

Promotion 2008

Remerciements

Nous tenons à remercier :

Le bon Dieu qui nous a donné la bonne santé et la persévérance durant notre cursus.

Nos parents et tous ceux qui nous ont aidé pour mener à terme ce travail.

Notre promoteur Mr. Haddab.S.

Les membres de jury.

Dédicaces

Je dedie ce modeste travail :

A mes parents pour leurs sacrifices et leurs soutients .

A mon frère :Ghabane .

Mes sœurs :Kahina, Nadia,Dahboucha , Rezika et Fazia .

Monsieur et Madame KHELLAS

A mes amis :Moh Ferras,Aziz, Samir, Kahina et Mounia, et toute personne que j' ai oublié.

A mon binôme et fidél ami Karim ,

Hayate ,Zahia, et ses familles.

Et a tous les étudiants de la prômo 2008.

Mouloud.B

Dédicaces

Je dedie ce modeste travail tout d'abord :
A mes parents pour leurs sacrifices et leurs soutients .
A mes chers frères :Meziene et son epouse
Hassina, Mohamed et son épouse Sadia, Ramdane et sa
fiancé Zina et Rachid
A mes chères sœurs :Ouiza, Ouardia, Nadia, Nassima et
Lylia.
A mes amis :Moh Ferras, Aziz, Samir, Kahina et
Mounia, et toute personne que j'ai oublié.
A ma petite amie Khalissa.
A mon binôme et fidél ami Mouloud et sa famille.
Sans oublier mon grand père djedi Moh que Dieu le
protège.
Et a tous les étudiants de la prômo 2008.

Karim 7.

SOMMAIR

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LE SIGNAL DE PAROLE.

Introduction.....	2
I.1. Description et caractéristique du système de production de la parole.....	2
I.1.1.appareil phonatoire.....	2
I.1.2. Phonation.....	3
I.1.3.Taxonomie des sons.....	4
I-1.3.1.Phonétique.....	4
I-1.3.2.Classes phonétique.....	4
I-1.3.3. L'alphabet phonétique international.....	7
I-2. C haine d'acquisition le signal de parole.....	8
I-3.Caractéristiques du signal de parole.....	12
I-4. Méthodes d'analyse de la parole.....	12
I-4.1.L'analyse Modèle Autorégressif.....	12
I-4.2 .L'analyse par prédiction linéaire (Linear Predictve Coding (LPC)).....	13
I-4.3.L'analyse par évaluation des Coefficients Cepstraux.....	13
I-4.3.1. Le Cepstre : (cepstre = (spec) ⁻¹ tre).....	14
I-4.3.2. L'analyse MFCC (Mel Frequncy Coefficient cepstral)	14
Conclusion.....	16

CHAPITRE II : LA TRANSFORMÉE EN ONDELETTE.

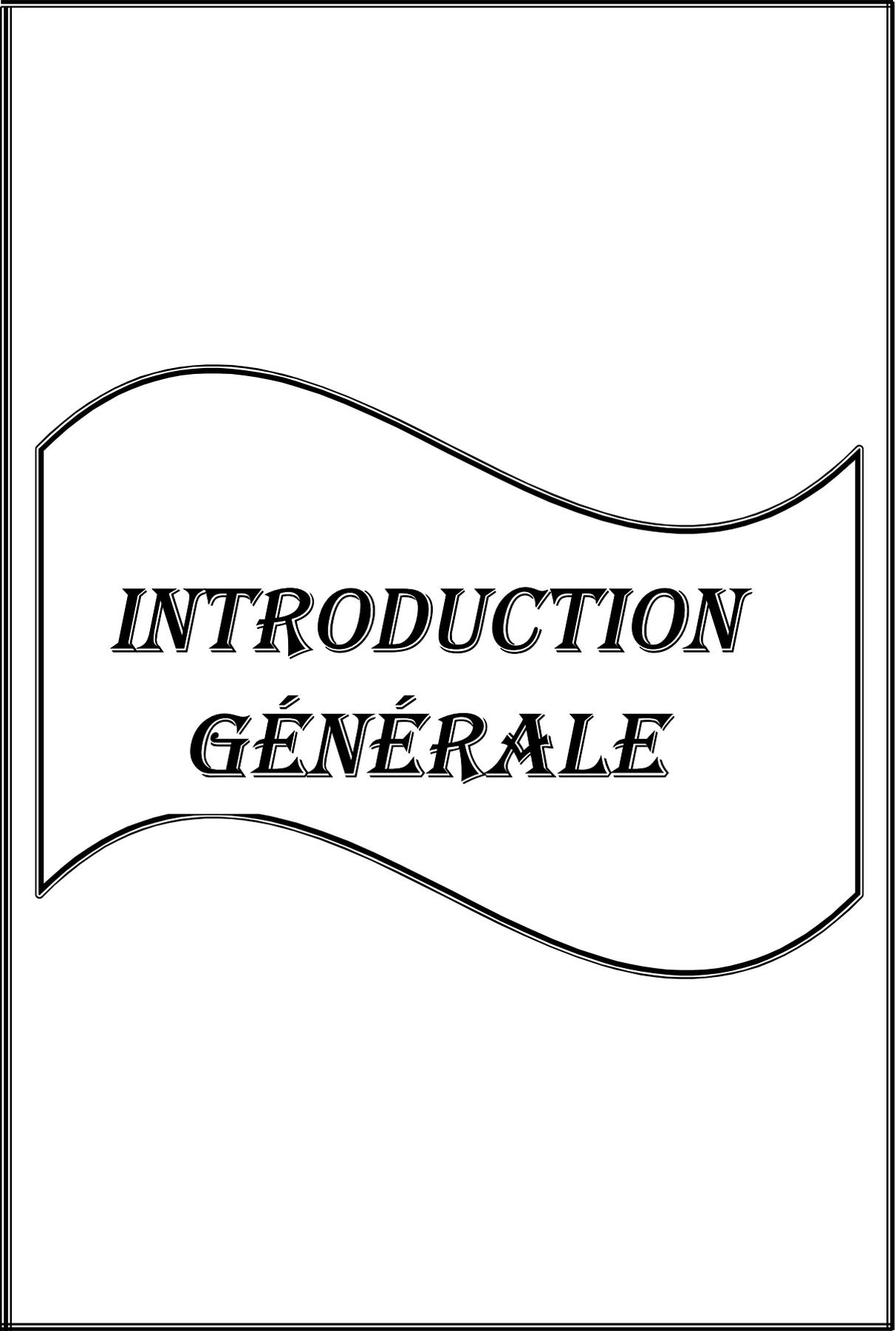
Introduction.....	17
II-1. Méthodes de traitement classique.....	17
II -1.1. La Transformée de Fourier (TF).....	17
II-1.2.Transformée de Fourier à court terme (T.F.C.T)	17
II-2.Théorie des Ondelettes.....	21
II-2.1 Transformée en Ondelette.....	21
II-2.2.Délimitation et Translation.....	23
II-2.3 Propriétés des ondelettes.....	24
II-2.4 La transformée en ondelette continue.....	25
II-2.5 La transformée en odelette discrète (DOT)	27
II-2.6 Analyse multirésolution.....	29
II-2.7 Reconstruction du signal (synthèse)	31
Conclusion	32

CHAPITRE III : APPLICATIONS AU DÉBRUITAGE DU SIGNAL DE PAROLE.

Introduction.....	3
3	
III-1 Première application : Signal de parole « Bonjour » bruité par un bruit blanc.....	3
4	
III-1.1.Définition de bruit blanc.....	3
4	
III-1.2 .Méthode de débruitage par la soustraction spectrale.....	3
5	
III-1.3.Organigramme de filtrage.....	3
5	
III-1.4.Application et résultat.....	3
6	
III-2 Deuxième application : Signal de parole « Bonjour » bruité par bruit de bande de fréquence étroite (signal sinusoïdal).....	39
39	
III-2.1.La bande fréquence de bruit périodique est inférieure à 20 KHz.....	3
9	
III-2.1.1. Débruitage de signal de parole bruité par la bande de fréquence inférieur à 20 KHz par l'intercorrélacion et la soustraction spectrale.....	39
39	
III-2.1.2.Organigramme de filtrage.....	4
1	
III-2.1.3. Application et résultat.....	4
2	
III-2.2. La bande de fréquence du bruit périodique (signal sinusoïdal) est supérieure à 20 KHz	45
III-2.2.1.Application et résultats.....	45
45	
III-3.Troisième application : Signal de parole « Bonjour » bruité par un bruit quelconque.....	48
III-3.1. Débruitage par transformée en ondelette.....	48
48	
III-3.2.Organigramme de filtrage par la T O.....	

8		4
	III-3.3. Les étapes du filtrage.....	4
9		5
	III-3.4 Détermination du seuil à utilisé.....	5
2		5
	III-3.5. Reconstruction du signal (synthèse).....	5
3		5
	III-3.6. Application du programme au signal de parole.....	5
5		5
	III-3.6.1. Explication des différentes étapes du traitement.....	5
5		
	III-3.6.2. Application et résultat	
6		5
	Conclusion générale.....	6
0		

Annexe
Bibliographie



INTRODUCTION
GÉNÉRALE

Introduction générale

Le traitement de signal est un domaine de l'électronique pouvant s'appliquer à n'importe quel phénomène physique à condition que ce dernier puisse être converti, au moyen de capteurs adéquats, en signal électrique.

Le signal de parole, objet de notre travail, est la représentation électrique, par l'intermédiaire d'un microphone, de mots, phrases ou textes prononcés par un individu.

Ce signal de parole est souvent altéré par des phénomènes perturbateurs, appelés bruit électrique, qui rendent l'information sonore dégradée voire incompréhensible.

Notre travail consiste à proposer des méthodes de débruitage du signal de parole acquis, et cela en fonction du type et de la nature du bruit intervenant dans ce signal. Ainsi, nous nous intéresserons aux cas d'un bruit blanc, d'un bruit périodique de fréquence variable, puis nous essaierons, par l'utilisation de la transformée en ondelette, de définir une méthode plus générale pouvant être appliquée à tout type de bruit.

Notre rapport est structuré de la façon suivante :

Dans le premier chapitre, nous essayons de donner quelques notions de traitement de la parole et de comprendre, au mieux, ce signal de parole notamment sa chaîne d'acquisition et ses caractéristiques électriques.

Dans le deuxième chapitre, nous donnons un aperçu sur les différentes techniques de traitement du signal, tout en mettant l'accent sur la transformée en ondelettes.

Le dernier chapitre, traite de l'application des différentes méthodes de débruitages en fonction de type de perturbation intervenant dans le signal acquis.

En fin, nous clôturerons notre travail par une conclusion, puis un annexe où sont éclairés certains points relatifs à notre travail.

A decorative border resembling a scroll, with a thick black line and rounded corners. The top-left and bottom-right corners feature a grey scroll-like shape.

CHAPITRE I :

GÉNÉRALITÉS

SUR

LE SIGNAL DE

PAROLE

Introduction :

La parole est le principal moyen de communication dans toute société humaine. Son apparition peut être considérée comme concomitante à l'apparition des outils, l'homme ayant alors besoin de raisonner et de communiquer pour les façonner. Son abstraction par rapport à un support physique en fait un moyen de communication très simple à utiliser. Nous allons présenter de manière générale, dans ce chapitre, certaines méthodes utilisées pour la modélisation de la parole, ainsi que les différentes taxonomies des sons observables en parole et les variations qui peuvent y être constatées. Nous allons cependant tout d'abord parler des notions qui se rattachent à l'étude des organes biologiques de production et de compréhension de la parole après avoir exposé les problèmes généraux qui se posent en traitement de la langue.

I.1. Description et caractéristique du système de production de la parole :**1-1.1.L'appareil phonatoire :**

L'appareil phonatoire nous permet de produire des sons très variés dans un espace fréquentiel et énergétique pourtant limité figure (I.1). L'appareil phonatoire humain a été la base de recherches visant à simuler mécaniquement ses capacités, recherches ayant permis, en retour, de mieux comprendre son fonctionnement.

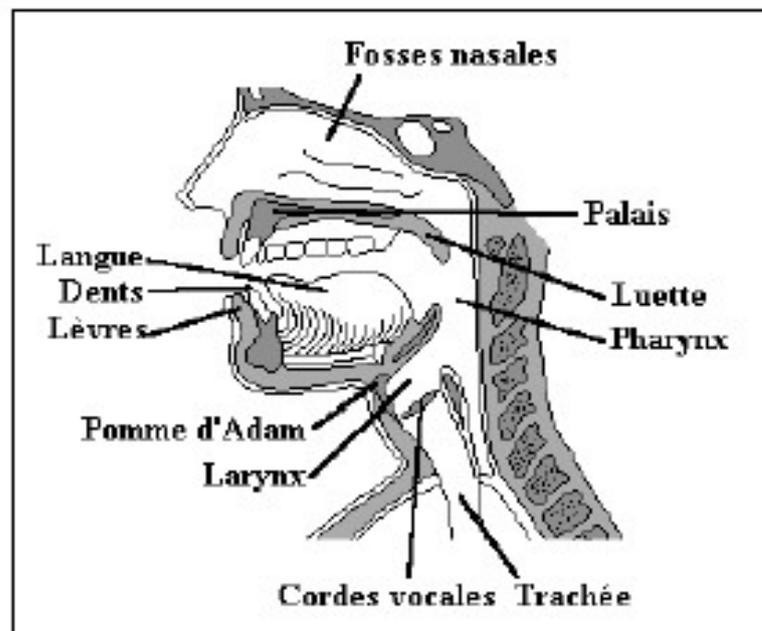


Figure I.1 : L'appareil phonatoire.

I.1.2. Phonation

La parole peut être décrite comme le résultat de l'action volontaire et coordonnée d'un certain nombre de muscles. Cette action se déroule sous le contrôle du système nerveux central qui reçoit en permanence des informations par rétroaction auditive et par les sensations kinesthésiques.

L'appareil respiratoire fournit l'énergie nécessaire à la production de sons, en poussant de l'air à travers la trachée-artère. Au sommet de celle-ci se trouve le larynx ou la pression de l'air est modulée avant d'être appliquée au conduit vocal. Le larynx est un ensemble de muscles et de cartilages mobiles qui entourent une cavité située à la partie supérieure de la trachée Figure (I.1).

Les cordes vocales sont en fait deux lèvres symétriques placées en travers du larynx. Ces lèvres peuvent fermer complètement le larynx et, en s'écartant progressivement, déterminer une ouverture triangulaire appelée glotte. L'air y passe librement pendant la respiration et la voix chuchotée, ainsi que pendant la phonation des sons non-voisés (ou sourds). Les sons voisés (ou sonores) résultent au contraire d'une vibration périodique des cordes vocales. Le larynx figure (I.2) est d'abord complètement fermé, ce qui accroît la pression en amont des cordes vocales, et les force à s'ouvrir, ce qui fait tomber la pression, et permet aux cordes vocales de se refermer; des impulsions périodiques de pression sont ainsi appliquées au conduit vocal, composé des cavités pharyngienne et buccale pour la plupart des sons. Lorsque la lèvre est en position basse, la cavité nasale vient s'y ajouter en dérivation. Notons pour terminer le rôle prépondérant de la langue dans le processus phonatoire.

Sa hauteur détermine la hauteur du pharynx : plus la langue est basse, plus le pharynx est court. Elle détermine aussi le lieu d'articulation, région de rétrécissement maximal du canal buccal, ainsi que l'aperture, écartement des organes au point d'articulation.

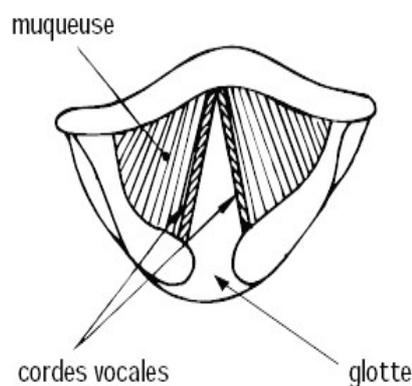


Figure I.2 : Section du larynx, vu de haut.

I-1.3. Taxonomie des sons :

La taxonomie des sons est définie de deux manières, grâce à la phonétique et à la phonologie. Alors que la phonétique peut être considérée comme véritablement descriptive, associant chaque son de la langue à un symbole et à une classe, la phonologie s'intéresse, elle, à la description des interdépendances entre sons et au codage effectif des mots du langage lors du processus d'oralisation. La phonologie essaie donc plus particulièrement d'expliquer les différences qui peuvent exister entre la transcription phonétique d'un mot du langage et la transcription phonétique exacte du mot qui est effectivement prononcé. Il existe plusieurs phonologies, essayant de décrire les phénomènes à partir de règles générales. Notre intérêt dans ce paragraphe ne sera pas de voir quelles peuvent être ces différences mais de donner une vision simplifiée de la classification des sons.

I-1.3.1. Phonétique :

Les sons produits par le système phonatoire humain peuvent être rattachés à différentes classes. Ces classes permettent de regrouper les sons selon leurs principales caractéristiques qui sont facilement identifiables. À l'intérieur de ces classes sont regroupés des sons dont les dissimilaires peuvent être faibles.

La subdivision des sons en éléments de granularités variables et la division de l'ensemble de ces sons, ou phonèmes, en classes distinctes, est à l'origine de la constitution d'alphabets phonétiques qui caractérisent des langues différentes, chaque communauté linguistique n'utilisant pas l'ensemble des capacités de son appareil phonatoire pour générer la parole support de la communication. Nous présenterons ainsi deux alphabets phonatoires qui présentent des différences bien que la majorité des sons soient communs aux deux.

I-1.3.2. Classes phonétique :

Les différents sons de la parole sont regroupés en classes phonétiques en fonction de leurs caractéristiques principales. Ces caractéristiques représentent des différences qui sont suffisamment importantes pour qu'il soit possible de classer les différents sons visibles sur un spectrogramme selon leur classe respective en très peu de temps et sans aucune écoute de la phrase correspondante.

Le travail des phonéticiens est à ce titre très intéressant et parfois fort impressionnant. Les différentes classes phonétiques existantes, dont nous donnons ci-après la liste, correspondent à des regroupements qui suivent, dans les grands principes, les catégories de l'alphabet. Il existe ici aussi une différence entre voyelles et consonnes par exemple. Mais

l'étude des sons de la parole a obligé à nuancer cette répartition et à créer d'autres classes subdivisant l'ensemble des consonnes.

Les différentes classes phonétiques présentes en français et en anglais sont :

- ◆ **Les voyelles** : cette classe correspond, à quelques nuances supplémentaires près, aux voyelles de l'écrit. Elles se caractérisent principalement par le voisement qui crée des formants. Ces formants, qui sont des zones fréquentielles de forte énergie, correspondent à une résonance dans le conduit vocal de la fréquence fondamentale produite par les cordes vocales. Ces formants peuvent s'élever jusqu'à des fréquences de 5 kHz mais ce sont principalement les formants en basses fréquences qui caractérisent les voyelles. Cette caractéristique permet d'ailleurs de distinguer grossièrement les voyelles en fonction de leur premier et deuxième formant.
- ◆ **Les occlusives** : les phonèmes de cette classe se caractérisent oralement par la fermeture du conduit vocal, fermeture précédant un brusque relâchement. Les occlusives sont donc constituées de deux parties successives : une première partie de silence, correspondant à l'occlusion effective, et une deuxième partie d'explosion, au moment du relâchement. Occlusives peuvent être voisées, à la manière des voyelles, ou sourdes, c'est à dire non voisées. Les occlusives voisées peuvent également être appelées occlusives sonores.
- ◆ **Les fricatives** : dans cette classe sont regroupés les sons produits 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 et peut être voisée ou sourde.
- ◆ **Les sonantes** : cette classe est en fait constituée, pour simplification, du regroupement des trois sous-classes que sont les semi-consonnes, les liquides et les nasales.
- ◆ **Les semi-consonnes (ou semi-voyelles ou glissantes)** : elles ont la structure acoustique des voyelles mais ne peuvent en jouer le rôle car elles ne sont que des transitions vers d'autres voyelles qui sont les véritables noyaux syllabiques. D'un point de vue syntaxique, une règle stricte de la langue française veut que deux voyelles ne puissent jamais se suivre. Cette règle est très largement respectée dans la

construction des mots mais présente, comme toute règle, quelques exceptions. La classe des semi-consonnes a été créée pour pallier ces exceptions de manière gracieuse. Les semi-consonnes sont évidemment sonores.

- ◆ **Les liquides** : Les liquides sont très similaires aux voyelles et aux semi-consonnes mais leur durée et leur énergie sont généralement plus faibles. Elles sont sonores.

- ◆ **Les nasales** : les phonèmes sont formés par passage de l'air dans le conduit vocal depuis les cordes vocales. Ce passage exclut normalement toute connexion du conduit normal, le conduit buccal, avec le conduit nasal. Ce dernier peut cependant être employé, dans un nombre limité de cas puisque sa physiologie ne permet pas de créer des sons autrement qu'en modifiant le volume de la caisse de résonance qu'il constitue par l'intermédiaire de la langue, faisant occlusion dans le conduit buccal. Les nasales sont donc produites de la même manière que les occlusives nasales mais l'air n'est pas, cette fois, comprimé dans le conduit vocal. Le vélum est en effet abaissé pour permettre à l'air d'être expiré. Les nasales sont voisées. Il est à noter que certaines voyelles possèdent également un caractère de nasalité.

I-1.3.3.L'alphabet phonétique international :

L'alphabet phonétique international (IPA) associe des symboles phonétiques aux sons, de façon à permettre l'écriture compacte et universelle des prononciations (voir tableau 1. pour le français).

symbole phonétique	exemple en langue française	classe	phonétique	
a	plat		voyelles	
ɑ	mât			
i	pile			
y	rue			
ɔ	bol			
o	pôt			
ə	le			
ɛ	lait			
e	blé			
ø	peu			
œ	heure			
u	roue		voyelles nasales	
ɑ̃	blanc			
ɔ̃	bon			
ɛ̃	lin			
œ̃	brun		semi-consonnes	
j	hier			
ʃ	huit			
w	oui		liquides	
l	lent			
R	rue		nasales	
m	masse			
n	nous			
ɲ	signal	sourdes	fricatives	
f	fer			
s	assis			
ʃ	chou			
v	verre			sonores
z	Asie			
ʒ	joue			
p	passe	sourdes	occlusives	
t	toux			
k	cou	sonores		
b	basse			
d	doux			
g	goût			

Table I : Alphabet Phonétique International (API). La liste des symboles est restreinte aux phonèmes du français.

