

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministre de l'Enseignement supérieure et de la recherche scientifique  
Université Saad Dahleb Blida 1

Institut d'Aéronautique et des Études spatiales

Département Études spatiale



Mémoire de master  
Domaine : Science et

Technologie

Filière : aéronautique et  
études spatiales

Spécialité : télécommunication spatiale

**Présenté par :**

Bouaoud Amine

Zermane Ihab Eddine

**Thème**

**Étude et réalisation d'un anémomètre  
sans capteur spécifique**

**Encadré par :**

Mme Chaggaga Nawel

Année Universitaire : 2018 /2019

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui.

Que dieux vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur.

A ma chère sœur

Pour ses encouragements permanents, et son soutien moral

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

À tous mes amis

Qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire

A toute la promotion 2014 de l'institut d'aéronautique de Blida en particulier la première promo de la spécialité télécommunication spéciale.

**Amine**

# Remerciement

Tout d'abord, je tiens à remercier le bon Dieu le tout Puissant de nous avoir donnés la force et le courage de mener à bien ce modeste travail,

également nous remercions infiniment nos parents, qui nous ont encouragés et aidés à arriver à ce stade de notre formation.

Nos remerciements vivement vont au notre encadreur le docteur **Mme CHAGGAGA NAWEL** pour nous avoir guidé pour la réalisation de ce projet

Merci pour votre indéfectible disponibilité, votre rigueur scientifique et la confiance que vous nous avez accordées au cours de l'élaboration de ce mémoire, merci pour l'acuité de vos critiques et pour vos conseils éclairés.

Veillez trouver dans ces pages une infime partie de nos infinies reconnaissances.

Nous remercions également les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nous remercions tous les enseignants qui ont contribués à notre formation.

# Dédicace

Ce modeste travail est d'abord dédié à mes parents

Mon père

Qui est pour moi un exemple et un modèle à suivre. Sans lui, je ne serais jamais arrivé ici.

Ma mère

Ma douce et tendre mère. Quoi que je fasse, je ne peux pas vous rendre ce que vous avez fait pour moi. Si je suis arrivé ici, c'est grâce à vous.

Puisse Allah vous donner tout les deux la vie longue et vous protéger pour moi.

Mes deux frères, Akram et Hocine, je vous remercie de tous les encouragements que vous m'avez prodigués pendant toutes ces années.

À tous mes amis les plus proches, Amina, mon binôme Amine, Chouaib, Alla, Adel... ..

Je dédie ce modeste travail à tous mes professeurs, à tous mes collègues de l'Institut d'Aéronautique et des études spatiales.

**IHAB EDDINE**

# Liste des abréviations

ACC : anémomètre à courant constant.

AVC : anémomètre à voltage constant.

ATC : anémomètre à température constante.

MLI : modulation de largeur d'impulsion.

FFT : transformateur Fourier rapide.

DSP : densité spectrale de puissance.

TOR : tout ou rien.

# Table des matières

<b>Introduction Générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Généralités sur les microphones</b>	<b>3</b>
1.1 Microphone . . . . .	4
1.2 Les caractéristiques du microphone . . . . .	4
1.2.1 La courbe de repense . . . . .	4
1.2.2 La directivité . . . . .	5
1.2.3 La sensibilité . . . . .	6
1.2.4 Impédance et adaptation . . . . .	7
1.3 Les différents principes des transducteurs électroacoustiques . . . . .	7
1.3.1 microphone électrodynamique : (à bobine mobile) . . . . .	7
1.3.2 Le microphone dynamique à ruban . . . . .	9
1.3.3 Le microphone électrostatique à condensateur . . . . .	10
1.3.4 Microphone électrostatique à électret . . . . .	11
1.3.5 Microphone piézo-électrique . . . . .	12
1.4 Conclusion . . . . .	14
<b>2 généralité sur les anémomètres.</b>	<b>15</b>
2.1 Définition d'anémomètre . . . . .	16
2.2 Principe de fonctionnement . . . . .	16
2.3 Type d'anémomètre . . . . .	16
2.3.1 Anémomètre à fil chaud . . . . .	17
2.3.2 Anémomètre à coupelle . . . . .	19
2.3.3 Anémomètre à ultrason . . . . .	21
2.3.4 Anémomètre à hélice . . . . .	22