I-2. Chaîne d'acquisition du signal de parole :

La parole apparaît physiquement comme une variation de la pression de l'air causée et émise par le système articuloire. La phonétique acoustique étudie ce signal en le transformant dans un premier temps en signal électrique grâce au transducteur approprié : le microphone.

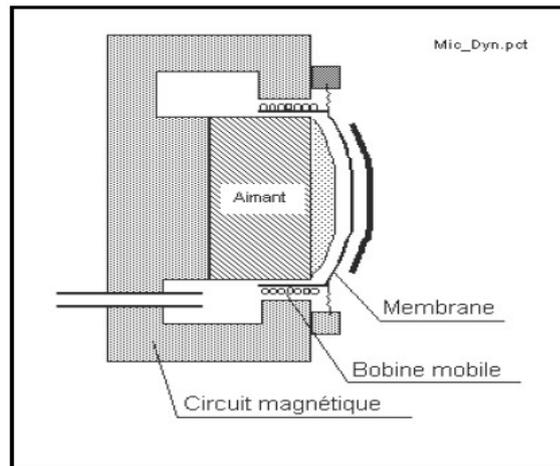


Figure I.4 : Microphone dynamique.

Une bobine mobile est solidaire de la membrane. Cette dernière, sous l'effet des variations de pression acoustique fait osciller la bobine dans un champ magnétique annulaire produit par un aimant permanent. La bobine coupe les lignes de force du champ magnétique. En raison de ces oscillations périodiques de la membrane, et donc de la bobine dans le champ, il y a induction d'un courant électrique dans la bobine mobile - courant qui peut être rendu utilisable par une amplification appropriée. De nos jours, le signal électrique résultant est le plus souvent numérisé. Il peut alors être soumis à un ensemble de traitements statistiques qui visent à en mettre en évidence les traits acoustiques : sa fréquence fondamentale, son énergie, et son spectre. Chaque trait acoustique est lui-même intimement lié à une grandeur perceptuelle : pitch et intensité. L'opération de numérisation, schématisée à la figure (II.5) requiert successivement : un filtrage de garde, un échantillonnage, et une quantification.

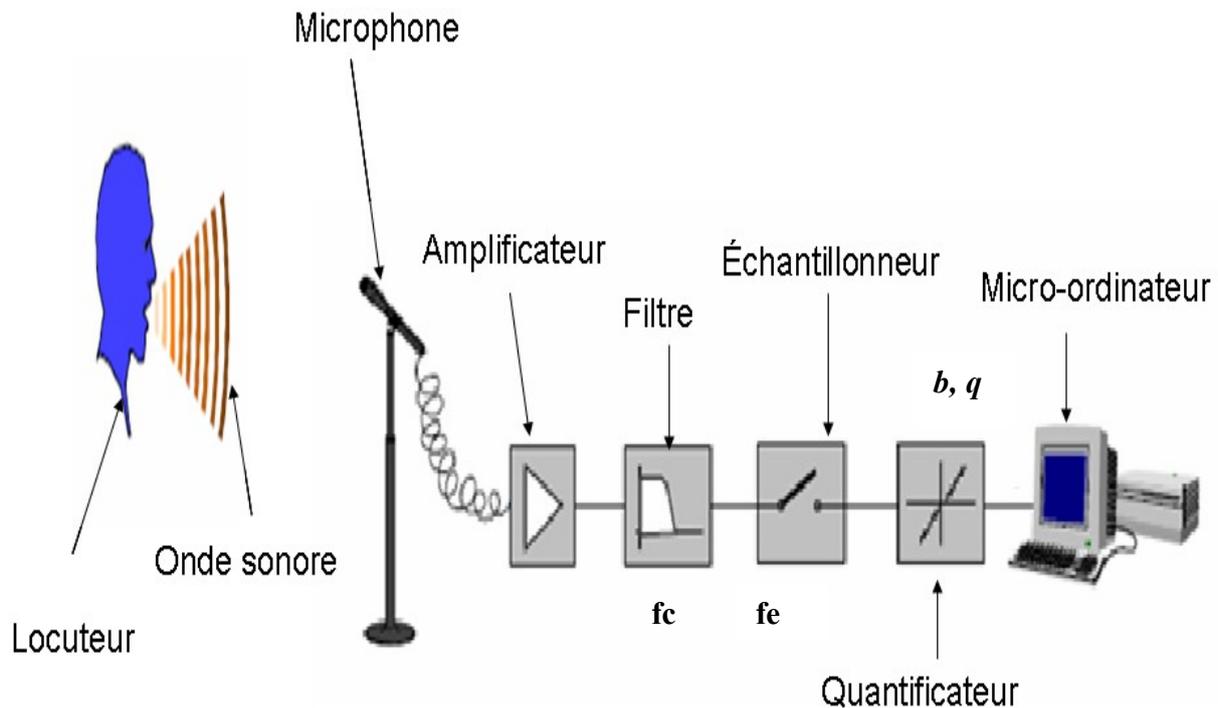


Figure I.5 : Chaîne d'acquisition du signal de parole.

L'échantillonnage transforme le signal à temps continu $x(t)$ en signal à temps discret $x(nT_e)$ défini aux instants d'échantillonnage, multiples entiers de la période d'échantillonnage T_e ; celle-ci est elle-même l'inverse de la fréquence d'échantillonnage f_e . Pour ce qui concerne le signal vocal, le choix de f_e résulte d'un compromis. Son spectre peut s'étendre jusque 12 kHz. Il faut donc en principe choisir une fréquence f_e égale à 24 kHz au moins pour satisfaire raisonnablement au théorème de Shannon⁴. Cependant, le coût d'un traitement numérique, filtrage, transmission, ou simplement enregistrement peut être réduit d'une façon notable si l'on accepte une limitation du spectre par un filtrage préalable. C'est le rôle du filtre de garde, dont la fréquence de coupure f_c est choisie en fonction de la fréquence d'échantillonnage retenue. Pour la téléphonie, on estime que le signal garde une qualité suffisante lorsque son spectre est limité à 3400 Hz et l'on choisit $f_e = 8000$ Hz. Pour les techniques d'analyse, de synthèse ou de reconnaissance de la parole, la fréquence peut varier de 6000 à 16000 Hz.

Par contre pour le signal audio (parole et musique), on exige une bonne représentation du signal jusque 20 kHz et l'on utilise des fréquences d'échantillonnage de 44.1 ou 48 kHz.

Parmi le continuum des valeurs possibles pour les échantillons $x(nT_e)$, la quantification ne retient qu'un nombre fini 2^b de valeurs (b étant le nombre de bits de la quantification), espacées du pas de quantification q . Le signal numérique résultant est noté $x(n)$. La quantification produit une erreur de quantification qui normalement se comporte comme un bruit blanc; le pas de quantification est donc imposé par le rapport signal à bruit à garantir.

Si le pas de quantification est constant, ce rapport est fonction de l'amplitude du signal; les signaux de faible amplitude sont dès lors mal représentés. Aussi adopte-t-on pour la transmission téléphonique une loi de quantification logarithmique et chaque échantillon est représenté sur 8 bits (256 valeurs). Par contre, la quantification du signal musical exige en principe une quantification linéaire sur 16 bits (65536 valeurs).

Une caractéristique essentielle qui résulte du mode de représentation est le débit binaire, exprimé en bits par seconde (b/s), nécessaire pour une transmission ou un enregistrement du signal vocal. La transmission téléphonique classique exige un débit de $8 \text{ kHz} \times 8 \text{ bits} = 64 \text{ kb/s}$; la transmission ou l'enregistrement d'un signal audio exige en principe un débit de l'ordre de $48 \text{ kHz} \times 16 \text{ bits} = 768 \text{ kb/s}$.

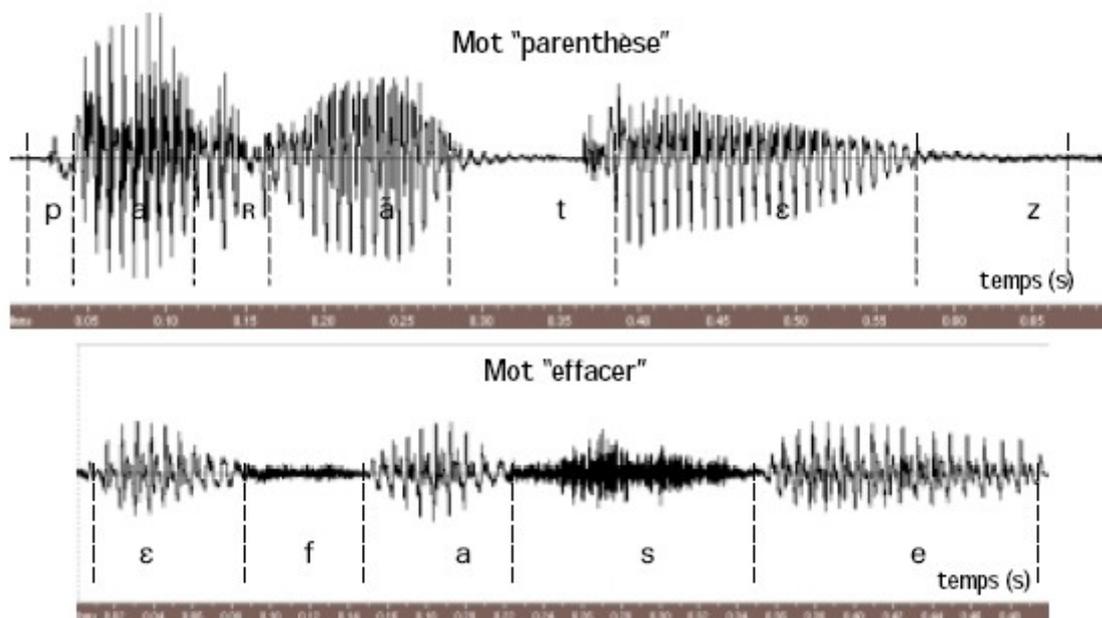


Figure I.6 : Audiogramme du signal de parole.

I-3 . Caractéristiques du signal de parole :

Nous allons citer quelques caractéristique de ce signal parole pseudo-stationnaire afin de faire ressortir les problèmes poses lors de son traitement, on trouve : la redondance, variabilité, coarticulation.

I-3.1. La redondance:

Le signal de parole est extrêmement redondant donc l'information émise est plus importante qu'il nécessaire. Cette redondance lui confère une robustesse a certaine type du bruit. De nombreuse recherche sont menées afin de rendre les systèmes de reconnaissance robuste aux bruits, mais le système humain est loin d'être atteint.

I-3.2. La coarticulation :

C'est le faite que la réalisation acoustique d'un phonème varie en fonction de ses contextes. En effet, pour passe d'une configuration du conduit vocal liée a son a une autre configuration, les articulateurs (langue, lèvres, voile de palais) se déplacent continûment et modifient les paramètres acoustiques.

I-3.3. La Continuité :

On considère généralement que le signal de parole peut être génère par un filtre linéaire de fonction de transfert $H(z)$ excite soit par un bruit blanc, soit par une suite d'impulsion périodique. En effet, si on analyse de la parole, on constate qu'il est la succession de segments du bruit et d'un signal pseudo-périodique.

I-3.4. La variabilité du signal parole :

Le signal du parole présente une grande variabilité qu'est due aux conditions de production de l'unité phonétique.

I-3.4.1. La variabilité intra-locuteur :

Un même locuteur ne peut produire deux fois le même signal acoustique pour une même phrase. Cette variabilité s'explique pour les variations de l'état émotif du locuteur, son état physiologique. Ce rythme de locution est d'ailleurs difficile à maîtriser très précisément.

I-3.4.2. La variabilité inter-locuteur :

Elle est essentiellement liée aux différences physiologiques de l'appareil phonatoire aux sexes, à l'âge. Ces différences se manifestent par une variation de la fréquence fondamentale et des formants. Des études faites par des chercheurs ont montrées que la fréquence de fondamentale est en moyenne de (100 à 150) Hz pour un homme, et (200 à 350) Hz pour une femme, (200 à 600) Hz pour les enfants.

La parole est signal, continu, d'énergie finie et non stationnaire et audible. Sa structure est complexe et variable dans le temps :

- Parfois périodique (pseudo-périodique) pour les sons voisés.
- Parfois aléatoire pour les sons non voisés.

I-4. Méthodes d'analyse de la parole :

L'analyse de la parole est une étape indispensable à toute application de synthèse, de codage, ou de reconnaissance. Elle repose en général sur un modèle. Celui-ci possède un ensemble de paramètres numériques, dont les plages de variation définissent l'ensemble des signaux couverts par le modèle. Pour un signal et un modèle donné, l'analyse consiste en l'estimation des paramètres du modèle dans le but de lui faire correspondre le signal analysé.

I-4.1. L'analyse Modèle Autorégressif :

Le mécanisme de production est modélisé simplement par un système de transmittance $G/V(z)$ et d'excitation $e(t)$. G correspond au gain du système. Les sons voisés sont caractérisés par une excitation périodique (train d'impulsion). Dans le cas des sons non voisés, l'excitation du système est composée d'un bruit blanc.

La transformé du signal prend la forme suivante :

$$S(z) = \frac{G \cdot E(z)}{V(z)} \quad (\text{I.1})$$

Où $S(z)$, $E(z)$ et $V(z)$ sont respectivement les transformés en z de $s(t)$, $e(t)$ et $v(t)$. Le signal $s(t)$ est produit par un signal excitateur $e(t)$ (source glottique) traversant un système linéaire de réponse impulsionnelle $v(t)$ (conduit vocal)

L'expression (I.1) peut être exprimée dans le domaine temporel par :

$$s(n) = e(n) + \sum_{i=1}^p a(i) \times s(n-1) \quad (\text{I.2})$$

Cette expression prédit que chaque échantillon peut être estimé à partir des p échantillons précédents. Ceci représente le modèle autorégressif d'ordre p relatif à la définition du signal autorégressif. On lui donne souvent le nom " tout pole" puisque toutes les racines de la fonction de transfert sont des pôles. Les coefficients $a(i)$ sont appelés les coefficients de prédiction.

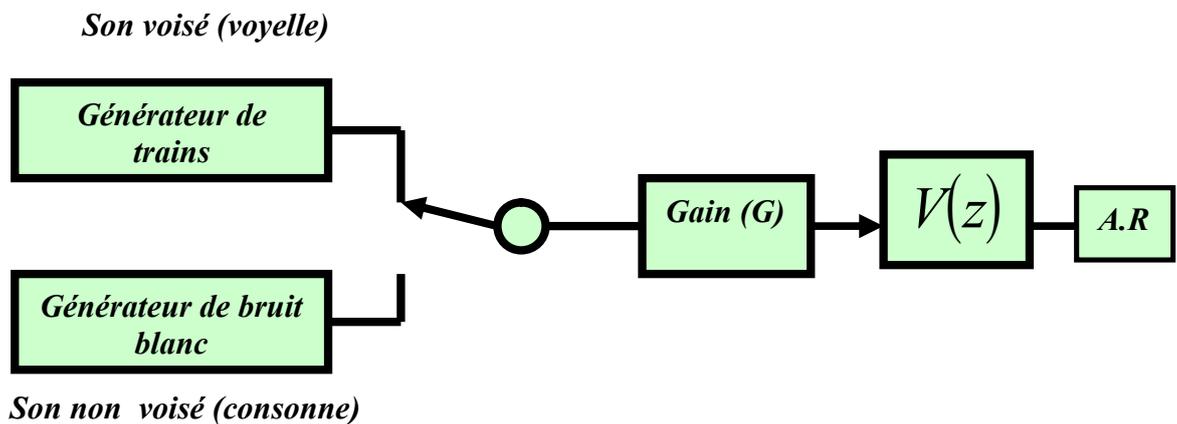


Figure I.7 : Modélisation de la parole par Autorégressif.

I-4.2. L'analyse par prédiction linéaire (Linear Predictive Coding LPC) :

Le signal vocal peut être considéré comme étant un signal issu d'un modèle autorégressif et s'exprimer dans le domaine temporel par l'équation (I.3). A partir de cette équation, on va calculer les coefficients de prédiction $a(i)$ du modèle A.R. $e(n)$ est l'excitation; $a(i)$ les coefficients de prédiction du modèle A. R.

$$s(n) = \sum_{i=1}^p a(i) \times s(n - i) + e(n) \tag{I.3}$$

Ainsi. Si on dispose de $e(n)$ et des $a(i)$ on peut prédire les échantillons suivants à partir de conditions initiales données. Or l'information de la source $e(n)$ est quasiment inaccessible et l'approximation reste la seule alternative.

L'équation (I.3) peut être remplacée par :

$$\tilde{s}(n) = \sum_{i=1}^p a(i) \times s(n - i) \tag{I.4}$$

Par suite, l'erreur de prédiction peut s'exprimer par:

$$e(n) = s(n) - \tilde{s}(n) = s(n) - \sum_{i=1}^p a(i) \times s(n-i) \quad (\text{I.5})$$

I-4.3. L'analyse par évaluation des Coefficients Cepstraux :

I-4.3.1. Le Cepstre : (cepstre = (spec)⁻¹tre):

Le défaut majeur de la F.F.T pour le calcul du spectre résidu dans l'intermodulation source/conduit qui rend difficile l'extraction des paramètres du signal. Le cepstre est une méthode qui vise à séparer leur contribution respectivement par dé convolution.

Le signal $s(t)$ est considéré comme une convolution du signal glottique $g(t)$ et de la réponse impulsionnelle $b(t)$ du conduit vocal.

$$s(t) = g(t) * b(t) \quad (\text{I.6})$$

$$\text{En passe aux transformée de Fourier : } S(f) = G(f)B(f) \quad (\text{I.7})$$

En prenant le logarithme du module de chaque membre de la relation précédente, nous aurons :

$$\text{Log} |S(f)| = \text{Log} |G(f)| + \text{Log} |B(f)| \quad (\text{I.8})$$

En prenant la transformée de Fourier inverse (TF^{-1}) ce qui nous permet de revenir dans le domaine temporel :

$$TF^{-1} [\text{Log} |S(f)|] = TF^{-1} [\text{Log} |G(f)|] + TF^{-1} [\text{Log} |B(f)|] \quad (\text{I.9})$$

Le terme $TF^{-1} [\text{Log} |S(f)|]$ est désigné sous le nom de cepstre, sa variable « quefrencence » à la dimension d'un temps.

I-4.3.2. L'analyse MFCC (Mel Frequency Coefficient cepstral) :

L'analyse MFCC consiste en l'évaluation de Coefficients « Cepstraux » à partir d'une répartition Fréquentielle selon l'échelle des Mels.

Reconnaissance de forme :

$$M = \frac{1000}{\log(2)} \log \left(1 + \frac{F}{1000} \right) \quad (\text{I.10})$$

Avec M en Mel et F en Hz

Mais il faut noter, dans l'analyse *M.F.C.C* décrite ci-dessous, que les coefficients Cepstraux obtenus ne correspondent pas exactement à la définition du Cepstre défini précédemment

Cette technique est composée dans un premier temps d'une analyse spectrale ou d'une analyse LPC.

L'étendue dynamique du spectre de puissance ainsi obtenu permet sa compression logarithmique afin de s'accorder avec la perception d'intensité de l'oreille humaine.

Pour finir, une transformée discrète en cosinus (DCT) est appliquée afin d'obtenir les N_c coefficients Cepstraux.

$$C(k) = \sum f(i) \cos\left(\frac{2\pi \cdot i \cdot k}{N} + 0.5\right) \quad (\text{I.11})$$

Avec $k \in [0, N_c]$ et $f(i)$ la i -ième des N_f sorties log du banc de filtres.

Ces derniers, ajoutés à des coefficients représentant l'information énergétique et de dérivées première et seconde, forment alors un vecteur acoustique.

Les avantages de cette méthode sont les suivants :

Le nombre de données par vecteur est réduit. En pratique, pour 24 filtres ($N_f=24$), il a été montré que 12 coefficients Cepstraux ($N_c = 12$) suffisent pour représenter l'information, puisque l'enveloppe de la D.S.P varie lentement.

Conclusion :

L'amélioration de la qualité des signaux de parole dégradés par la présence d'un bruit ambiant est un domaine de recherche qui a été étudié pendant plusieurs années. Pour pouvoir le maximum d'information a priori sur le signal, on aura besoin de procéder à une amélioration de la qualité qui passe essentiellement à la suppression le phénomène perturber. Dans ce travail, nous décrivons la mise en œuvre des méthodes de débruitage du signal de parole.

A decorative scroll frame with a black border and rounded corners. The top and bottom edges are slightly curved, and the left and right edges have small circular accents at the top and bottom respectively, resembling the ends of a scroll.

CHAPITRE II

LA TRANSFORMÉE EN ONDELETTE

Introduction:

Ce chapitre est consacré essentiellement aux ondelettes, l'objectif étant d'arriver à exposer quelques éléments de leur théorie, permettant ainsi de mieux comprendre leurs utilisations dans le traitement du signal en général et dans le débruitage du signal de parole en particulier.

II -1. Méthodes de traitement classique :

Extraire l'information désirée à partir d'un signal donné nécessite l'application à ce signal un certain nombre d'opération ayant chacune un rôle particulier. L'opérateur principal utilisé est la transformée de Fourier. Cependant cet opérateur reste inefficace dans certaines applications. La Transformée en Ondelette peut solutionner ses inconvénients.

II-1.1. La Transformée de Fourier (TF) :

❖ Définition et limites :

La Transformée de Fourier est un outil mathématique qui permet de passer de la représentation temporelle à la représentation fréquentielle d'un signal, son expression est la suivante :

$$s(t) \longrightarrow S(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{-2j\nu\pi t} dt$$

$s(\nu)$ Peut s'écrire :

$$S(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cos(2\pi\nu t) dt + j \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \sin(2\pi\nu t) dt \quad \text{(II.1)}$$

$$S(\nu) = A(\nu) + jB(\nu) \text{ Tel que } A(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cos(2\pi\nu t) dt \text{ et } B(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \sin(2\pi\nu t) dt$$

$$S(\nu) = |S(\nu)| e^{-j\varphi} \text{ Avec } |S(\nu)| = [A(\nu) + B(\nu)]^{1/2} : \text{ spectre d'amplitude de } S(t).$$

$$\varphi = \text{arctg } B(\nu)/A(\nu) : \text{ Spectre de phase de } S(t).$$

Malgré son immense intérêt, cette technique à plusieurs limites en particulier son manque évident de localisation temporelle. En effet, l'analyse de Fourier de connaître les différentes fréquences contenues dans un signal, c'est-à-dire son spectre de fréquence, mais ne permet pas de savoir à quel instant ces fréquences ont été émises. Cette analyse donne une

information globale et non locale, car les fonctions d'analyse utilisées sont des sinusoïdes qui oscillent indéfiniment sans s'amortir.

Cette perte de localité n'est pas un inconvénient pour analyser des signaux dont la structure n'évolue pas ou peu (statiquement stationnaires), mais devient un problème pour l'étude des signaux non stationnaires, car l'information qui est véhiculée dans l'évolution temporelle du signal est perdue lors du passage à la représentation fréquentielle.

❖ *Exemple :*

Si on prend l'exemple de la figure (II.2), on remarque que lors du passage de la représentation temporelle figure (II.2.A) à la représentation fréquentielle l'information liée au temps est perdue. En effet, dans la représentation fréquentielle figure (II.1.B), il est impossible de savoir à quel instant le pic a eu lieu

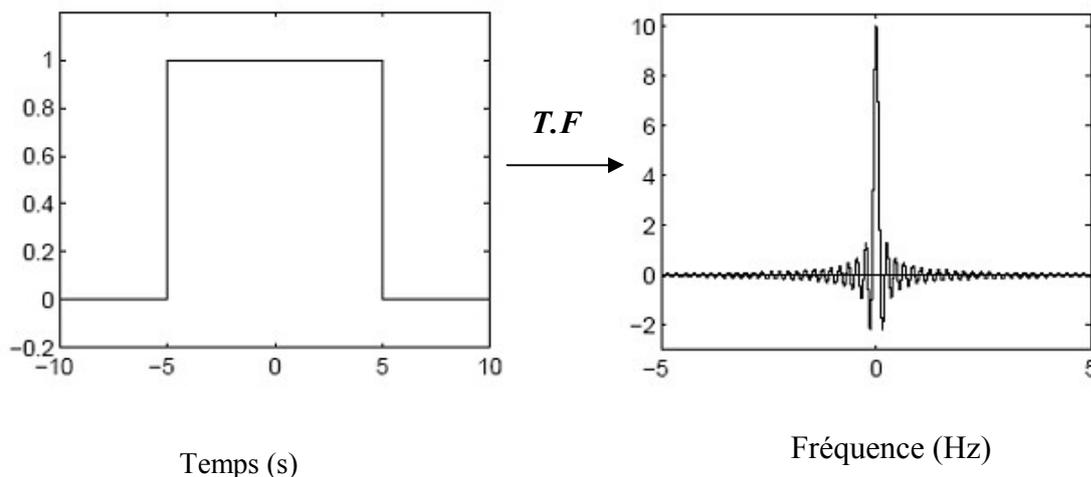


Figure II.2 : Exemple de la Transformée de Fourier.

L'analyse de Fourier ne permet pas l'étude des signaux dont la fréquence varie dans le temps. De tels signaux nécessitent la mise en place d'une analyse temps-fréquence qui permettra une localisation des périodicités dans le temps et indiquera donc si la période varie d'une façon continue, si elle disparaît par la suite, etc...

Pour les signaux non stationnaires, la première idée des traiteurs des signaux a consisté en l'introduction de la notion de stationnarité locale, qui revient à découper le signal à traiter en

segments tel que ce signal est considéré comme stationnaire à l'intérieur de chaque segment, et à appliquer la $T.F$ à chaque segment. Cette représentation est appelée Transformée de Fourier à Court Terme ($T.F.C.T$).

II-1.2. Transformée de Fourier à Court Terme ($T.F.C.T$) :

Pour pallier aux limites de la $T.F$, GABOR dans les années 1940 définit la première forme de la représentation temps-fréquence ($T.F.C.T$). La technique consiste à découper le signal en tranches successives de telle sorte que le signal puisse, dans la durée de chaque tranche, être considéré comme stationnaire. Chaque tranche de durée T est obtenue en multipliant le signal par une fenêtre temporelle de largeur finie, elle est considérée comme stationnaire. On peut alors appliquer la $T.F$, non pas au signal global, mais à chacune des tranches du signal.

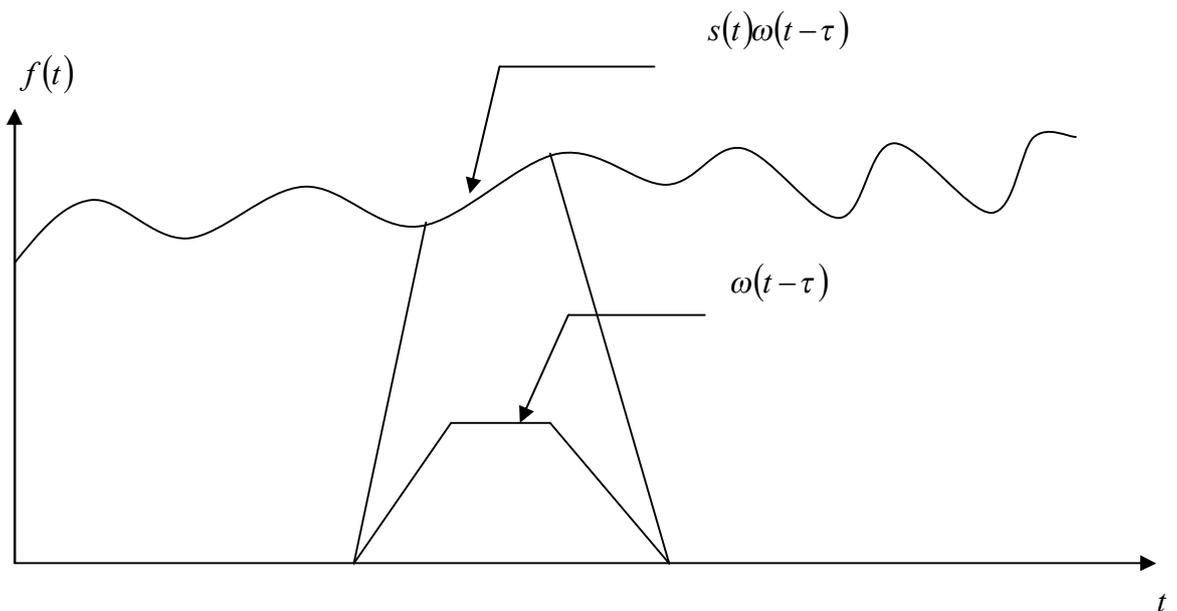


Figure II.3 : Influence de la fenêtre GABOR

$$s(t) \xrightarrow{\text{TFCT}} S(t, \nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} \omega(t - \tau) s(\tau) e^{-2j\pi\nu\tau} d\tau. \quad (\text{II.2})$$

$S(t)$: Signal à traiter.

τ : Translation de la fenêtre.

$\omega(t - \tau)$: La fonction introduisant la notion de fenêtre de **GABOR**.

Malheureusement cette représentation (**T.F.C.T**) présente les inconvénients suivants :

- ◆ La longueur de la plage étant fixée, il n'est pas possible d'analyser simultanément des phénomènes dont les échelles de temps sont différentes.
- ◆ La précision de l'analyse impose un compromis insurmontable entre la résolution temporelle et la résolution fréquentielle.
- ◆ La détermination de l'intervalle temporel dans lequel on peut considérer le signal comme stationnaire, est un inconvénient pratique.

Pour remédier Aux limites de la **T.F.C.T**, **MORLET** a choisi une autre méthode. Au lieu garder fixe la taille de la fenêtre et de varier le nombre d'oscillations à l'intérieur de cette fenêtre, il a fait l'inverse : Il gardé constant le nombre d'oscillations, et fait varier la taille de la fenêtre, l'étirant ou la comprimant comme un accordéon. Donc, **MORLET** pouvait alors localiser les hautes fréquences avec des fenêtres plus larges.

Les signaux intéressants présentent, en général, de nombreuses caractéristiques non stationnaires qui constituent une part importante de l'information contenue dans la série : Tendances, ruptures, début et fin d'événement, phénomènes transitoires.

La Transformée en Ondelettes permet d'analyser efficacement les signaux ou se combinent des phénomènes d'échelles très différentes, ou son principe de décrire en fournissant des informations sur la régularité locale, l'évolution temporelle d'un signal à différentes échelles de temps. L'utilisation de la notion d'échelle au lieu de fréquence dans une transformation linéaire permet de contourner la limite de résolution due à l'incertitude temps-fréquence.

En effet, si un phénomène a une bande passante importante, alors il sera observé à plusieurs échelles d'analyse. Donc à la fois finement en temps et finement en fréquence.

Ainsi la méthode temps échelle -représente le signal comme une somme de fonctions déduites par contraction temporelle d'une fonction prototype.

II-2. Théorie des Ondelettes :**Introduction :**

L'analyse par ondelettes a été introduite au début des années 1980, dans un contexte d'analyse. Un prototype d'analyse par ondelette avait été proposé au milieu des années 1940 par le physicien D Gabor (qui reçut par la suite le prix NOBEL pour ses travaux sur l'holographie). Gabor suggérait de rendre locale l'analyse de Fourier, en s'aidant de fenêtre.

II-2.1. Transformée en Ondelette :

La transformée en ondelette est un opérateur dans lequel on remplace la sinusoïde de la Transformée de Fourier par une famille de translations et dilatations d'une même fonction dite ondelette.

L'analyse d'un signal par l'ondelette est réalisée par une fonction analysante spécifique Ψ appelée ondelette mère. Le nom d'ondelette vient du fait que c'est une fonction oscillante (comme une onde). Cette dernière est positionnée dans le domaine temporel afin de sélectionner la partie du signal à traiter. Elle peut être contractée ou dilatée afin de se concentrer sur une gamme de fréquence et pour couvrir tous les domaines de définition du signal à traiter.

La famille d'ondelette : $\Psi_{a,b}(t)$ avec $a > 0$ et $b \in \mathbb{R}$

$$\text{S'écrit : } \Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (\text{II.3})$$

Où « a » traduit changement d'échelle et « b » la translation dans le temps

La fonction à deux variables :

$$S(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cdot \Psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (\text{II.4})$$

Est une représentation temps - échelle appelée « transformation en ondelettes ».

Où : Ψ^* représente le complexe conjugué de Ψ .

Le nombre d'oscillation des fonctions analysantes de la **T.F.F.G** augmente avec la fréquence tandis que celles de la transformation en ondelettes ont le même nombre d'oscillations : elles s'étirent ou se contractent.

Si l'on considère $\Psi_{a,b}$ comme un banc de filtres, la résolution en temps augmente avec la fréquence centrale des filtres. Et Δf n'est plus constant mais proportionnel à la fréquence centrale : $\Delta f / f = c$ le banc de filtres est composé par un ensemble de filtres passe bande relative constante. Une autre façon de voir est de dire qu'au lieu que les filtres soient régulièrement espacés dans l'échelle linéaire (comme dans **TFFG**), les filtres sont régulièrement répartis dans l'échelle logarithmique.

Une fonction Ψ est dite ondelette analysante si elle les conditions suivantes :

- **Continu** : absolument intégrable et de carré intégrable (énergie finie)

$$\int_{-\infty}^{+\infty} [\Psi(t)]^2 dt < \infty \tag{II.5}$$

- **Analytique** : sa transformée de Fourier ne doit être nul pour : $f < 0$

- **Admissible** : $\Psi(0) = 0$ Ou $\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = 0$ (II.6)

Les fonctions $\Psi_{(a,b)}$ forment une famille d'ondelettes de même énergie. L'ensemble de fonction $S_{a,b}$ constitue dl décomposition du signal $S(t)$ suivant la famille d'ondelettes

$\Psi_{(a,b)}$. Pour chaque couple (a,b) , $|S_{a,b}|^2$ est proportionnel à l'énergie du signal $S(t)$ contenu dans la bande de fréquence liée à Ψ et bau couple (a,b) . en un certain sens $S_{a,b}$ mesure les fluctuations du signal $S(t)$, autour du point b à l'échelle fournie par $a > 0$.

Si $\Psi_{(a,b)}$ satisfait la condition d'admissibilité, alors le signal peut être restitué par une formule de reconstruction :

$$S(t) = \frac{1}{K} \int S(a,b) \cdot \Psi_{a,b}(t) \frac{da db}{a^2} \text{ Où } K = \int \frac{|\hat{\Psi}(t)|}{|f|} df . \tag{II.7}$$

II-2.2. D elitation et Translation d'ondelette :

II-2.2.1. La dilatation :

Plus 'a' est grand, plus ondelette est dilatée, par conséquent la valeur de 'a' est inversement proportionnelle   la fr equance figure (I.4).

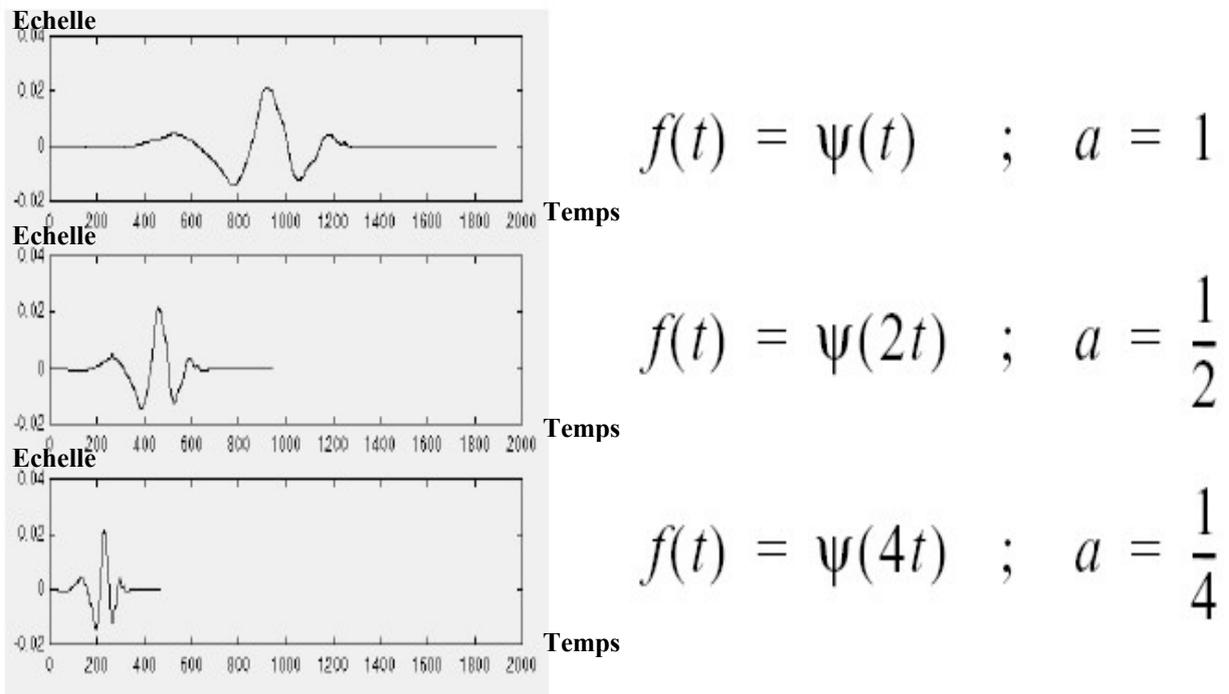


Figure II.4 : La dilatation.

II-2.2.2. La translation :

La translation est la possibilité de retarder ou d'avancer le départ d'une ondelette

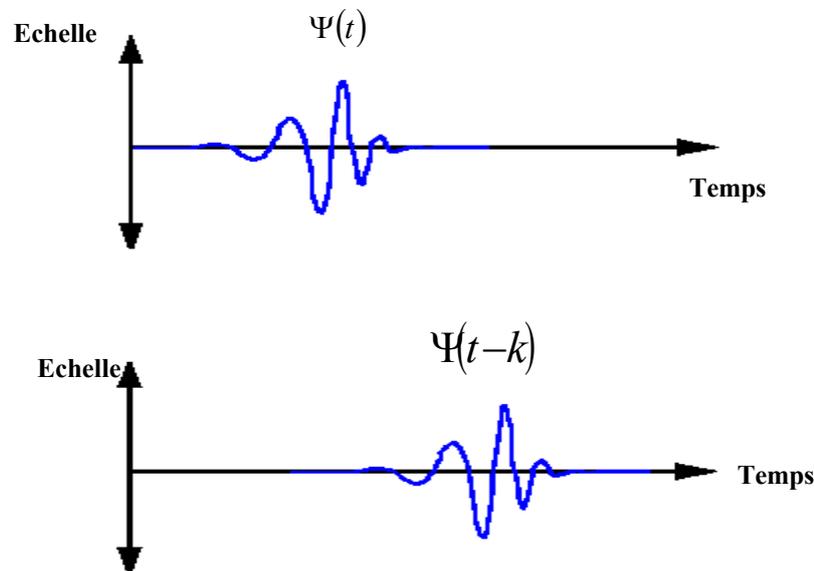


Figure II .5 : La translation

II-2.3. Propriétés des ondelettes :**II-2.3.1. Régularité :**

Une ondelette est dite régulière d'ordre 'n' si elle est 'n' fois continûment dérivable. Cela veut dire qu'elle appartient à la classe 'c'. Plus une ondelette est régulière, plus son spectre décroît rapidement à l'infini. Si on prend le cas d'une ondelette peu régulière, la décroissance spectrale sera lente par conséquent, introduit des fréquences élevées signal temporel ce qui est cohérent avec certaine irrégularité. La régularité d'une ondelette dépend du nombre de ses moments nuls.

II-2.3.2. Compacité :

La compacité de fonction d'échelle augmente la régularité de l'ondelette résultante. Mais ces convolutions ont effet d'accroître linéairement la taille du support d'ondelette. Les ondelettes de Daubechies, par exemple sont orthogonales et à support compact. Elles ont été créées en garantissant une certaine régularité par l'annulation d'un nombre fixe "p" de ses moments. Donc, on ne peut pas avoir d'ondelettes qui soient compactes et à support compact. Il y a par conséquent un compromis entre les propriétés de régularité et de

décroissance à l'infini. Par ailleurs, la propriété de support compact permet de garantir une grande précision dans le calcul effectif des coefficients, car elle évite le problème de troncature dans le cas de support à durée infinie sur un support compact suffisamment étroit pour être considéré bien localisé dans le temps.

II-2.3.3. Localisation :

La qualité de localisation en temps et en fréquence peut se mesurer par la borne d'incertitude de principe Heisenberg, qui assume une meilleure localisation. Lorsque cette incertitude est atteinte, une mauvaise localisation induit un étalement de l'énergie au signal autour d'un instant moyen et d'une fréquence moyenne pour une échelle donnée.

II-2.3.4. Orthogonalité :

L'orthogonalité permet de minimiser la redondance, autorisant un codage efficace grâce aux nombres de coefficients. L'orthogonalité simplifie la reconstruction qui reste néanmoins possible même lorsque cette propriété est vérifiée. La redondance (non-orthogonale) n'empêche pas de reconstruction, mais la rend plus compliquée, elle donne cependant plus de robustesse dans les calculs et une meilleure précision de reconstruction. Selon le choix continu ou discret des translations et dilatation, on parlera d'une transformée en ondelette continue ou discrète.

II-2.4. La transformée en ondelette continue :

La transformée en ondelette continue décompose un signal selon un ensemble d'ondelette de référence par des opérations dilation et de translation. L'utilisateur peut choisir ses jeux de dilation et de décalage de façon libre. La transformée en ondelette d'un signal quelconque $s(t)$. Consiste en une projection de ce dernier sur la famille d'ondelettes choisies, on peut alors représenter ce signal par une fonction $S(a,b)$ qui associe aux paramètres a et b la valeur du coefficient $CWT(s)(a,b)$:

$$S(a,b) = CWT(s)(a,b) = \langle \Psi_{a,b}, S \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi \left[\frac{t-b}{a} \right] S(t) dt \quad (\text{II.8})$$

II-2.4.1. Méthode générale du calcul d'un coefficient d'ondelette :

Soit le signal $s(t)$ à analyser :

- On prend une ondelette analysante.

- On centre l'ondelette sur une valeur « b » de temps et on multiplie le signal $s(t)$ par l'ondelette $\Psi(t)$.
- On calcule l'aire du signal produit $p(t)$. L'aire est comptée positivement pour les parties de la courbe situées au-dessus de l'axe des abscisses, et négativement dans le cas inverse.

Cette aire est égale aux coefficients d'ondelette $CWT(s)(a,b)$ correspondant à chaque valeur de la fréquence « $1/a$ » et de temps « b ». Les coefficients d'ondelette $CWT(s)(a,b)$ d'un signal $s(t)$ dépendent de la forme de celui-ci au voisinage du temps b . En effet, l'intégrale $s(a,b)$ mesure la somme d'aires décrites par la courbe du produit $s(t) \cdot \Psi(t)$. Si le fragment considéré du signal $s(t)$ est très régulier, c'est-à-dire pratiquement constant (égal à λ) sur un intervalle centré en « b », alors le produit $s(t) \cdot \Psi_{a,b}(t)$ est tel que sa moyenne est nulle. Si au contraire le fragment de signal $s(t)$ autour du point « b » est irrégulier, l'aire du produit est généralement beaucoup plus grande. La transformée en ondelette continue permet de calculer les coefficients qui représentent la corrélation entre une ondelette et une partie du signal à analyser. Le décalage et la translation de cette ondelette permettent d'obtenir une bonne corrélation.