---

2.3.5	Anémomètre à laser . . . . .	23
2.3.6	Anémomètre à ailette . . . . .	25
2.4	Conclusion . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Résultats du traitement du signal élaborés sur les fichiers audio</b>	<b>27</b>
3.1	Environnement matériel et logiciels . . . . .	28
3.2	la lecture d'un fichier audio . . . . .	28
3.3	Traitement du signal des fichiers audio . . . . .	30
3.3.1	L'analyse temporelle . . . . .	30
3.3.2	L'analyse fréquentielle . . . . .	35
3.3.3	Densité spectrale de puissance (DSP) . . . . .	41
3.3.4	Filtrage du signal . . . . .	48
3.4	Conclusion . . . . .	57
<b>4</b>	<b>Réalisation du capteur virtuel</b>	<b>58</b>
4.1	Synoptique du capteur virtuel . . . . .	59
4.1.1	Le capteur . . . . .	60
4.1.2	conditionneur (Pont de wheatstone) . . . . .	63
4.1.3	Amplificateurs différentiel . . . . .	64
4.1.4	Le filtre . . . . .	65
4.2	Conclusion . . . . .	68
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>69</b>

# Table des figures

1.1	schéma démonstratif des composantes d'un microphone. . . . .	5
1.3	exemple de micro à bobine mobile. . . . .	8
1.2	Schéma de principe d'un micro à bobine mobile[4] . . . . .	8
1.4	Schéma de principe d'un micro à ruban[5]. . . . .	9
1.5	exemple de micro à ruban . . . . .	9
1.6	Schéma de principe d'un micro électrostatique à condensateur[5]. . . . .	10
1.7	Schéma de principe d'un micro électrostatique à électret[3]. . . . .	11
1.8	exemple de micro électrostatique à électret. . . . .	12
1.9	Schéma de principe d'un micro piézo-électrique. . . . .	13
2.1	exemple pour les anémomètres à vitesse . . . . .	17
2.2	schéma montre la composition d'un anémomètre à fil chaud[7] . . . . .	18
2.3	deux exemples sur un anémomètre à fil chaud[7] . . . . .	19
2.4	deux exemples sur un anémomètre à coupelle[9] . . . . .	20
2.5	schéma de principe de fonctionnement . . . . .	21
2.6	deux exemples sur un anémomètre à ultrason[7]. . . . .	22
2.7	des exemples sur un anémomètre à hélice[9]. . . . .	23
2.8	Configuration générale d'un anémomètre laser[9]. . . . .	24
2.9	exemple sur un anémomètre à laser[9]. . . . .	24
2.10	exemple sur un anémomètre à ailette[9]. . . . .	25
3.1	représentation temporelle d'un fichier audio à l'aide du logiciel praat. . . . .	29
3.2	capture d'écran montre la commande de la conversion du fichier audio avec logiciel praat. . . . .	29
3.3	représentation temporelle des fichiers audio. . . . .	31
3.4	représentations temporelle des fichiers audio. . . . .	32



---

3.5	représentations temporelle des fichiers « audio brt » complet. . . . .	33
3.6	représentations temporelle du fichier « audio brt » après découpage. . . . .	33
3.7	représentations temporelle du fichier « audio brt » après découpage. . . . .	34
3.8	représentations temporelle du fichier « audio » complet. . . . .	34
3.9	représentations temporelle des fichiers « audio1 » et « audio2 » découpés du fichier audio complet. . . . .	35
3.10	représentations temporelle et spectrale du fichier vent1. . . . .	36
3.11	représentations temporelle et spectrale des fichiers . . . . .	37
3.12	représentations temporelle et spectrale du fichier vent des feuilles arbres. . .	38
3.13	représentations temporelle et spectrale du fichier « audio » complet. . . . .	38
3.14	représentations temporelle et spectrale du fichier « audio1 ». . . . .	39
3.15	représentations temporelle et spectrale du fichier « audio2 ». . . . .	39
3.16	représentations temporelle et spectrale des fichiers . . . . .	40
3.17	représentation temporelle avec le spectres de densité qui correspond au fichier « audio » . . . . .	42
3.18	représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond aux fi- chiers « audio1, audio2 » . . . . .	43
3.19	représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond aux fi- chier « audio brt ». . . . .	44
3.20	représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond fichier « audio brt1 » . . . . .	44
3.21	représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond aux fi- chiers « audio brt2, audio brt3 » . . . . .	45
3.22	représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond aux même fichiers. . . . .	46
3.23	représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond aux même fichiers. . . . .	47
3.24	Représentations temporelle des fichiers découpées avant et après filtrage avec fréquence de coupure spécifique. . . . .	50
3.25	Représentations temporelle des fichiers découpées avant et après filtrage avec fréquence de coupure spécifique. . . . .	51
3.26	Représentations temporelle des fichiers découpées avant et après filtrage avec fréquence de coupure de $f_p=200$ . . . . .	52