II-2.4.2. Exemple :

Les parties du signal qui sont les plus proches de la forme de l'ondelette donnent des coefficients importants (c et d), car le produit de l'ondelette avec le signal est positif. Les parties de la courbe qui changent lentement donnent de petits coefficients (e et f), car les valeurs négatives compensent pratiquement les valeurs positives.

Les ondelettes vont permettre de décomposer un signal en versions décalées et translatées de l'ondelette mère. L'ondelette est constituée d'un mélange de fréquences qu'indique sa propre transformée de Fourier et les coefficients d'ondelettes se réfèrent à ce mélange.

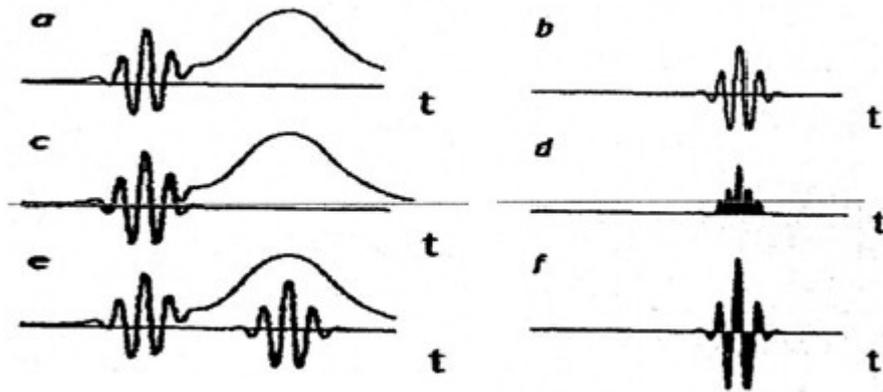


Figure II.6 : Présentation de la transformée en ondelette.

Plus la gamme de fréquence d'une ondelette est étroite, plus l'ondelette est sélectivité en fréquence permettant un découpage, de donner une image approximative du signal alors que les ondelettes étroites permettent de mettre en évidence les détails.

Une transformée en ondelette continue peut donner un aperçu du signal tout instant aux échelles correspondant aux ondelettes les plus allongées.

II-2.5. La transformée en ondelette discrète (T.O.D) :

Le principe de base de la T.O.D est de séparer le signal en deux composantes, l'une représente l'allure générale du signal, l'autre ses détails. L'allure générale d'une fonction est représentée par ses basses fréquences et les détails par ses hautes fréquences.

Nous obtenons ainsi une transformée en ondelette discrète, en faisant varier les paramètres de dilatation et de translation dans une grille discrète, de tel sorte qu'ils puissent transmettre toutes les informations contenues dans le signal. A cet effet, il faut remplacer les familles redondantes des fonctions de base $\Psi_{a,b}$ par une famille dénombrable.

Ces paramètres sont donnés par les expressions suivantes :

$$a_j = a_0^j \quad (\text{II.9})$$

$$b_k = kb_0 a_0^j \quad (\text{II.10})$$

Avec $(j, k) \in Z^2$

Si : $a > 1$: Pas de dilatation,

$b \neq 0$: Pas de translation

Ainsi la famille d'ondelette discrète est définie par :

$$\Psi_{j,k}(t) = a_0^{-\frac{j}{2}} \Psi(a_0^{-j}t - kb_0) \quad (\text{II.11})$$

La transformée en ondelette associé au signal $s(t)$ a une séquence indexée donnée par :

$$c_{j,k} = \langle \Psi_{j,k}, f \rangle a_0^{-\frac{j}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(a_0^{-j}t - kb_0) dsdt \quad (\text{II.12})$$

Meyer a choisit les paramètres $a_0 = 2$ et $b_0 = 1$ pour obtenir une réduction minimale de redondance de la représentation en transformée en ondelette. La nouvelle expression des ondelettes est :

$$\Psi_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \Psi(2^{-j}t - k) \quad (\text{II.13})$$

La reconstruction, exacte du signal échantillonné se fait à partir de :

$$f(n) = \sum_{j \in Z} \sum_{k \in Z} c_{j,k} \Psi_{j,k}(n) \quad (\text{II.14})$$

$$\text{Avec : } c_{j,k} = \langle f, \Psi_{j,k} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi_{j,k}(t) f(t) dt \quad (\text{II.15})$$

II-2.6. Analyse multirésolution :

Une paire de filtres complémentaire, l'un passe-bas et l'autre passe-haut, permet de transformer un signal de longueur N en deux signaux de longueur $N/2$: l'un représente la tendance du signal, appelé approximation, l'autre, ses détails. Pour séparer les deux signaux, nous avons donc besoin d'une paire de filtres : un filtre passe-bas pour obtenir l'allure générale (appelée approximation), et un filtre passe-haut pour estimer ses détails, c'est-à-dire les éléments qui varient rapidement. Pour ne pas perdre l'information, ces deux filtres doivent bien sur être complémentaires : les fréquences coupées par l'un doivent être conservées par l'autre. On dit que les deux filtres miroirs en quadrature.

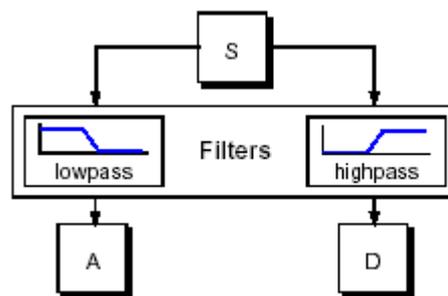


Figure II.7: Composante de bloc de traitements

Si nous arrêtons là, nous multiplions par 2 la quantité d'information. En effet, si le signal à traiter possède N points, le signal d'approximation et le signal de détails feront également N points chacun, soit $2.N$ en tout. Pour remédier le filtre passe-bas est choisi de telle sorte que sa fréquence de coupure soit $F_e/4$ ou F_e est la fréquence d'échantillonnage du signal. Un filtre passe-haut orthogonal au filtre passe-bas, peut être calculé facilement. En sous échantillonnant d'un facteur de 2 chaque signal, c'est-à-dire, le signal d'approximation et le signal de détails. On se ramène à deux signaux de longueur $N/2$, soit N points en tout, pas de changement dans la quantité d'information. Une étape élémentaire de la **T.O.D** peut donc se schématiser de la façon suivante :

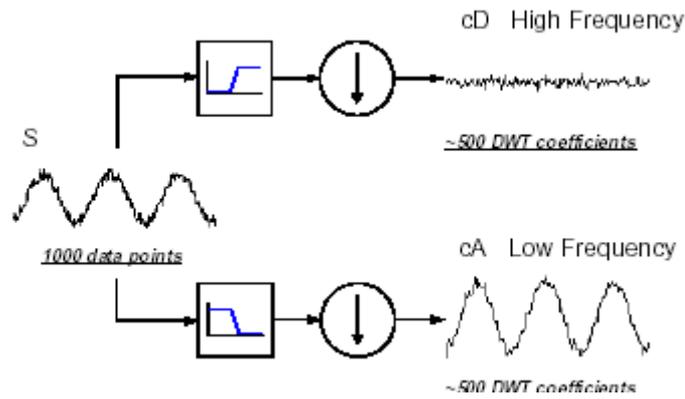


Figure II .8: Composant de bloc de traitements

Ou le symbole $\textcircled{\downarrow}$ représente l'opération de sous échantillonnage : on ne prend qu'un point du signal sur deux.

L'approximation est bien une version lissée du signal de départ, mais elle comporte encore du bruit. Rien ne nous empêche répéter l'opération de filtrage sur le signal d'approximation pour accéder à une résolution encore inférieure, et ainsi de suite. Par contre les signaux de détails issus du filtrage passe-haut sont laissés de coté à chaque pas. On obtient alors une décomposition que l'on peut schématiser comme suit :

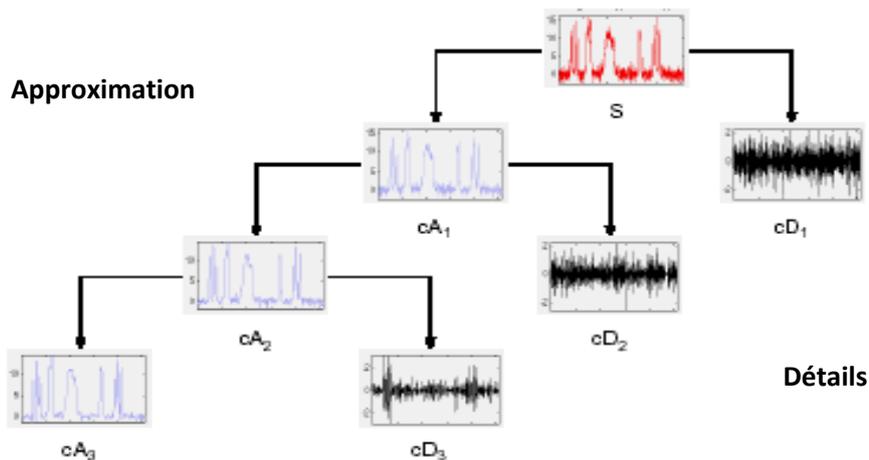


Figure II.9: Arbre de décomposition d'un signal en Ondelette

A chaque itération, on divise la résolution par deux. C'est la raison pour laquelle cette méthode est appelée analyse multirésolution. Il est intéressant pour de nombreuses applications de pouvoir reconstruire le signal à partir des coefficients d'ondelette. Cette opération est appelée reconstruction ou synthèse.

II-2.7. Reconstruction du signal (synthèse) :

On peut synthétiser le signal en prenant en considération que le signal d'approximation $A_{j_{\max}}$ au dernier niveau de décomposition et tous les signaux de détails D_j produits à chaque itération. On notera que la somme des longueurs du signal de départ. Cela signifie que quelque soit le niveau de décomposition atteint, l'information n'est pas redondante. Tout simplement en sur-échantillonnant le signal d'un facteur de 2 à chaque itération, avant l'opération de filtrage. Pour cela, il suffit de doubler à chaque pas la longueur de l'approximation et de détail en introduisant un zéro entre chaque échantillon. On passe donc l'approximation A_j à l'approximation A_{j-1} par l'opération suivante :

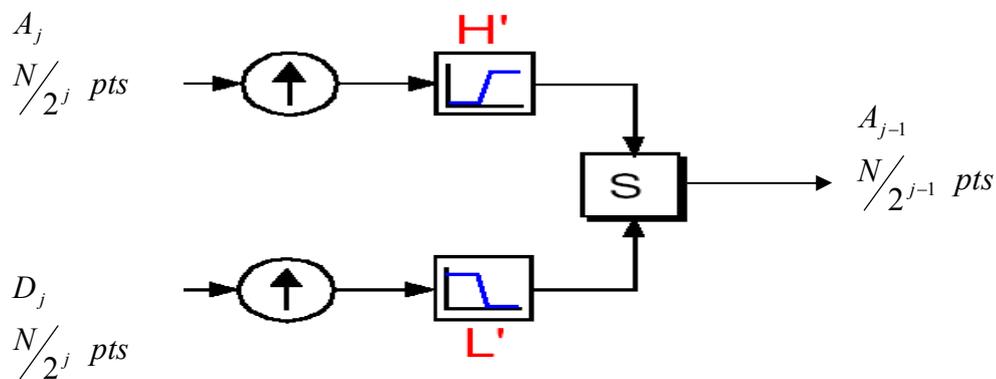


Figure II.10 : Schéma de synthèse

Où le symbole \uparrow représente l'opération qui consiste à insérer un zéro entre chaque échantillon de doubler sa longueur. Pour reconstruire le signal original à partir d'un niveau de décomposition donné, il suffit d'itérer cette suite d'opérations de sur-échantillonnage /filtrage. On construit ainsi récursivement tous les signaux d'approximation à partir du signal d'approximation à la résolution inférieure et du signal détails

Conclusion :

L'un des avantages des ondelettes est de travailler en sous bandes avec la possibilité de séparer les composantes du bruit des composantes du signal lui-même. La méthodologie adoptée dans le cadre de ce travail consiste à travailler sur chaque niveau de résolution séparément, en procédant à chaque fois à la suppression du bruit puis à la reconstitution du signal.

CHAPITRE III

*APPLICATIONS
AU DÉBRUITAGE
DU SIGNAL DE
PAROLE.*

Introduction :

L'objectif de ce chapitre est l'amélioration de la qualité des signaux de parole bruités tout en minimisant la perte d'intelligibilité pouvant être causée par les traitements effectués sur ces signaux à partir d'un signal acquis $x(t) = u(t) + b(t)$, où $b(t)$ représente la composante perturbatrice.

Après notre recherche des méthodes, toute une série de techniques restent possibles pour réaliser les différentes étapes de débruitage. On se donne donc la liberté de les essayer brièvement. Après plusieurs séries d'essais, certaines techniques se dévoileront sans doute déjà vouées à l'échec. D'autres ne seront peut-être pas nécessaires à notre travail. Nous allons généralement choisir les méthodes de débruitage selon le type de bruit. Nous allons donc appliquer plusieurs méthodes en fonction du type de bruit :

- ❖ La méthode de filtrage par la soustraction spectrale pour un signal de parole $u(t)$ bruité par un bruit blanc $b(t)$.
- ❖ La méthode de filtrage par l'intercorrélation et la soustraction spectrale pour un signal de parole $u(t)$ bruité par la bande de fréquence étroite $b(t)$.
- ❖ La méthode de filtrage par ondelette pour un signal parole $u(t)$ bruité par un bruit quelconque $b(t)$.

Nous allons effectuer ce traitement à l'aide du logiciel « MATLAB » qui est très performant pour ce genre de traitement car il intègre l'analyse numérique, de calcul matriciel, le traitement du signal en le graphisme, dans un environnement où les problèmes et les solutions sont exprimés mathématiquement.

Première application :

Signal de parole « Bonjour » bruité par un bruit blanc :

III-1. Définition de bruit blanc :

Un bruit blanc est un signal aléatoire qui a un spectre d'amplitude constant quelque soit la fréquence.

Amplitude (dB)

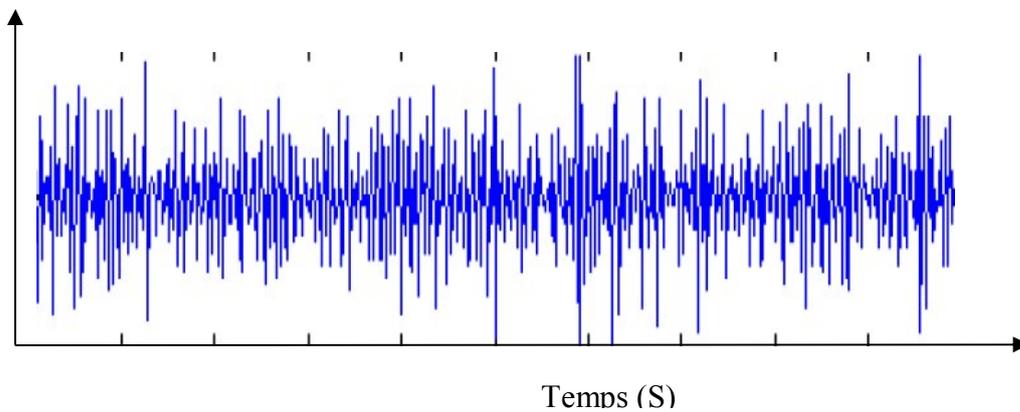


Figure III.1 : Le bruit blanc.

Amplitude dB

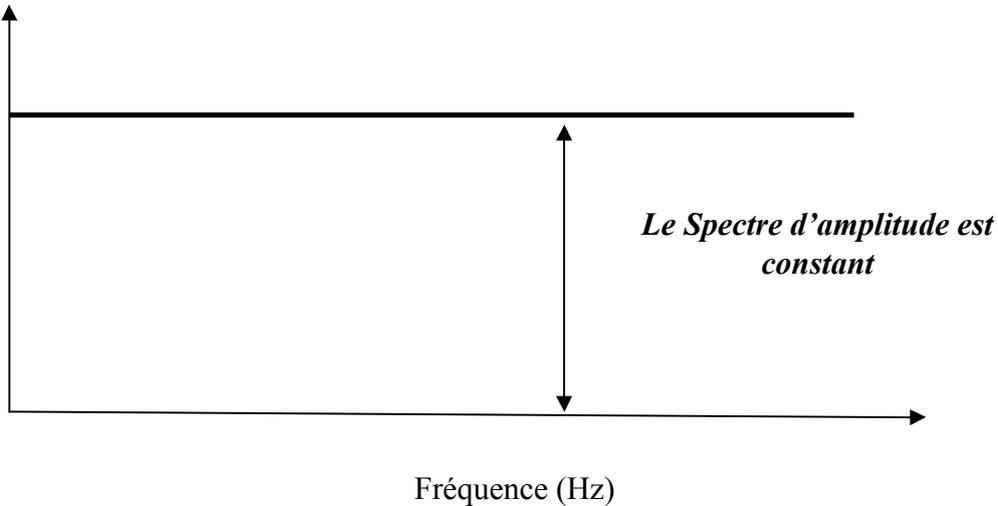


Figure III.2 : Spectre d'amplitude d'un bruit blanc

III-1.2 La méthode de débruitage par la soustraction spectrale :

Cette méthode se fonde sur l'estimation du spectre d'amplitude du bruit supposé bruit blanc à partir d'une portion de signal qui ne contient que du bruit. La sélection de cette portion se fait en général par observation (acoustique) directe du signal, une fois ce niveau est estimé, on applique la soustraction spectrale d'amplitude $|U(\omega)| = |X(\omega)| - |B(\omega)|$ ou $|U(\omega)$, $|X(\omega)$ et $|B(\omega)|$ représentent respectivement le spectre d'amplitude du signal débruité, le spectre d'amplitude de signal bruit par un bruit blanc, et le spectre d'amplitude de bruit blanc pour éliminer le bruit blanc. L'organigramme de la méthode correspondant est présent dans la figure (III.3).

III-1.3. Organigramme de filtrage par la Soustraction Spectrale :

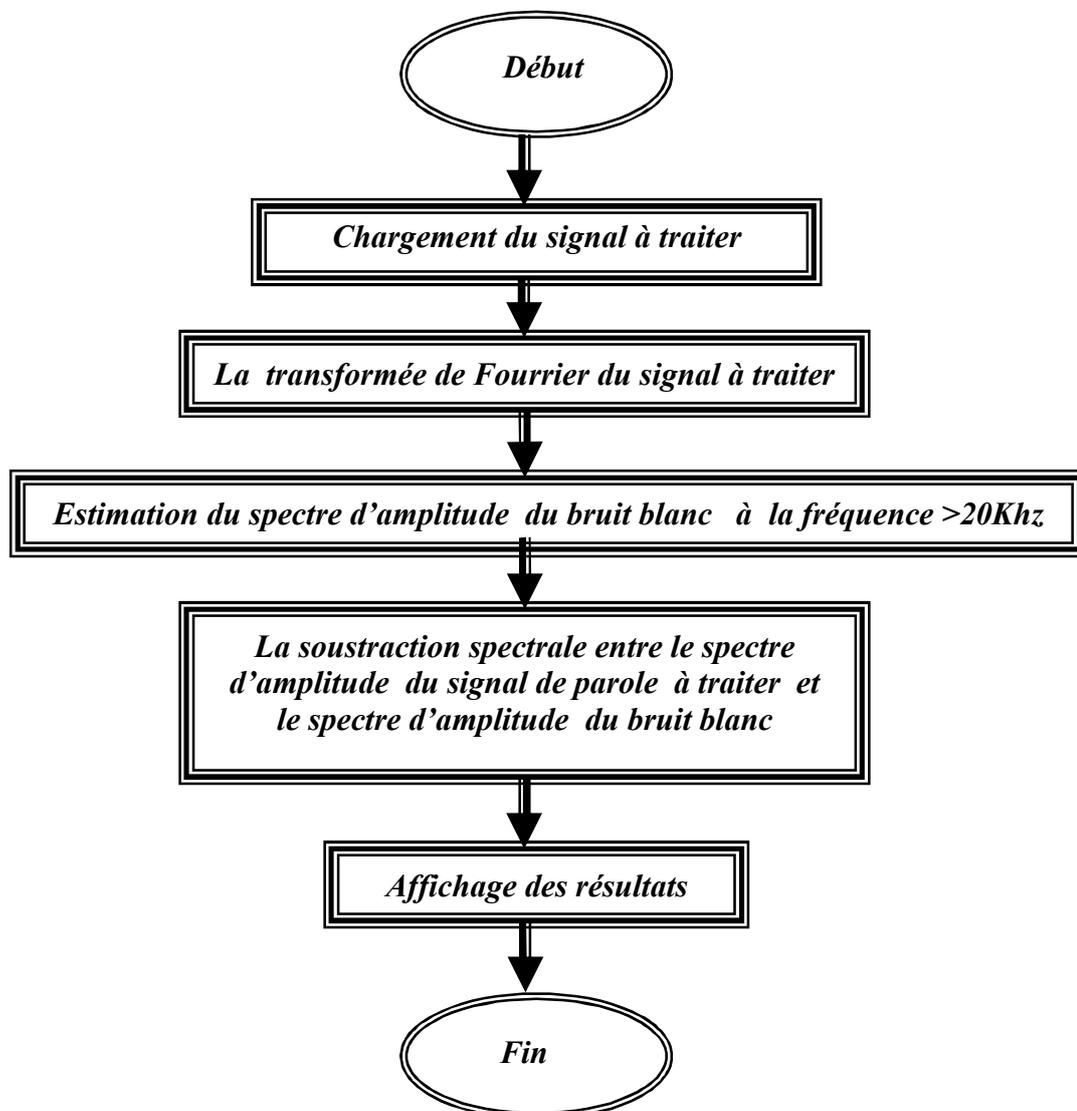


Figure III.3 : Organigramme de filtrage.

III-1.4. Application et résultat :

III-1.4.1. Les étapes de filtrage :

La technique de filtrage par la méthode de la soustraction spectrale comporte les étapes suivantes :

- **Première étape :**

Cette étape consiste à charger le signal de parole bruité par un bruit blanc $x(t)$, pour cela nous avons utilisé la commande « wavread ». Figure (III.4),

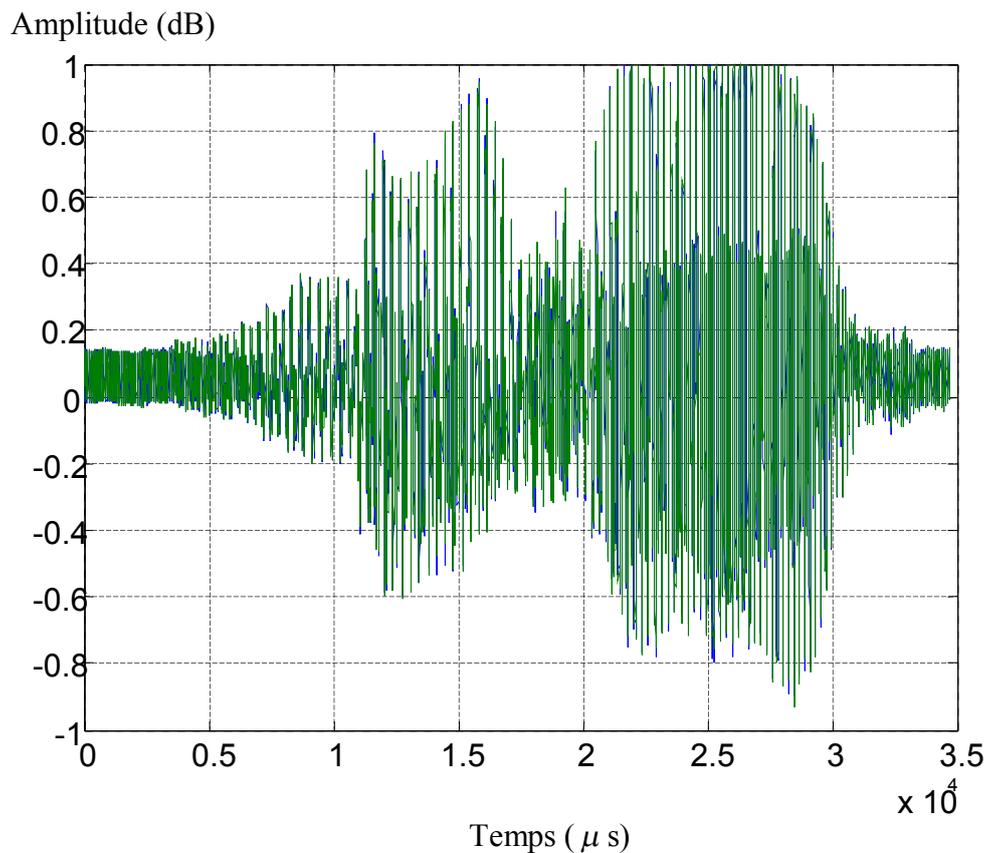


Figure III.4 : Signal de parole bruité par un bruit blanc.

L'application de la transformée de Fourier au signal de parole de la figure (III.4) nous a donné l'allure de la Figure (III.5).

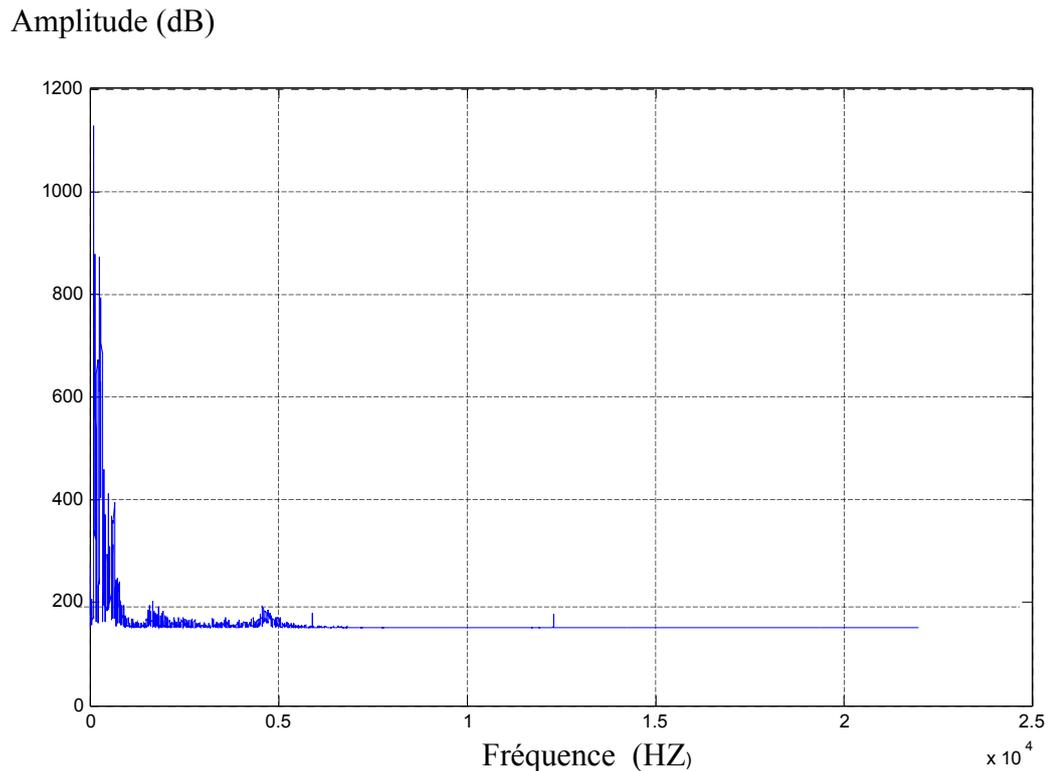


Figure III.5 : La Transformée de Fourier du signal de parole bruité.

La figure (III.5) montre que le spectre d'amplitude du signal de parole contient un bruit blanc, ayant une amplitude importante sur toute la longueur du signal (la bande de fréquence du bruit blanc est une constante).

- **Seconde étape :**

Cette étape consiste à trouver le spectre d'amplitude du bruit $B(f)$ à une fréquence supérieure à 20Khz, pour cela nous allons utiliser la commande « disp » afin d'afficher le spectre d'amplitude de bruit.

- **Troisième étape :**

Cette étape consiste à faire la soustraction spectrale entre le spectre d'amplitude du signal bruité $X(f)$, et le spectre d'amplitude du bruit blanc $B(f)$ afin d'obtenir le spectre d'amplitude du signal de parole débruité $U(f)$.

L'application de la soustraction spectrale au signal de parole nous a donné le graphe de la figure (III.6).

Amplitude (dB)

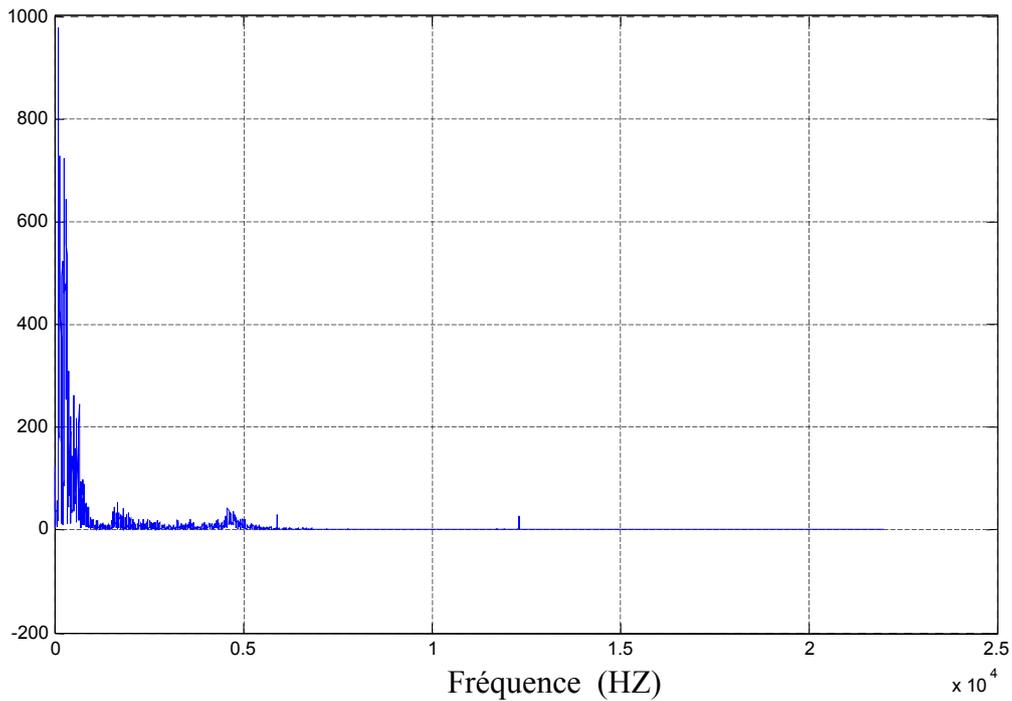


Figure III.6 : Le spectre d'amplitude du signal de parole débruité.

La figure (III.6) montre que le spectre d'amplitude du signal de parole est fortement atténué ce qui signifie que le bruit est éliminé.

Deuxième application :

Signal de parole bruité par bruit de bande de fréquence étroite (signal sinusoïdal).

III-2.1. La bande fréquence de bruit périodique (signal sinusoïdal) est inférieure à 20 KHz :

III-2.1.1. La méthode de débruitage de signal de parole bruité par la bande de fréquence inférieur à 20 KHz par l'intercorrélation et la soustraction spectrale :

Cette Méthode fait un traitement entre deux signaux, signal de parole bruité par un bruit périodique et un signal de référence de même allure, centrée, et de même période avec le bruit. Nous procédons d'abord par extraire le signal sinusoïdal par l'intercorrélation qui est la corrélation entre deux signaux. Cette opération permet de trouver dans deux signaux aléatoires ou très bruités des groupes d'informations se répétant ou se ressemblant dans les deux signaux. Dans le domaine continu, l'expression mathématique s'écrit :

$$\varphi_{xy}(t, \tau) = \frac{1}{T} \int_{t-\tau}^t x(t) \cdot y(t-\tau) dt \quad (\text{III.1})$$

Dans le domaine discret, l'expression mathématique s'écrit :

$$\varphi_{xy}(k, l) = \frac{1}{K} \sum_{l=m-k+1}^m x(l) \cdot y(l-k) \quad (\text{III.2})$$

Extraction du signal sinusoïdale de bande de fréquence centrée à 0.9 KHz est schématisée par la Figure (III.8)

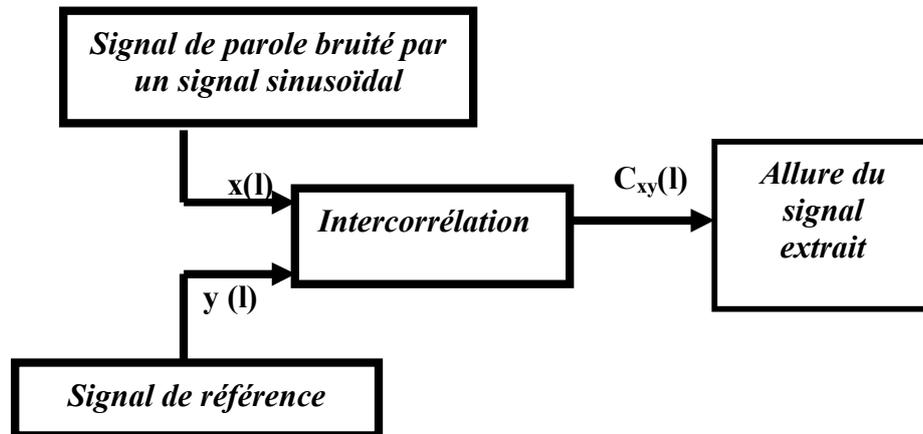


Figure III.8 : Extraction du bruit (signal sinusoïdal) par l'intercorrélacion.

La fonction d'intercorrélacion entre deux signaux peut être calculée par la formule de définition (équation III.5) où $x(l)$ et $y(l-k)$ sont deux signaux comprenant chacun N échantillons et $\varphi_{xy}(k,l)$ est la fonction d'intercorrélacion discrète, ensuite on fait la soustraction spectrale entre le spectre d'amplitude du signal de parole bruité, avec le spectre d'amplitude du signal extrait. L'organigramme de la méthode correspondante est présenté sur la Figure (III.9)

III-2.1.2. Organigramme de débruitage :

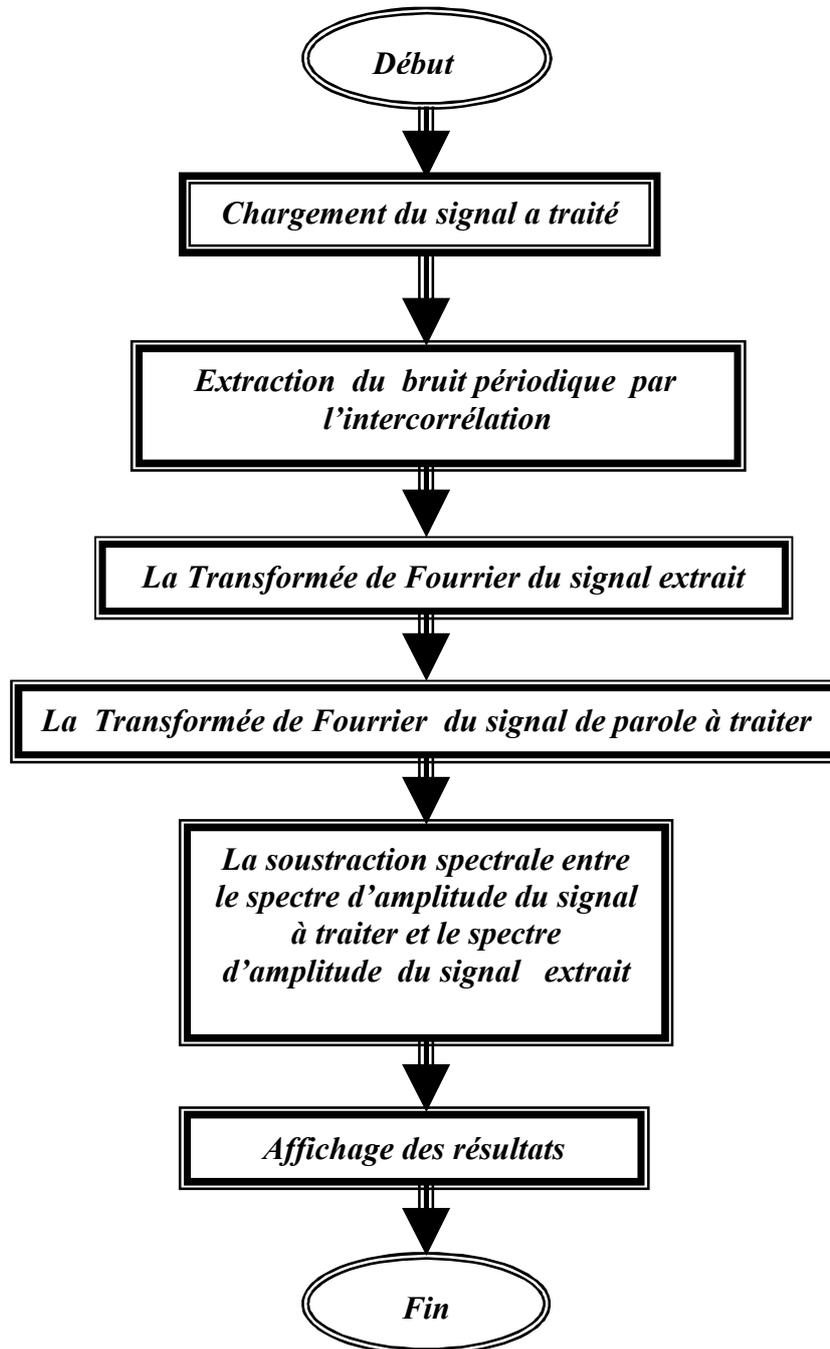


Figure III.9 : Organigramme de débruitage

III-2.1.3. Application et résultat :

- **Première étape :**

Charger le signal de parole « Bienvenue » bruité par un bruit périodique (signal sinusoïdal) de 900 Hz, pour cela nous avons utilisé la commande « wavread », figure (III.10).

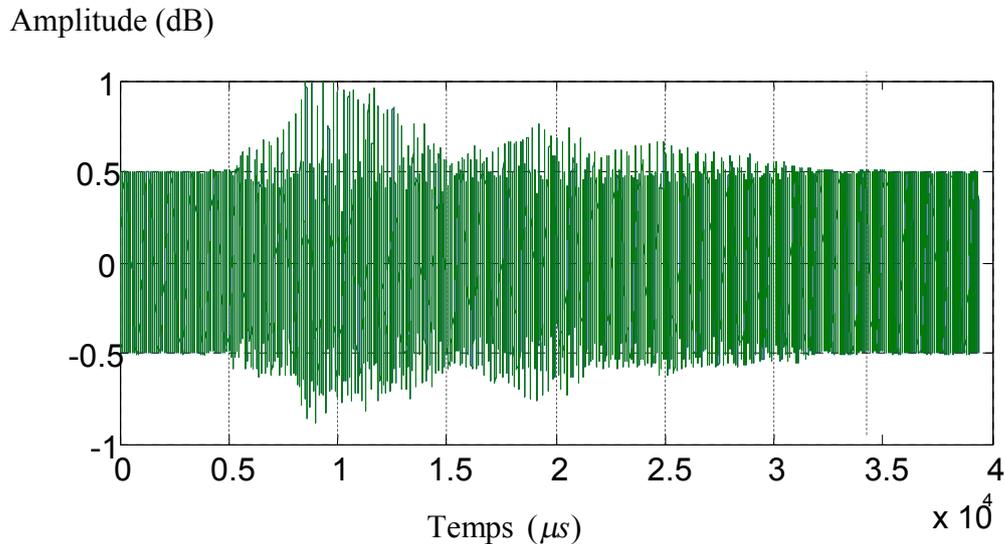


Figure III.10 : Signal de parole « Bienvenue » bruité par un signal sinusoïdal.

L'application de l'intercorrélation au signal de parole bruité de la figure (III.10) avec le signal de référence, nous a donné le signal de la figure (III.11).

Amplitude (dB)

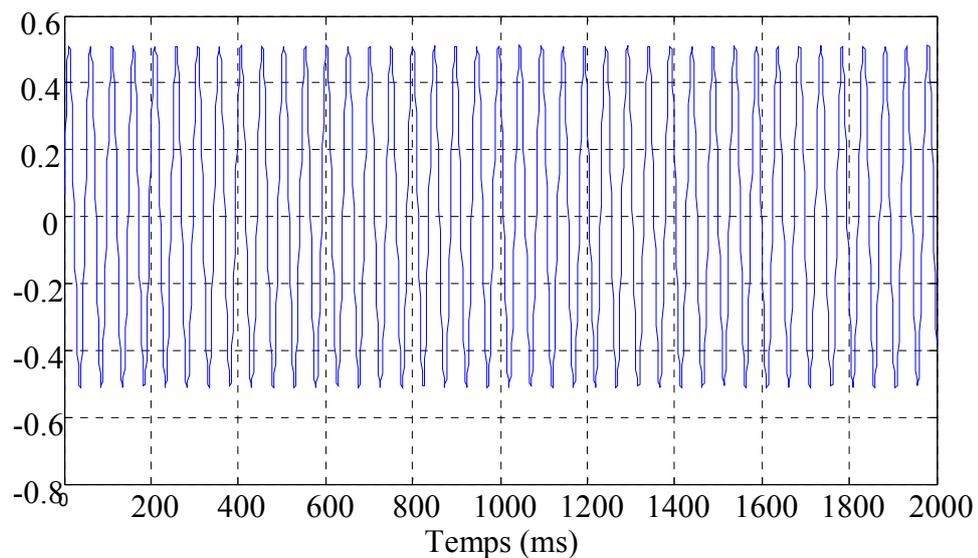


Figure III.11 : Signal extrait.

L'application de la transformée de Fourier au signal de la figure (III.10) nous a donné le graphe de la figure (III.12).

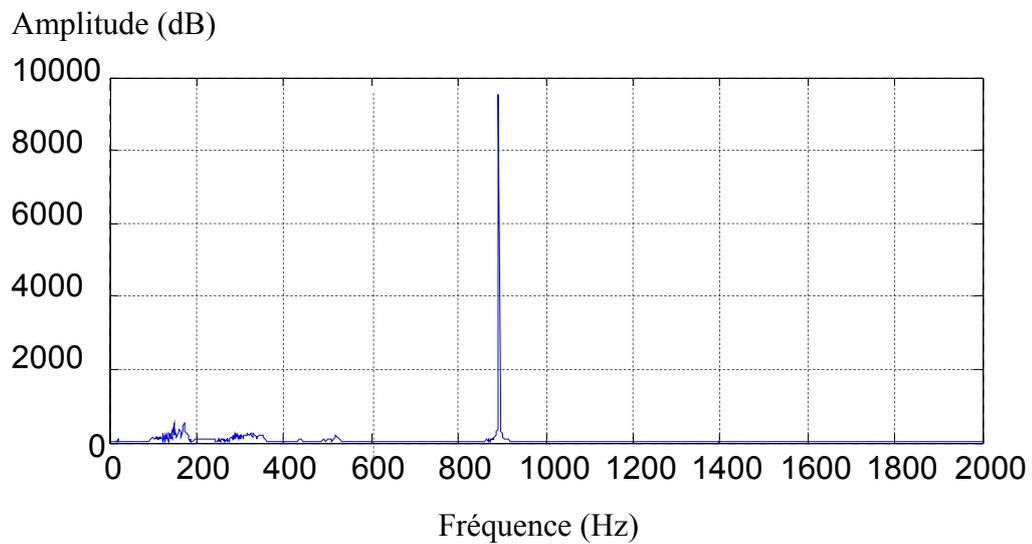


Figure III.12 : La Transformée de Fourier du signal de parole bruité.