---

3.27 Représentations temporelle des fichiers découpées avant et après filtrage avec fréquence de coupure de $f_p=200$ . . . . .	53
3.28 Spectre des fichier « audio1 et audio2 » avant et après filtrage. . . . .	54
3.29 Spectre du fichier « audio brt1 et brt2 » avant et après le filtrage. . . . .	55
3.30 Spectre du fichier « audio brt3 » avant et après filtrage. . . . .	56
4.1 Schéma synoptique montre les différents blocs d'un capteur virtuel . . . . .	59
4.2 circuit du capteur virtuel réalisé sur simscape MATLAB . . . . .	60
4.3 montage du pont de wheatstone. . . . .	63
4.4 montage de l'amplificateur . . . . .	65
4.5 montage du filtre . . . . .	66

# Introduction Générale

Le concept de télécommunication englobe toutes les formes de communication à distance, c'est une technique qui consiste à la transmission d'une information d'un point à un autre sous forme d'un signal.

Il est clair que les innovations technologiques dans la télécommunication en général ne se sont jamais arrêtées, et que les domaines de la télécommunication deviennent plus vastes, en particulier la télécommunication spatiale est indispensable de nos jours, car elle couvre tous les domaines dans la vie des gens.

La télécommunication spatiale est basée sur la transmission des signaux depuis des stations terrestres vers les satellites, ses signaux transmis peuvent subir des interférences atmosphériques comme les ions produits dans la couche ionosphère, aussi ils peuvent être influencés par des phénomènes naturels tel que les rayons solaires et le vent.

Parmi ces phénomènes les chercheurs ont toujours penser a étudié le comportement du vent qui nous entour afin de déterminer les caractéristiques du vent comme la pression, la direction et la vitesse qui peuvent être utilisé dans différents domaines tel que la météorologie, la marine, l'aviation, cela à pousser **Léon Battista Alberti** au 14<sup>ème</sup> siècle a inventé le premier anémomètre qui permet de mesure la vitesse du vent [1].

Au cours des années et des siècles, les anémomètres ont subis des améliorations remarquables pour arriver à des modèles plus développés comme les anémomètres a coupelles ,anémomètre a fil chaud...etc, mais ces instruments sont montées à base de capteurs spécifiques, cela rend la réalisation des anémomètres compliqué, donc ils seront chère et pas a la porte de tous le monde.

Pour remédier à ces problèmes de réalisation et de maintenance très couteuse, et rendre les anémomètres disponibles est facile a utiliser, ceci nous a donné une idée de pensé à réaliser un anémomètre sans capteur spécifique, seulement on utilisant un microphone pour enregistrer le son du vent et on traite ces enregistrement pour déterminer sa vitesse .

La question qui se pose est-ce que cette hypothèse est faisable ? Pour répondre à cette question, on a consacré notre travail dans ce projet sur le traitement des signaux des enregistrements du bruissement du vent, afin de trouver une caractérisation acoustique qui varie en fonction de la vitesse du vent.

### **Cadre du travail :**

Ce travail porte sur l'application des techniques du traitement du signal sur des enregistrements des sons du vent bruité dans la nature. Afin de pouvoir obtenir une caractérisation acoustique pour identifier le son du vent et utiliser cette caractérisation dans la détermination de la vitesse du vent.

### **Organisation du mémoire :**

On aborde dans **chapitre I** des généralités sur les microphones dans des différents systèmes. Nous indiquerons Les différents modèles avec leurs différentes caractéristiques tel que la directivité, la sensibilité, aussi que leurs domaines d'utilisation.

**chapitre II** porte sur des généralités sur les anémomètres, tout en donnant une définition pour cet instrument de mesure avec une explication sur son principe de fonctionnement suivi par ses différents types comme l'anémomètre à fil chaud, baromètre à coupelle...etc.

**Le chapitre III** présente l'étape du traitement du signal sur MATLAB pour les enregistrements des bruissements du vent. On s'intéresse dans ce chapitre à faire des enregistrements on utilisant un microphone, ensuite on traite ces enregistrements, pour obtenir la caractérisation acoustique du vent qui sera utilisé dans le chapitre consacré au développement du capteur virtuel.