La figure (III.12) montre que le spectre du signal contient un pic (bruit) ayant une amplitude importante, à la bande de fréquence centré à 0,9 KHz.

L'application de la transformée de Fourier au signal extrait de la figure (III.11), nous a donné le graphe de la Figure (III.13).

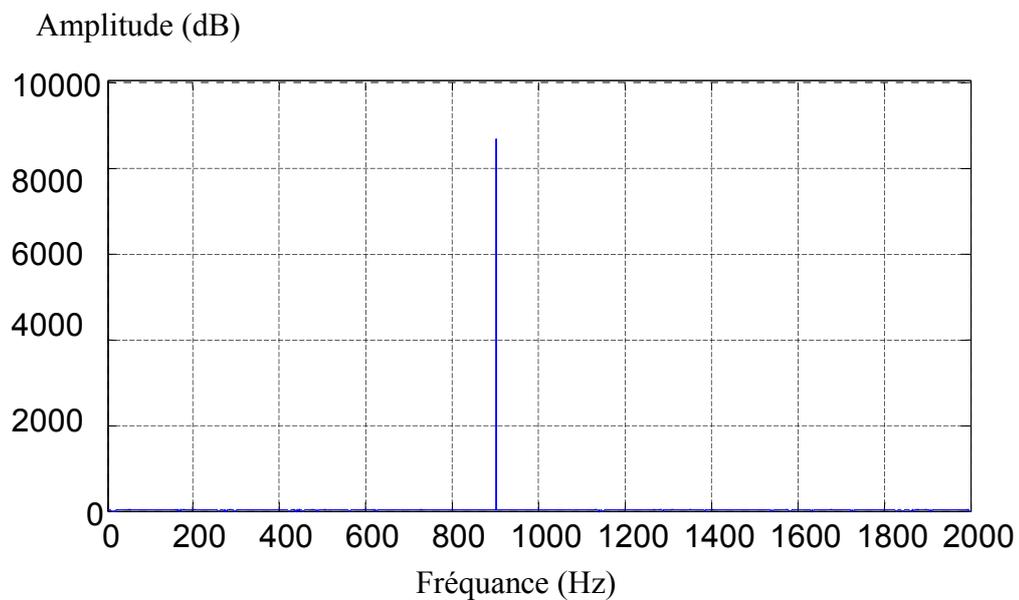


Figure III.13 : La Transformée de Fourier du signal extrait (bruit).

La figure (III.13) montre que le spectre du signal ne contient que le pic à la bande de fréquence centré à 0,9KHz.

L'application de la soustraction spectrale entre le spectre d'amplitude du signal bruité de la figure (III.12) et le spectre d'amplitude du signal extrait de la Figure (III.13) nous a donné le graphe de la Figure (III.14).

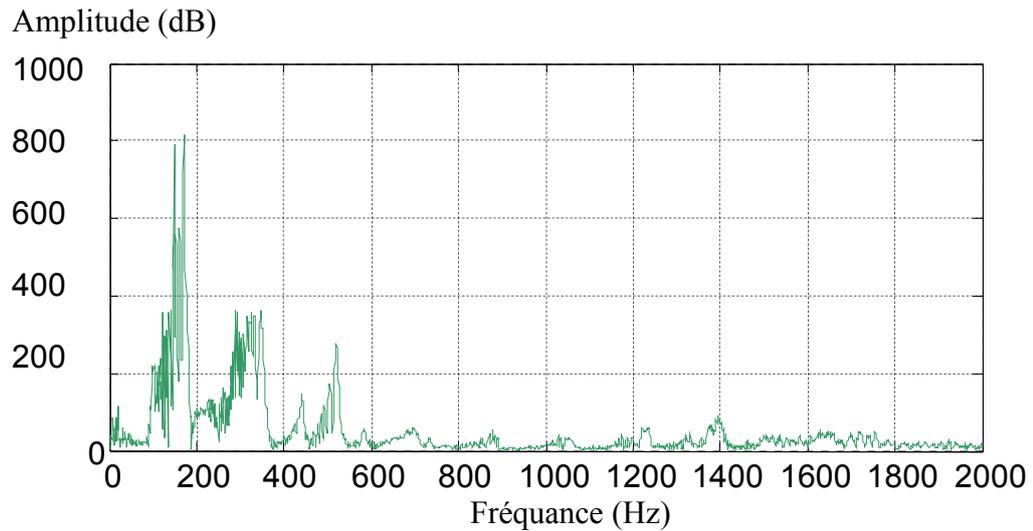


Figure III.15 : Le spectre d'amplitude du signal de parole débruité.

La figure (III.15) montre que le bruit (pic) est éliminé.

III-2.2. La bande de fréquence du bruit périodique (signal sinusoïdal) est supérieure à 20 KHz :

III-2.2.1. La méthode de débruitage par un filtre passe bas.

Dans le cas où la bande de fréquence du bruit est supérieure à 20 KHz, le principe de débruitage est très simple, ce dernier consiste à faire la transformée de Fourier du signal bruité, puis filtrer le spectre du signal ainsi obtenu avec un filtre passe bas de fréquence de coupure f_c égale à 20 KHz.

III-2.2.2. Application et résultat :

- **Première étape :**

Charger le signal de parole «Bonjour » bruité par un signal sinusoïdal de 21 KHz sur un certain nombre d'échantillons, pour cela nous avons utilisé la commande « wavread », figure (III.16).

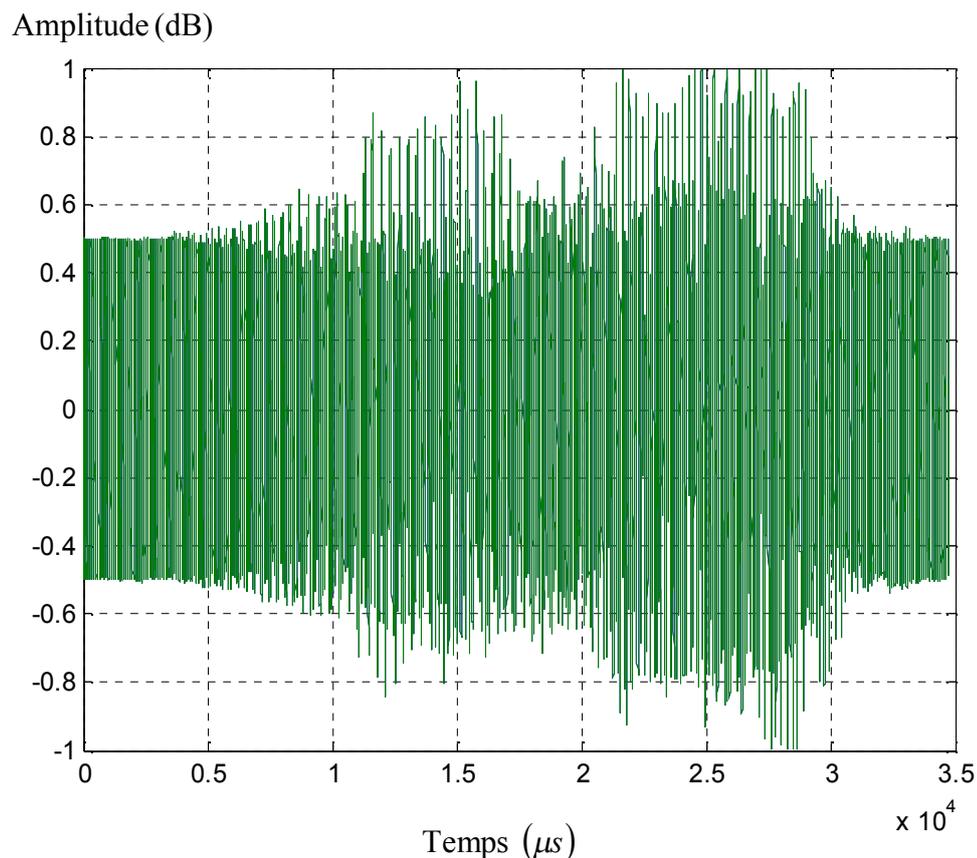


Figure III .16 : Signal de parole « Bonjour » bruité par un signal sinusoïdal de fréquence 21KHz.

- **Seconde étape :**

L'application de la Transformée de Fourier au signal de parole bruité de la figure (III.16), nous a donné le graphe de la figure (III.17).

Amplitude (dB)

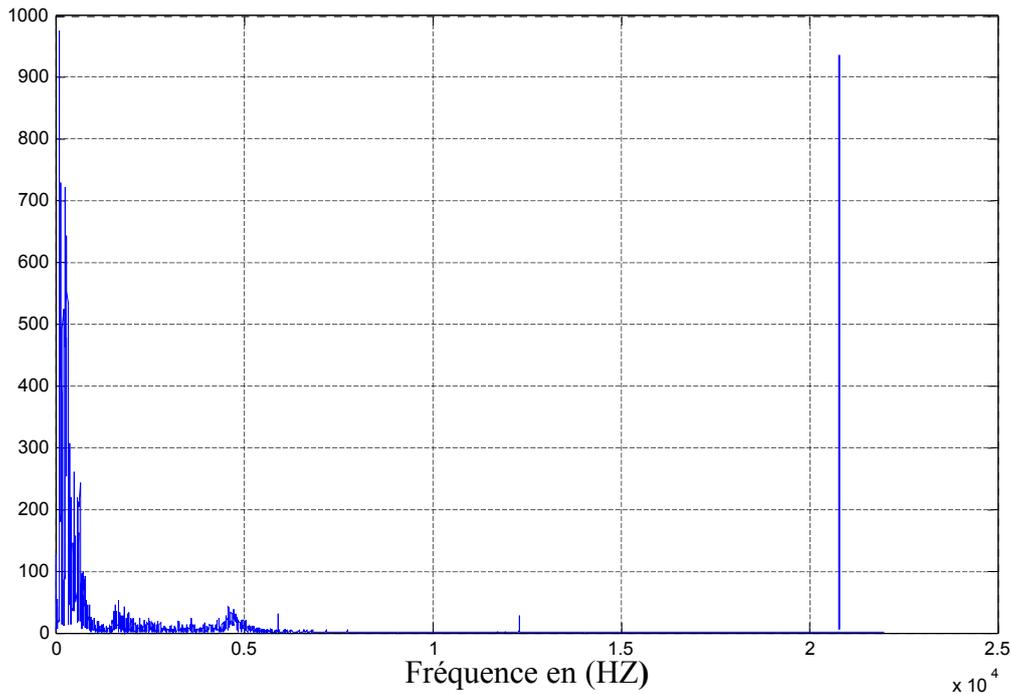


Figure III.17 : La Transformée de Fourier du signal de parole bruité.

La figure (III.17) montre que le spectre du signal contient un pic (bruit) ayant une amplitude importante, à la fréquence 21 KHz.

- **Troisième étape :**

L'application le filtre passe bas de fréquence de coupure égale à 20 KHz au signal de la figure (III.17), nous a donné le graphe de la figure (III.18).

Amplitude (dB)

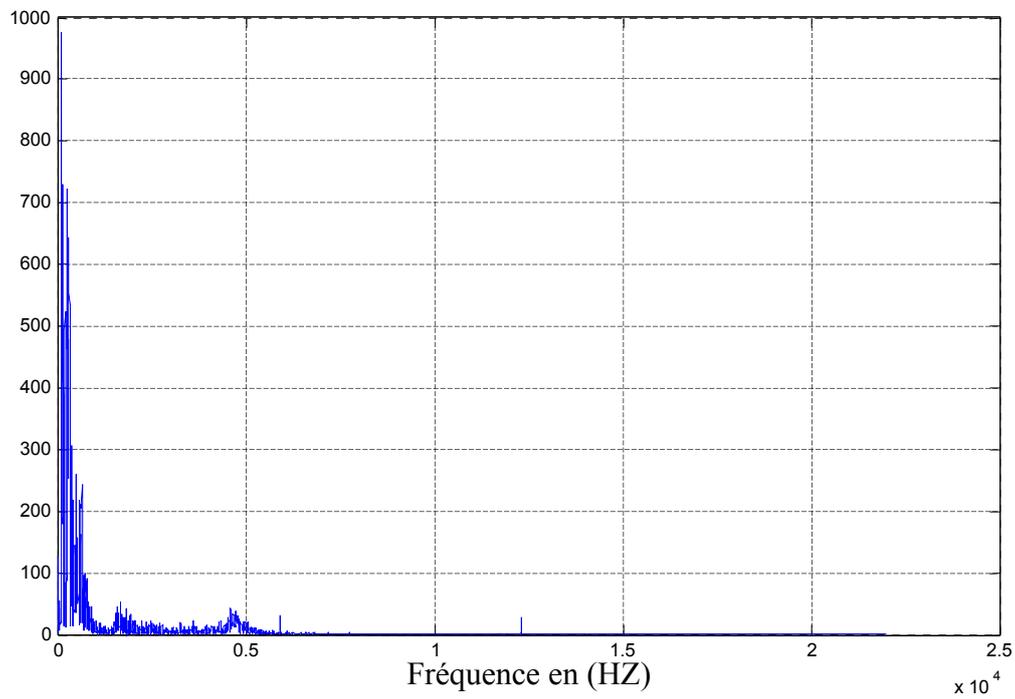


Figure III.18 : Le spectre d'amplitude du signal débruité.

La figure (III.18) montre que le signal est filtré.

Troisième application :

Signal de parole « Bonjour » bruité par un bruit quelconque.

III-3.1. La méthode de débruitage par la Transformée en Ondelette :

Cette méthode consiste à débruité un signal de parole « Bonjour » bruité par un bruit quelconque.

La technique de débruitage par la transformée en ondelette comporte les étapes suivant :

- ❖ La décomposition du signal par la transformée en ondelette.
- ❖ Le choix du seuil de filtrage.
- ❖ La reconstruction de signal à partir des coefficients d'ondelette modifiés.

III-3.2. Organigramme de filtrage par la Transformée en ondelette :

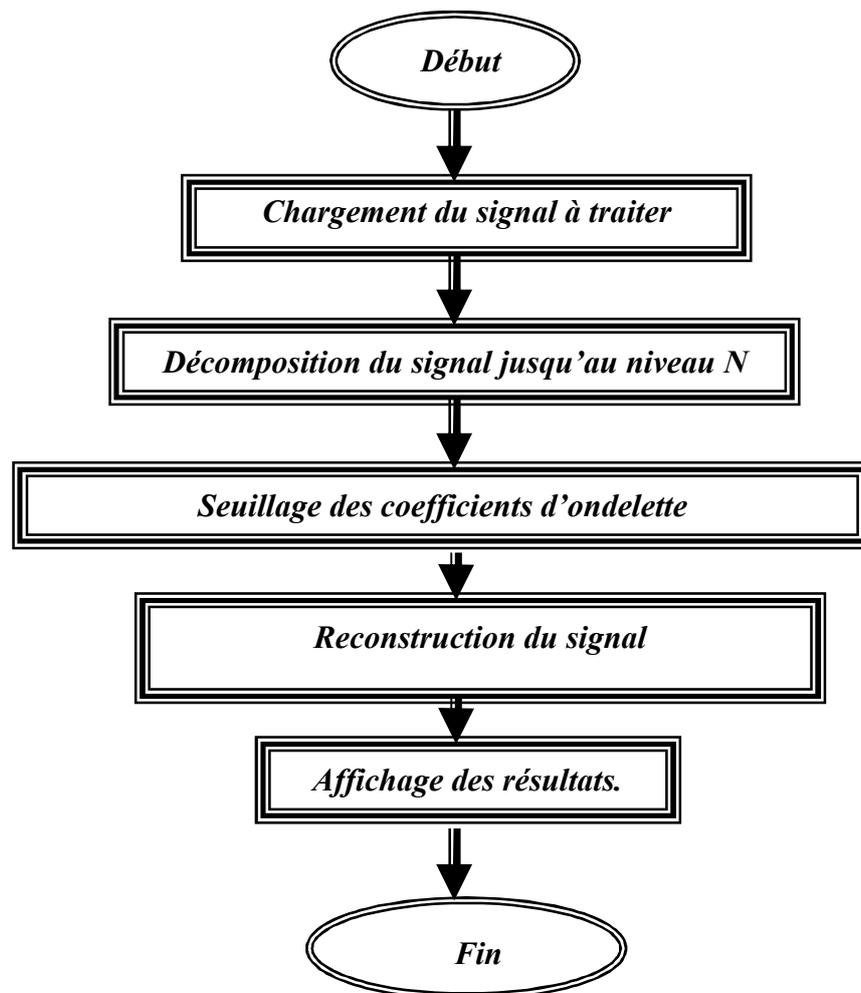


Figure III.19: Organigramme de filtrage par la Transformée en ondelette.

III-3.3. Les étapes du filtrage :

III-3.3.1. Décomposition d'un signal par la transformée en ondelette (T.O) :

Il existe plusieurs algorithmes de décomposition par la transformée en ondelette parmi eux on retrouve l'algorithme de S. MALLAT.

Cet algorithme consiste à faire passer à travers des blocs contenant des filtres passe-haut et des filtres passe-bas. A la sortie de chaque filtre on applique une décimation de rapport (2) c'est-à-dire la suppression d'un échantillon sur deux. La sortie du filtre passe-haut nous donne des coefficients en ondelette appelés détails, tandis qu'à la sortie du filtre passe-bas nous donne des coefficients en ondelette appelés approximation.

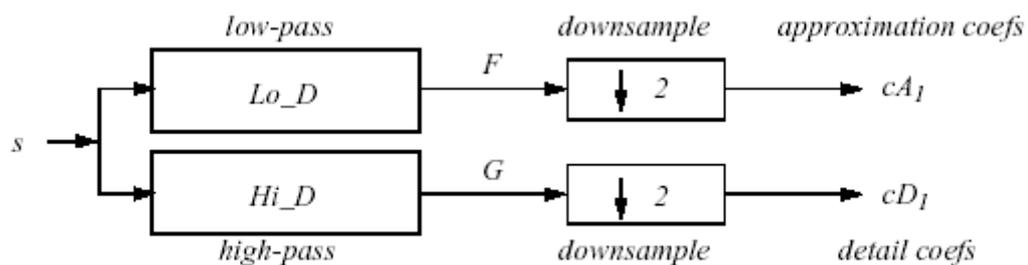


Figure III.20 : Décomposition d'un signal

III-3.3.2. Le choix du seuil de filtrage :

Nous avons mis en œuvre une décomposition et une synthèse en ondelette soit continue, soit discrète. Il est évident qu'on ne décompose un signal ou une image pour le plaisir de le reconstruire à l'identique mais c'est dans le but de le (la) débruité (ées). Nous allons maintenant aborder les différentes manières dont on peut modifier les coefficients d'ondelette à des fins de compression ou de débruitage.

III-3.3.2.1. Principe général du débruitage :

Les coefficients d'ondelettes correspondent aux détails d'un signal ou d'une image. Lorsqu'un détail est faible, il peut être ignoré sans que cela affecte les données de manière visible. Le seuillage des coefficients d'ondelette est donc un bon moyen d'éliminer les détails les plus faibles, que l'on considère comme du bruit.

a. La compression de données :

Consiste à remplacer les données originales par un jeu de coefficients d'ondelettes en ne conservant que les plus importants en valeur absolue. En fonction de leur valeur, on peut les coder avec un nombre de bits réduit. De cette façon on réduit considérablement la quantité d'information à coder, donc la capacité de stockage nécessaire. Notons qu'il faut non seulement enregistrer leurs valeurs, mais avec aussi leurs positions, si l'on veut pouvoir reconstruire le signal ou image ultérieurement.

b. Débruitage :

Consiste à ne conserver que les coefficients d'ondelettes les plus importants en valeurs absolue, puis à reconstruire le signal à partir de ses coefficients, les autres étant mis à zéro. Comme les détails les plus faibles (c.à.d le bruit) ont été éliminés, le signal ou l'image apparaît « nettoyée ».

Il existe plusieurs méthodes de seuillage des coefficients, que nous allons maintenant décrire.

III-3.3.2.2. Les différents types de seuillage :**1. Seuillage dur :**

Le principe de seuillage dur est de fixer un seuil $T > 0$. Si la valeur absolue d'un coefficient d'ondelette donné X est supérieure à T , on garde ce coefficient tel qu'il est. Sinon on le met zéro.

$$X = \begin{cases} 0 & \text{si } |x| \leq T \\ x & \text{si } |x| > T \end{cases} \quad (III.3)$$

On peut schématiser cette transformation comme suit :

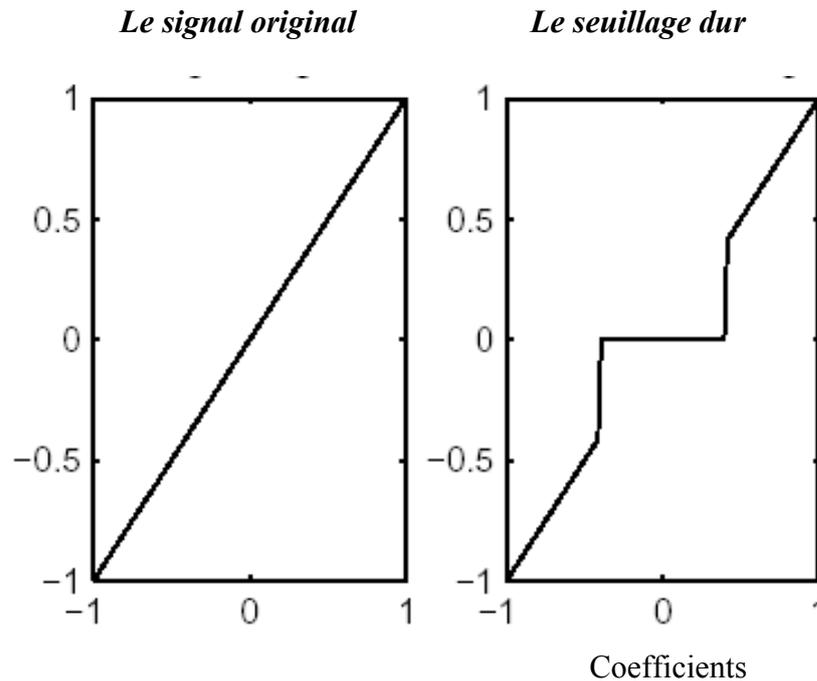


Figure III.21 : Le seuillage dur.