**Le chapitre IV** a pour but de finaliser le travail par un capteur virtuel qui permet d'afficher la vitesse du vent en nœud.

# Chapitre 1

## Généralités sur les microphones

---

Depuis des années les chercheurs ont toujours essayé de trouver un moyen qui permet de capter des sons et les transmettre à des distances importantes ou les enregistrer. Ce besoin a poussé **Émile Berliner** à inventé le premier microphone le 4 mars 1877 [2] qui était destiné uniquement pour la communication téléphonique, mais cette invention revient à **Alexander Graham Bell** qui a rendu le microphone réellement utilisable. Après des dizaines d'années de développement cette technologie est enfin arrivée à pouvoir capter la musique instrumentale. Des changements ont été apportés à cet appareil au cours des années suivantes afin d'obtenir un matériel qui réponds à tous les besoins.

---

## 1.1 Microphone

Le mot "microphone" est composé de deux parties Mikros ça veut dire petit et phone signifie voix [3]. Ce dispositif permet la traduction des vibrations sonores dans l'air en signaux électriques ou les transcrire sur un support d'enregistrement, le système de ce capteur analogique est généralement constitué de membranes très sensible, dont les vibrations sont transmises à une armature métallique fixe reliée par un fil ou une antenne à un amplificateur.

## 1.2 Les caractéristiques du microphone

Le microphone est représenté par trois parties  $A$ ,  $B$  et  $C$  dont  $A$  est l'élément transducteur qui permet la transformation d'énergie,  $B$  est le boîtier de microphone qui désigne la forme du microphone et la partie  $C$  est composé d'un générateur et sa résistance interne  $R_i$ . La conception ou le choix d'un microphone dépend de certaines caractéristiques techniques principales qui déterminent sa qualité.

D'abord il faut examiner la courbe de réponse et la directivité, pour ensuite regarder la sensibilité et l'impédance et l'adaptation.

### 1.2.1 La courbe de repense

Appelé également bande passante, elle est utile pour connaître la linéarité ainsi que la plage de fréquence pour laquelle un microphone délivre un signal électrique, pour cela la bande de fréquence doit être la plus large possible et dans l'absolu la plus linéaire, ainsi que la courbe soit uniforme sur l'ensemble du spectre audible. Les renseignements fournis par la courbe aide au choix de microphone et permet de connaître l'emplacement de ce dernier par rapport à la source sonore.

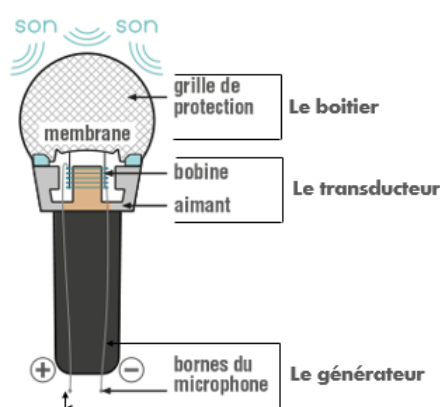


FIGURE 1.1 – schéma démonstratif des composantes d'un microphone.

### Remarque :

Pour connaître la plage de fréquence qui peut transiter.

## 1.2.2 La directivité

Tous les microphones ne captent pas le son de la même manière. Donc La directivité est l'un des principales caractéristiques qui correspond à la manière dont le microphone réagit aux sons provenant de différentes directions. Ceci est déterminé par la forme de conception de cet appareil, certains reçoivent les sons dans la même direction du pointage du capteur d'autres les capture de plusieurs directions.

En général on peut dire que la sensibilité d'un microphone d'où provient le son est définie par sa directivité qui sert à déterminer leur utilisation, c'est l'angle d'incidence d'une onde acoustique.

A l'aide des diagrammes polaires on peut représenter la directivité de chaque microphone et connaître la sensibilité du microphone. On a déterminé quelques types de directivité :

- **Le micro bidirectionnel : capteur à gradient de pression :**

Les microphones captent le son de deux directions opposées en forme de 8 c'est-à-dire ils sont sensibles aux sons qui viennent de l'avant et de l'arrière de sa membrane avec un angle de  $90^\circ$ . La directivité d'un micro bidirectionnelle sert de capter deux voix en même temps à cause de la bipolarité qui nous aide dans les applications où le signal vient de l'avant et de l'arrière mais par contre il ne reçoit pas les sons venant des côtés. Il est très utilisé dans les interviews ou lors d'enregistrement du podcast. La même caractérisation se trouve dans tous les micros bidirectionnelle est celle du lobe avant et arrière qui ont une polarité opposée ainsi

qu'ils peuvent mesurer la différence de pression à l'avant et à l'arrière pour reconstruire le signal sonore.