2. Le seuillage doux :

Le seuillage doux est pareil au seuillage dur sauf qu'il diminue de T la valeur des coefficients bruités se trouvant au-dessous du seuil :

$$X = \begin{cases} X - T & \text{si } X \geq T \\ X + T & \text{si } X \leq -T \\ 0 & \text{si } X \leq T \end{cases} \quad (\text{III.4})$$

Généralement on prend $T = \sigma \sqrt{2 \log N}$ ou σ^2 est l'estimation de la variance du bruit et N le nombre de coefficients d'ondelette.

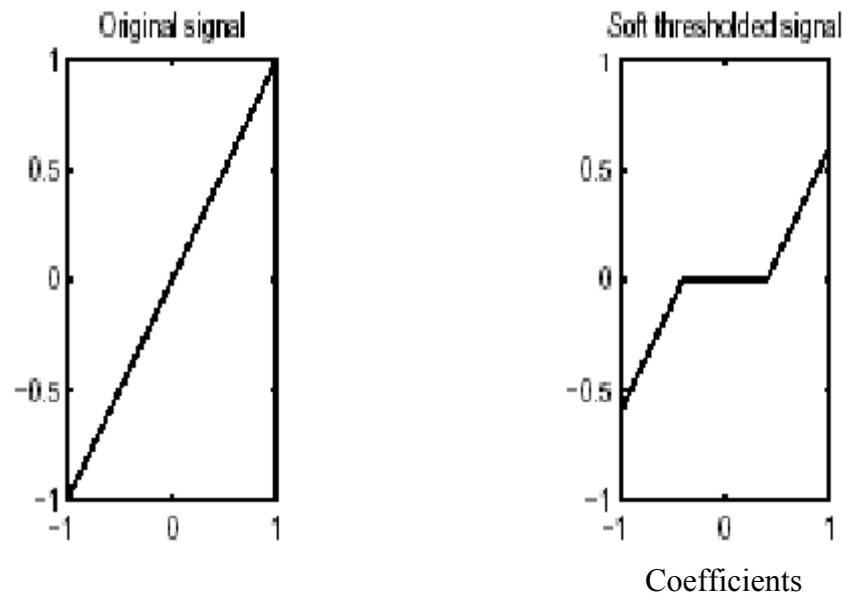


Figure III.22 : Le souillage doux.

III-3.4. Détermination du seuil à utiliser :

1. Seuil absolu :

On connaît (ou on détermine par tâtonnements) la valeur λ à utiliser. C'est bien sur le cas le plus simple, mais pas le plus fréquent ni le plus réaliste.

2. Seuil relatif :

On définit la valeur du seuil λ comme une fraction de la valeur absolue du plus grand coefficient. Par exemple, on choisit d'éliminer tous les coefficients dont la valeur absolue est inférieure à $\sigma = 50\%$ de la valeur absolue du coefficient le plus grand :

$$\lambda = \frac{\sigma}{100} \sup(\text{coefficients}) \quad (\text{III.5})$$

3. Seuil quantitatif absolue :

Si on connaît le nombre des coefficients d'ondelettes issus de la transformée directe, on peut choisir directement le nombre N' de coefficients que l'on veut conserver. Dans ce cas, on garde les N' plus grands coefficients, et on met tous les autres à zéro.

Cette sélection est réalisée en classant d'abord les coefficients par ordre décroissant de valeur absolue, puis en sélectionnant les N' plus grands. La valeur du dernier coefficient donne le seuil à utiliser.

4. Seuil quantitatif relatif :

C'est la méthode la plus intuitive : on choisit de ne conserver que $\sigma\%$ du nombre total de coefficients (les plus grands en valeur absolue bien sur). La valeur du seuil λ est donc déterminée par classement dans l'ordre décroissant des coefficients, de telle sorte qu'il ne peut rester plus que le pourcentage souhaité. Si N est le nombre de coefficients de seuillage et N' le nombre de coefficients non nuls après seuillage, on a :

$$\sigma = 100 \cdot \frac{N'}{N}. \quad (III.6)$$

Cette méthode est très utilisée car la valeur de σ est directement liée au taux de compression. Par exemple si $\sigma = 50$, on ne garde que la moitié des coefficients, donc le taux de compression est voisin de 2 (en omettant les positions des coefficients). Si $\sigma = 25$, on garde le quart des coefficients avec un taux de compression égal à 4.

5. Seuil universel ou (Seuil de Donoho):

Donoho et Johnston proposent, pour seuillage un jeu de N coefficients, d'utiliser la valeur suivante (en seuillage brut ou en rétrécissement) pour le seuil λ :

$$\lambda = \sigma \frac{\sqrt{2 \log N}}{\sqrt{N}} \quad (III.7)$$

Où σ est ici un facteur qui représente la variance du bruit. On peut montrer que cette méthode permet de minimiser la différence entre le signal reconstruit et le signal original.

III-3.5. Reconstruction du signal (synthèse) :

Après avoir mis à zéro les détails de valeur inférieure au seuil choisi, on passe à la reconstruction du signal à partir des coefficients d'ondelette modifiés. La procédure de la reconstruction est identique à celle de la décomposition, mais en agissant dans le sens contraire, en remplaçant la décimation par l'interpolation.

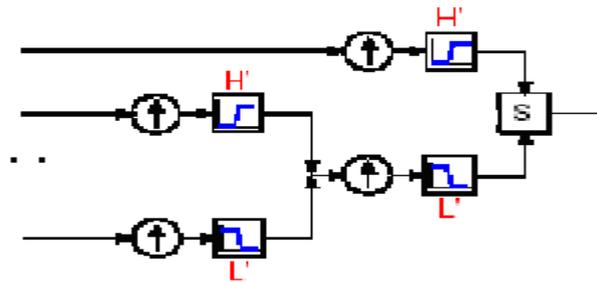


Figure III.23 : Schéma de synthèse.

Où le symbole \otimes représente l'opération qui consiste à insérer un zéro entre chaque échantillon afin de doubler sa longueur.

Le résumé des étapes de la décomposition et la reconstruction d'un signal ou d'une image est représenté par le synoptique suivant.

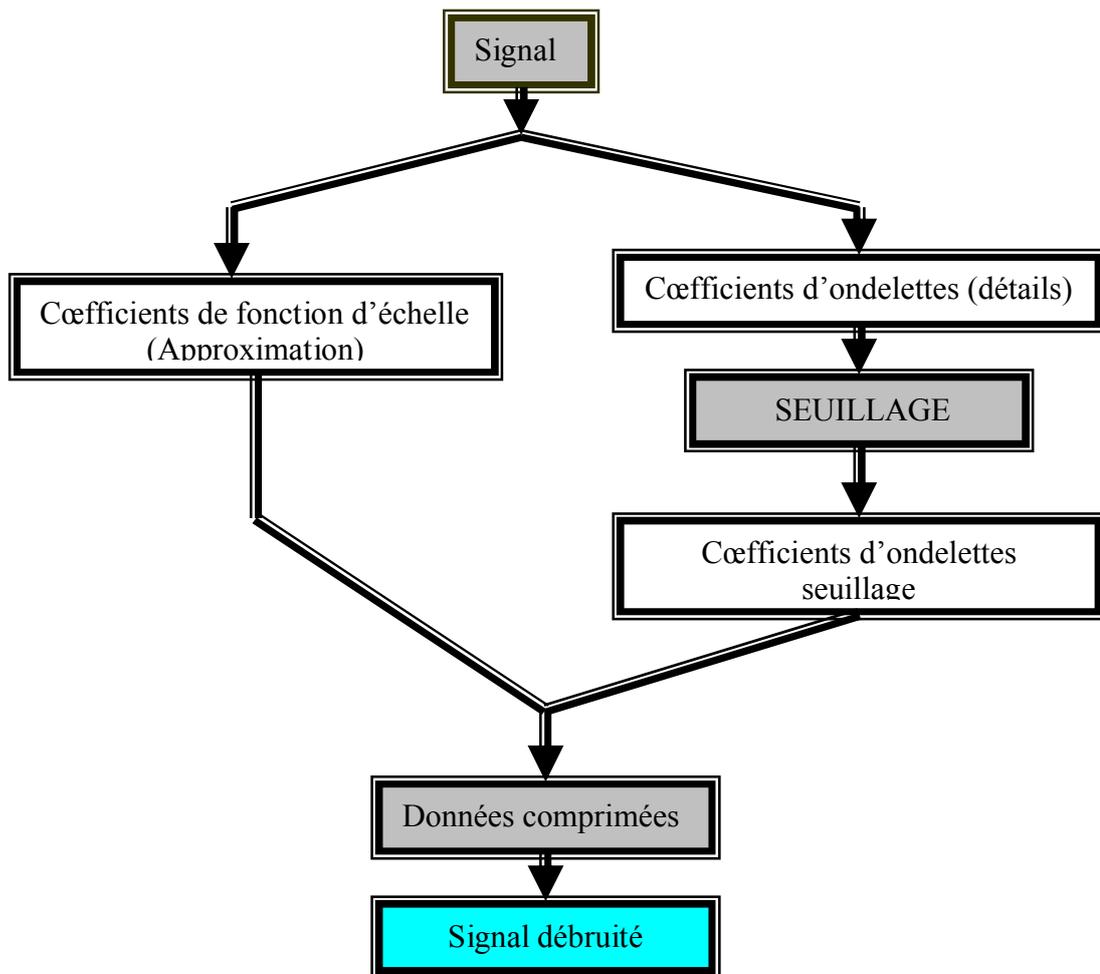


Figure III.24 : Des étapes de la décomposition et la reconstruction d'un signal.

III-3.6. Application du programme au signal de parole :**III-3.6.1. Explication des différentes étapes du traitement :****Etape 1 :**

Cette étape consiste à charger le signal de parole « bonjour bruité par un bruit quelconque » sur un certain nombre d'échantillons, nous avons utilisé la commande wavread.

Etape 2 :

Cette étape est la partie essentielle de la détection, nous avons décomposé le signal de parole sur la base d'ondelette Debauchies (dB).

Pour la décomposition du signal de parole, nous avons utilisé la commande « wavedec » qui fait une analyse en ondelette unidimensionnelle à plusieurs niveaux, en utilisant des filtres (L_0_D et H_i_D) que nous devons calculer.

$[C, L] = \text{wavdec}(X, N, 'ond');$

La structure $[C, L]$ est la décomposition du signal X jusqu'au niveau N en utilisant l'ondelette 'ond'.

N doit être un entier strictement positif. La structure de la décomposition en ondelette contient les vecteurs N qui présente la longueur des composantes du vecteur C qui est le vecteur de la décomposition.

La décomposition en ondelette du signal X au niveau j a la structure suivante :

$[cA_j, cD_j, \dots, cD_1]$. Cette structure contient pour $j=3$, les vecteurs C et L suivants :

$C : [cA_3, cD_3, cD_2, cD_1]$.

$L : [LcA_3, LcD_3, LcD_2, LcD_1, LX]$.

Etape 3:

Comme nous l'avons déjà évoqué, le principe de base de la transformée en ondelette est de séparer le signal en deux composantes, l'une représentant l'allure générale du signal et l'autre représentant les détails. L'allure générale d'une fonction est représentée par les basses fréquences, et les détails par les hautes fréquences. Pour séparer les deux, nous avons donc besoin d'une paire de filtres : un filtre passe-bas pour obtenir l'allure générale, et un filtre passe-haut pour estimer ses détails. Les coefficients d'approximation et les détails s'obtiennent par la convolution du signal avec et respectivement les filtres passe-bas et les filtres passe-haut.

Etape 4 :

Il est intéressant pour les nombreuses applications de pouvoir reconstruire le signal à partir des coefficients ondelettes (les signaux approximations et les détails). Cette opération est appelée reconstruction. Pour revenir au signal de départ de longueur N , il faut tout simplement le sur-échantillonner d'un facteur de 2 pour chaque itération, avant l'opération de filtrage. Pour cela, il suffit de doubler à chaque pas la longueur de l'approximation et de détail. On passe donc de l'approximation A_j à l'approximation A_{j-1} .

III-3.6.2. Application et résultat :

Nous première application du programme et, consiste à traiter un signal de parole 39000 échantillons, qui comporte tout les bruits.

Le but de cette application est de voir l'impact du filtrage sur les résultats obtenus.

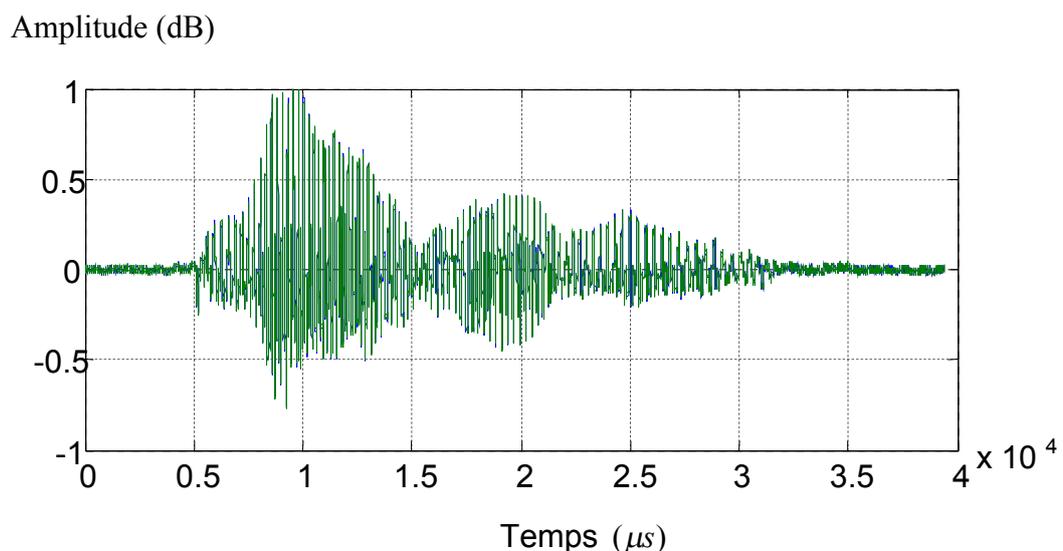


Figure III .25 : Signal de parole « bienvenu » bruité.

La figure (III.25) montre que l'amplitude du bruit est apparue dans les intervalles $[0, 0.5 \cdot 10^4]$ et $[3.3 \cdot 10^4, 4 \cdot 10^4]$. La décomposition du signal de la figure (III.25) par la transformée en ondelette, nous a donné les résultats suivants, dans lesquels sont représentés les approximations et les détails jusqu'aux troisièmes niveaux.

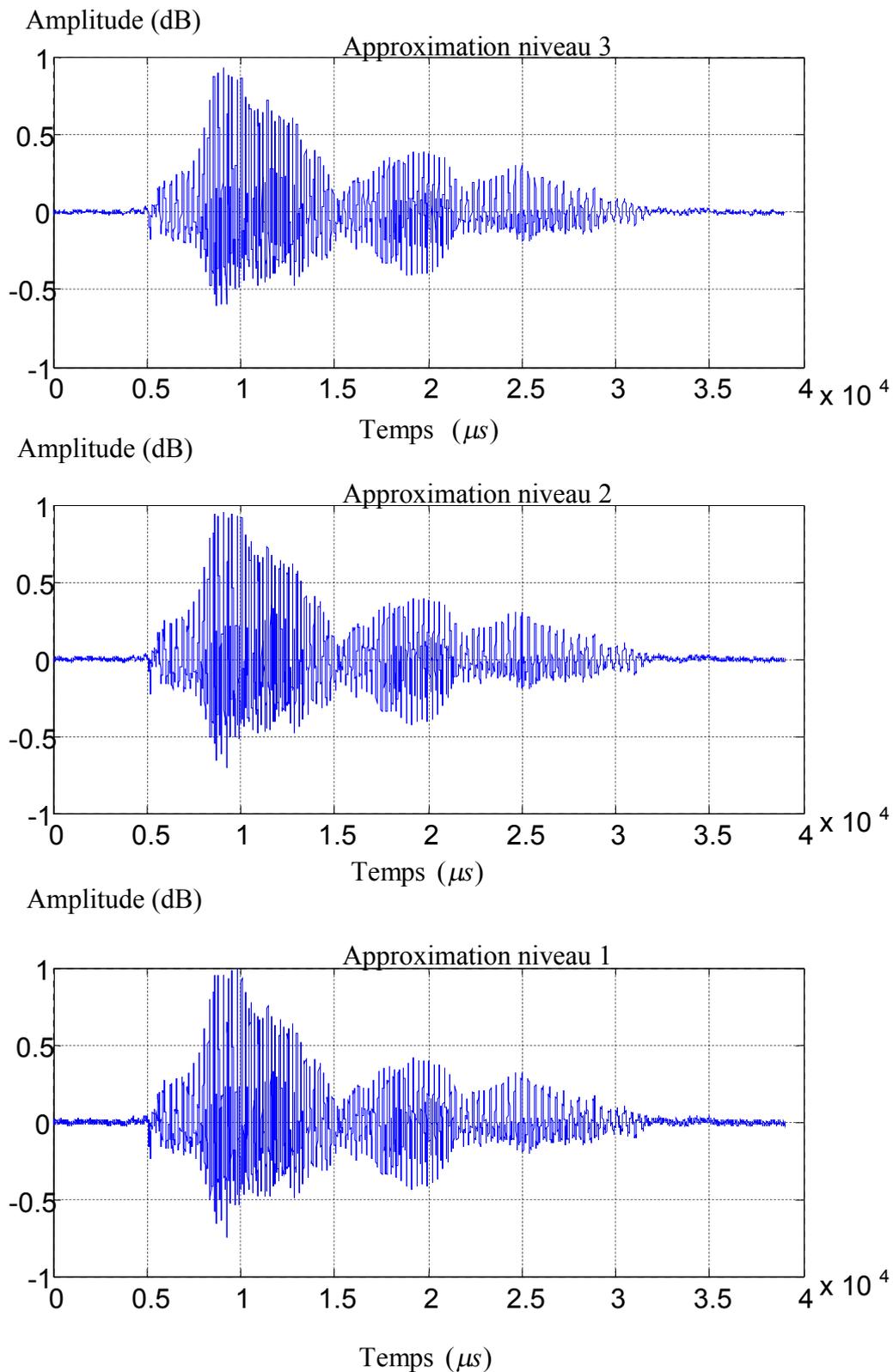


Figure III.26 : Les approximations de la décomposition.

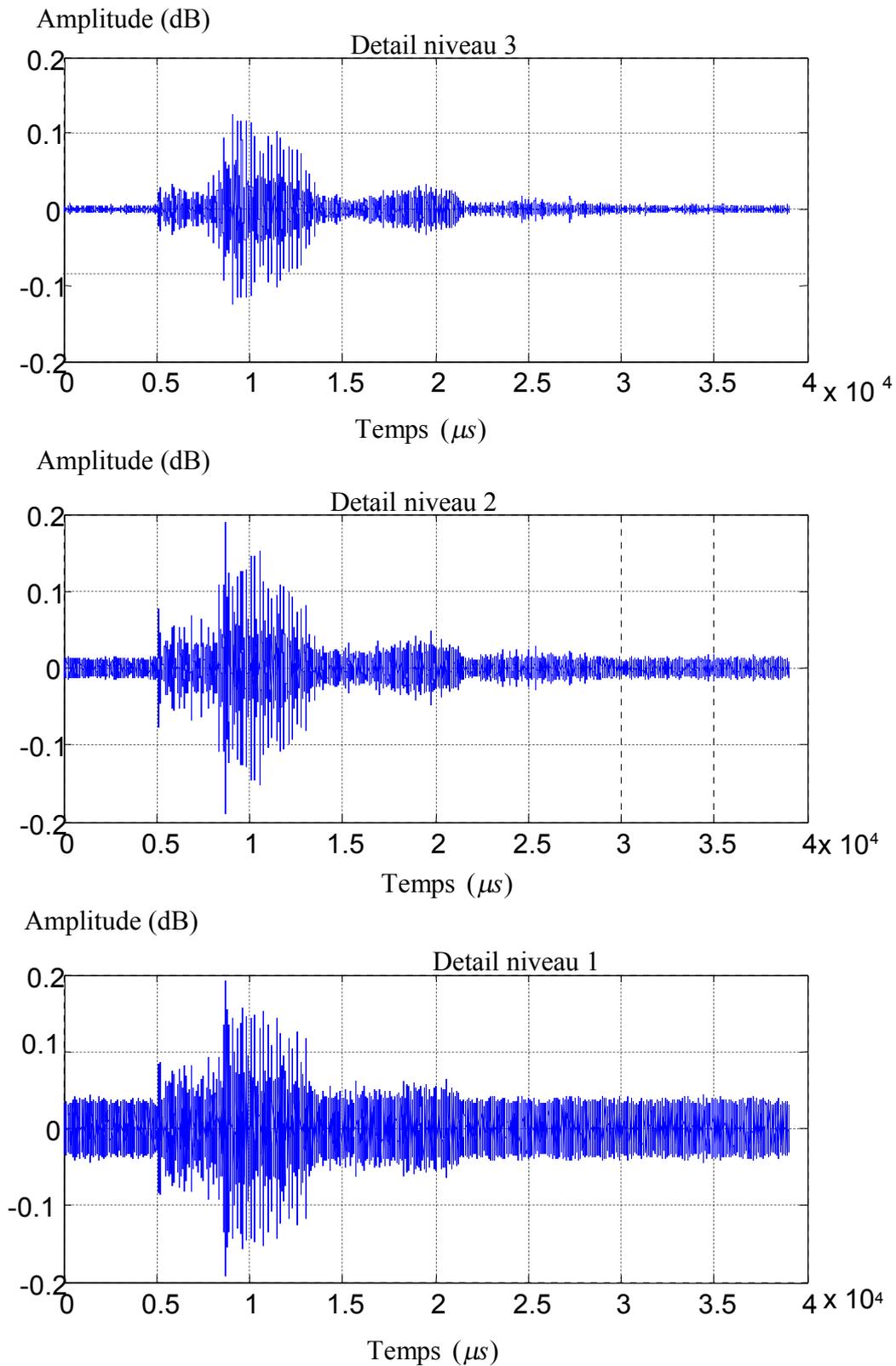


Figure III.27 : Les détails de la décomposition.

Les Figure (III.26) et (III.27) représentent les approximations et les détails après la décomposition. Nous constatons que les niveaux d'approximations sont moins en moins bruités. Après reconstruction, on obtient le signal débruité.

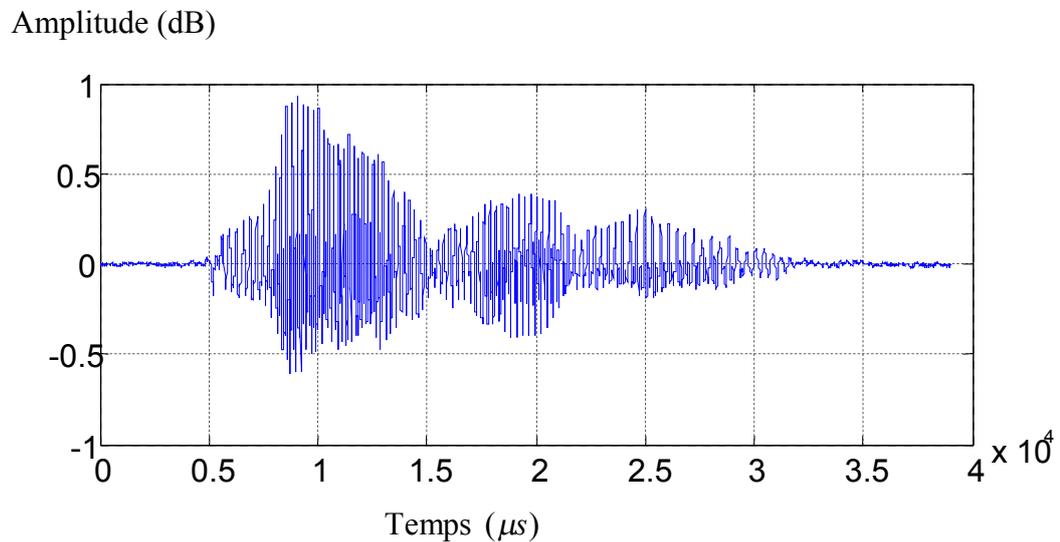


Figure III.28 : La reconstruction d'un signal de parole.

La reconstruction des détails D1, D2, et D3 Figure (III.26) et les approximations A1, A2, et A3 Figure (III.27) illustrent bien la distribution de l'information du signal numérisé sur ces derniers. On remarque que le bruit se concentre essentiellement dans les détails D1 et D2 tandis que l'information du signal de parole concentré dans les approximations A1, A2, et A3 et le détail D3. Partant de là, on va choisir un seuil qui mettra les coefficients de détails D1 et D2 à zéro.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Le signal de parole, est la représentation électrique, par l'intermédiaire d'un microphone, de mots, phrases ou textes prononcés par un locuteur. Lors de son acquisition, ce signal est perturbé par des bruits divers rendant son interprétation impossible.

Ce signal étant non stationnaire, les méthodes classiques du traitement du signal ne sont pas adaptées pour son débruitage.

Par l'application des différentes méthodes (soustraction spectrale, intercorrélation, filtrage) aux signaux bruités par les différents bruits (bruit blanc, bruit périodique) nous sommes arrivés à une atténuation de bruit du signal perturbé.

L'utilisation de la Transformée en Ondelette pour débruité un signal de parole bruité par tout les types de bruit c'est avéré à travers ce mémoire un outil très intéressant.

Enfin nous espérons que ce modeste travail sera l'objet d'un complément d'étude, et qu'il inspirera d'autres promotions à un développement plus large, en utilisant d'autres méthodes de débruitage telle que ; le modèle de Markov Caché (HMM), les réseaux de neurones, ...

ANNEXE

Annexe

A- 1 Définition d'un signal :

Un signal est une fonction ou de plusieurs variables servant à la transition d'une commande ou d'une information. Ces signaux varient suivant leurs paramètres dont ils dépendent. Le signal constitue le support d'une information.

Suivants leur nature, on peut distinguer plusieurs types de signaux.

A- 2 Classification des signaux :

On peut classer les signaux en deux grandes catégories :

- Les signaux déterministes.
- Les signaux aléatoires.
-

A- 2.1 Les signaux déterministes :

Ils sont définis par les équations mathématiques. Quant aux variations de ces signaux, elles sont définies à chaque instant. Cette catégorie est divisée en deux classes :

- ***Les signaux périodiques***, dont l'amplitude se répète dans les intervalles réguliers.

Les signaux non périodiques, parmi lesquels on retrouve les signaux quasi périodiques et les signaux transitoires.

- ***Les signaux quasi périodiques*** qui sont des signaux composés d'une somme de plusieurs sinusoïdes.
- ***Les signaux transitoires*** sont définis dans un intervalle de temps défini uniquement.

A- 2.2 Les signaux aléatoires :

Un processus aléatoire est un phénomène physique caractérisé par des grandeurs dont les valeurs successives sont gérées par la loi de probabilité. Le phénomène a des évolutions imprévisibles, car un signal aléatoire met en évidence un processus aléatoire. Ce sont des signaux à puissance moyenne finie.

La catégorie des signaux aléatoires se divise en deux classes :

- ***Les signaux stationnaires*** : ce sont des signaux dont les propriétés statistiques sont les mêmes quel que soit l'origine du temps considéré (translation de l'origine du temps).

Annexe

- **Les signaux non stationnaires** : ce sont des signaux pour lesquels l'amplitude a une variation particulière dans un intervalle de temps donnés.

A-3. Définition et différents types de bruit :

Le bruit est un signal indésirable qui masque ou dégrade le signal utile. Il peut être de nature déterministe (prévisible) ou aléatoire (imprévisible).

A-3.1. Bruit déterministe :

Le bruit déterministe est un son. Le son possède des fréquences précises et donc des harmoniques. Du fait qu'il y a des groupes de signaux qui se répètent dans le temps (périodicité), le signal devient prévisible.

A-3.2. Bruit aléatoire :

Le bruit aléatoire n'est pas prévisible. A chaque instant, le signal a une certaine probabilité d'avoir une certaine amplitude. Le bruit de la rue est un bruit aléatoire.

Les caractéristiques du signal observé ont justifié les différentes méthodes étudiées.

A-4. Théorème de Fourier :

Tout fonction continue est décomposable en série de Fourier ;, si de plus cette fonction est périodique, le nombre de décomposition est fini, on peut alors écrire la fonction comme une sommation de sinusoïde.

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + A_2 \sin\left(\frac{4\pi t}{T}\right) + \dots + A_n \sin\left(\frac{2n\pi t}{T}\right)$$

Ou A_i : est le coefficient de la série de Fourier à la fréquence $f_i = \frac{i}{T}$

T : période de la fonction.

Annexe

A-5. Différentes ondelette :

A-5.1. Ondelette chapeau mexicain :

$$\psi(t) = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \pi \frac{-t^2}{2} \right) (1-t^2) e^{-\frac{t^2}{2}}$$

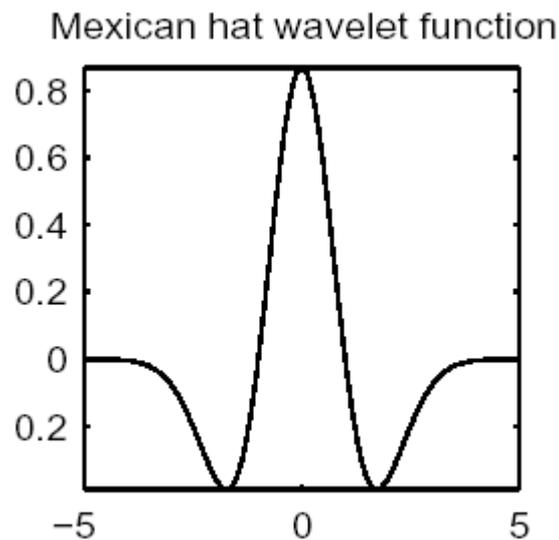


Figure IV.1 : Ondelette Merlet

A-5.2. Ondelette Merlet :

La première famille d'ondelette présentée par J. Morlet est issue de la fonction :

$$\Psi(t) = \exp(-\alpha^2 t^2) \exp(i2\pi f_0 t)$$

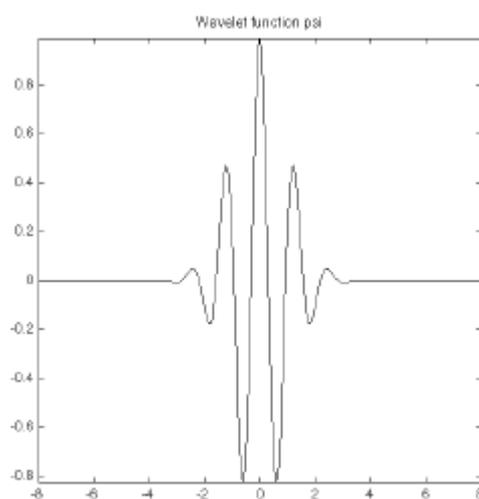


Figure IV.2 : Ondelette Merlet

Annexe

Elle est inspirée du signal élémentaire de Gobar, c'est-à-dire par modulation d'une gaussienne. Depuis, toutes les ondelettes $\Psi(t)$ correspondant à une modulation d'amplitude d'enveloppe $A(t)$ portée par une exponentielle complexe, s'appellent ondelette de type Morlet.

Elle ne satisfait pas rigoureusement à la condition d'admissibilité mais le choix de f_0 et α permet d'approcher cette condition.

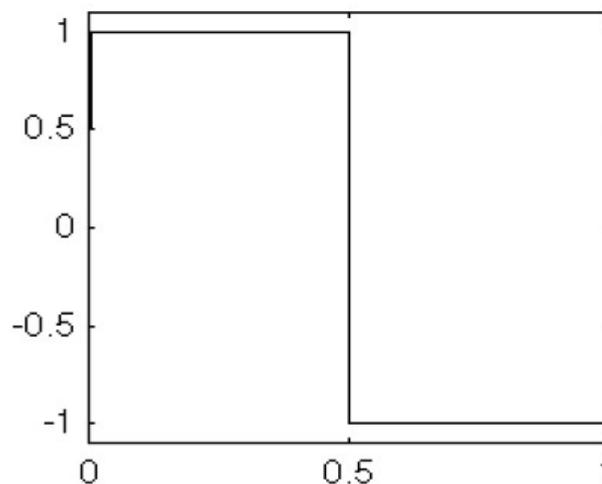
La solution de compromis retenue par Morlet consistait à imposer une valeur faible de $|\Psi(0)|$ tout en ne tolérant qu'un petit nombre d'oscillation, donc f_0 . La famille d'ondelette de Morlet donne un outil remarquable pour l'analyse de signaux. Mais elle est redondante et ne peut en aucun cas conduire à la reconstruction d'une base de $L^2(\mathbb{R})$.

A-5.3. Ondelette de Daubechies :

Inventées par Ingrid Daubechies, l'une des étoiles la plus brillantes de la recherche sur les ondelettes, elles sont appelées « ondelettes ortho-normales à support compact » les noms des ondelettes de ces familles sont écrits dbN, où N est l'ordre, et db le surnom de l'ondelette.

Cette famille inclut l'ondelette de Haar, écrite db1, qui est la plus simple à imaginer et certainement la plus ancienne. Elle est discontinue ; voici les équations et le schéma qui la décrivent :

Figure IV .3 : Ondelette de Haar



Annexe

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi(x) = 1, \text{ si : } 0 \leq x \leq \frac{1}{2}. \\ \Psi(x) = -1, \text{ si : } \frac{1}{2} \leq x \leq 1. \\ \Psi(x) = 0 \text{ si : } x \notin [0,1]. \\ \Phi(x) = 1, \text{ si : } x \in [0,1]. \\ \Phi(x) = 0, \text{ si : } x \notin [0,1]. \end{array} \right.$$

Ou la fonction Φ est appelée fonction d'échelle ou fonction d'interpolation.

A-5.4. Ondelettes de Haar :

Les ondelette de Daubechies n'ont pas d'expressions explicites sauf pour db1 (Haar), définie ci-dessus. Des figures sur les neufs prochains membres de cette famille sont insérés ici :

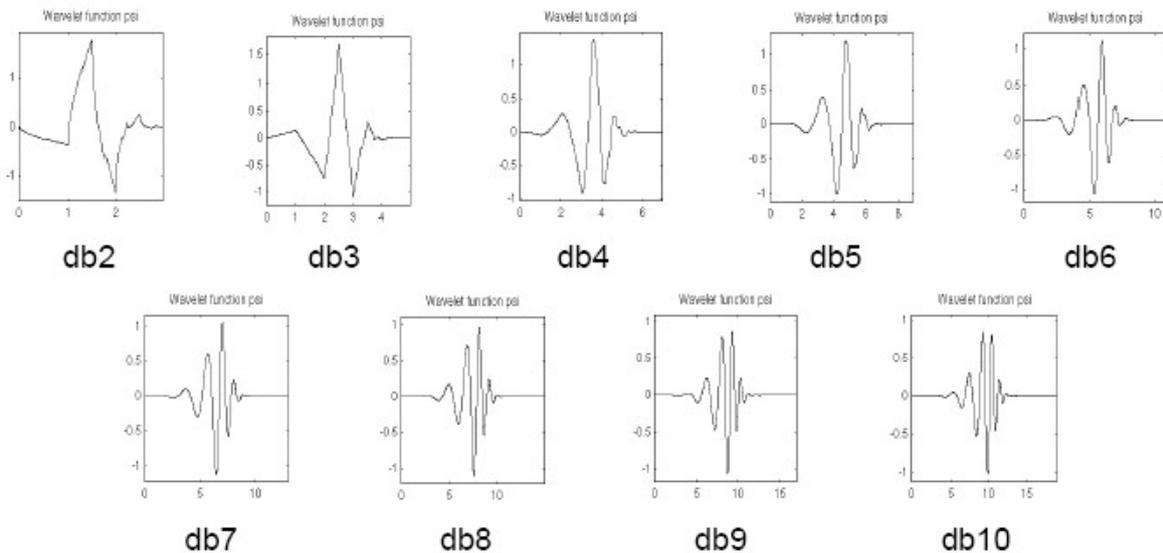


Figure IV.4: Ondelettes de Haar.

Cependant, le carré du module de la fonction de transfert de h est explicite et moyennement simple.

Soit :

$$p(y) = \sum_{K=0}^{N-1} C_K^{N-1+K} \cdot y^K$$

Ou : C_K^{N-1+K} dénote les coefficients binomiales .puis :

Annexe

$$|H(\omega)|^2 = \left(\cos^2 \frac{\omega}{2} \right)^N \cdot p \left(\sin^2 \frac{\omega}{2} \right).$$

Avec :

$$H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{2N-1} h_k \cdot \exp(-jK\omega)$$

La longueur du support de Ψ et Φ est de $2N-1$. Le nombre de moments évanescents de Ψ est N .

La plupart des dbN, n'est pas symétriques. Pour certaines, l'asymétrie est très prononcée. La régularité augmente avec l'ordre. Quand N devient très grand, Ψ et Φ appartiennent à $C^{\mu N}$, dès que μ est approximativement égale à 0,2. Cette valeur asymptotique est certainement trop pessimiste pour un petit ordre N . A noter aussi que les fonctions sont plus régulières en certains points que d'autres.

L'analyse est orthogonale.

A-6. Analyse multirésolution et ondelette :

La première construction de la base orthonormales d'ondelette pour $L^2(\mathbb{R})$ découle de travaux de Y.Meyer .Il découvre qu'en choisissant la fonction analysante Ψ de manière plus précise (a spectre borné, de classe C^a et à décroissance rapide) et en discrétisant les paramètres « a » et « b », ($a = 2^{-j}$, $b = K2^{-j}$), alors :

$$\{\Psi_k^j(t)\}_{j,k \in \mathbb{Z}} = \left\{ 2^{\frac{j}{2}} \Psi(2^j t - k) \right\}_{j,k \in \mathbb{Z}}$$

Forment une base de $L^2(\mathbb{R})$.

La décomposition sur une base d'ondelette orthonormale signifie que le signal est décomposé de manière unique et minimale et que les coefficients $S_{a,b}$ sont indépendants d'autre base ont été proposées. L'une des plus remarquables est découverte par Ingrid Daubechies à été effectuée dans le cadre de la construction des bases d'ondelettes à support compact, de façon à ne mettre en jeu d'un nombre fini de coefficients dans les filtres associés .La théorie des ondelettes se développe vraiment lorsque S.Mallat propose un algorithme rapide pour le calcul des coefficients d'ondelettes. Son algorithme pyramidal introduit dans les années 70 pour la décomposition en sous-bandes. Il a montré que la théorie des ondelettes s'intègre dans la notion « d'analyse multirésolution ». Celle-ci se formalise à partir de l'idée intuitive selon

Annexe

laquelle tout signal peut être construit par raffinements successifs c'est-à-dire par l'ajout de détails à une approximation, et l'itération.

ABRÉVIATIONS :

TFCT : Transformée de Fourier à Court Terme.

LPC : Linear Predictive Coding

Le Cepstre : (spec⁻¹)tre

MFCC: Mel Frequency Coefficient Cepstral

AR : Auto-Régressif.

T.F : La Transformée Fourier.

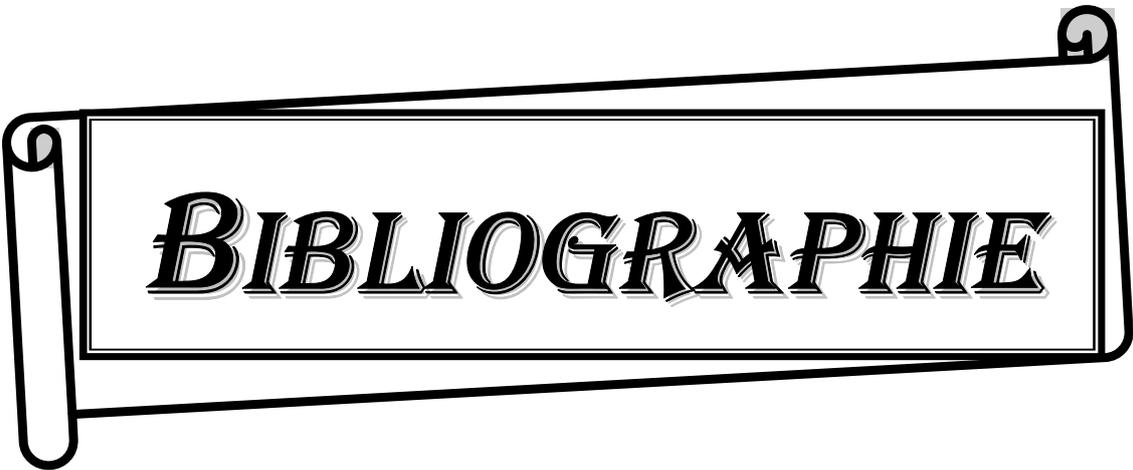
T.O : Transformée en Ondelette.

T.F.F.G : Transformée de Fourier à Fenêtre Glissante.

DOT : Transformée en Ondelette Discrète.

TOC : Transformée en Ondelette Continue.

Le Cepstre (spec⁻¹)tre Spectre temporel (anagramme de mot « spectre »).



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **BAAHMED DJAMILA, IDRES FARIDA** : «Application la transformée en ondelette au débruitege du signal EGG ».Thèse d'ingénieur en électronique UMMTO 2005/2006.
- [2] **R. HAMMOUM** « traitement du signal non stationnaire par la transformée en ondelette ». Thèse d'ingénieur en électronique UMMTO 2001/2002.
- [3] **A. TABTI** : « filtrage de signal CARDIAQUES par l a transformée en ondelette ». Thèse d'ingénieur en électronique UMMTO 2001/2002.
- [4] **H. TAHI, M. SLAMANI** : «Application la transformée en ondelette au signal Cardiographie » .Thèse d'ingénieur en électronique UMMTO.2001/2002.
- [5] **ANDRE QUINQUIS**, « traitement du signal sous MATLAB » MARS 2000.
- [6] **GERARD BLANCHET, MAURICE CHARBIT** : « traitement numérique du signal simulation sous Matlab » Avril 1998.
- [7] **LAURENT BUNIET** : « Traitement automatique de la parole en milieu bruité : étude de modèles connexionnistes statiques et dynamiques » THÈSE de Doctorat de l'Université Henri Poincaré - Nancy 1 en informatique.
- [8] **THIERRY DUTOIT** : « Introduction au Traitement Automatique de la Parole » Faculté Polytechnique de Mons, Mai 2000.
- [9] **MATLAB 5.3**: « The language of computing fichier pdf (wevelet).
- [10] WWW.GOOGLE.FR Moteur de Recherche.
- [11] WWW.KARTOO.COM. Moteur de Recherche.
- [12] WWW.WEVELET.ORG.
- [13] WWW.ONDELETTE.COM.
- [14] WWW.MATHWORKS.COM/WEVELET.