Observant le nom de cette directivité on peut imaginer que le micro cardioïde forme un cœur avec son diagramme polaire, il a une directivité vers l'avant, donc les sons provenant de l'arrière de ce micro seront éliminés. Il est très utilisé pour la prise d'instrument, le chant et dans le home studio. Leur utilisation est simple parce que ce microphone reçoit seulement les sons provenant de l'avant donc on peut facilement éviter les sources sonores qu'on ne veut pas enregistrer. Sa forme est indépendante des autres directivités mais en réalité c'est une combinaison des deux précédentes directivités où il est obtenu par manière électrique par l'addition des deux tensions de sorties.

- **Directivité super cardioïde et hyper cardioïde :**

Ces microphones sont tout simplement des variations de la directivité cardioïde ou on peut dire dans un cas particulier de la dernière directivité son principe est similaire au cardioïde mais il a une zone avant un peu plus étroite qui permet une sensibilité restreinte et un petit lobe arrière donc on retrouve plus de sensibilité vers l'arrière. Comme pour les cardioïdes les super cardioïdes et hyper cardioïdes sont obtenus par combinaison d'une réponse omnidirectionnelle et bidirectionnelle.

- **Directivité canon :**

Il s'agit de microphone de forte directivité vers l'avant et très sélective plus grand que les super cardioïdes et hyper cardioïdes. Ils sont destinés vers les utilisations en cinéma.

### 1.2.3 La sensibilité

La sensibilité en pression d'un microphone c'est le rapport entre la tension de sortie et la pression acoustique ambiante à une fréquence généralement de 1KHz. Elle est donnée soit en Volt par Pascal V/Pa ou mV/Pa ou V / mbar ou encore mV /  $\mu$ bar, soit en décibels qui nécessite une pression référence[4].

La sensibilité de micro doit être mesurée dans un champ libre, soit un espace qui ne possède pas des réflexions sonores pour obtenir une pression acoustique définie et constante à l'aide d'un sonomètre, puis on utilise un amplificateur pour mesurer la tension alternative de sortie à vide de ce microphone.



D'après la dernière définition, plus la sensibilité du microphone est faible moins le micro est sensible, aussi elle est variable selon les modèles des micros.

### 1.2.4 Impédance et adaptation

L'impédance du microphone est la valeur d'un dipôle linéaire fictif, qui détermine la façon dont évoluent la tension à ses bornes et le courant qui la traversent en fonction de la façon dont elle est chargée appelé par la résistance interne qui est propre au système de transduction. Son unité est l'Ohm. Cette impédance interne affecte sur le rendement du microphone. Donc il faut que l'impédance interne soit adaptée pour un meilleur rendement. L'impédance est inévitable et c'est une caractéristique très importante du microphone. Habituellement on classe les microphones selon leur impédance :

- **Les microphones à haute impédance :**

Les microphones à haute impédance : Ces microphones ont des impédances environ les 20 KOhm jusqu'à 50 KOhm, ils s'appellent « amateurs » aussi ils provoquent des pertes importantes dont l'utilisation des fréquences élevées. Ce type de microphone accorde seulement des câbles de liaison très courts environ 3 à 4 mètres[5].

- **Les microphones à basse impédance :**

On les appelle des microphones professionnels dont l'impédance est moins de 600 Ohm, ils admettent des câbles de liaison très grandes longueurs supérieur à 100 mètres.

## 1.3 Les différents principes des transducteurs électroacoustiques

### 1.3.1 microphone électrodynamique : (à bobine mobile)

C'est les micros les plus faciles à réaliser et aussi les plus simples dans son fonctionnement. Le microphone dit électrodynamique ou à bobine mobile est constituée d'un diaphragme très mince appelé la membrane qui est solidaire d'une bobine mobile formée de fils de cuivre qui se déplace dans l'entrefer d'un aimant permanent puissant avec les effets des ondes de succession de pression et de dépression. La membrane se déplace va et vient autour de sa



FIGURE 1.3 – exemple de micro à bobine mobile.

position d'équilibre. L'apparition d'une tension électromotrice est provoqué par le son qui a faire vibré la membrane et anime donc sa bobine solidaire d'un mouvement oscillant. A cause de cette oscillation le courant induit change le sens donc le signal de tension généré est alternatif.

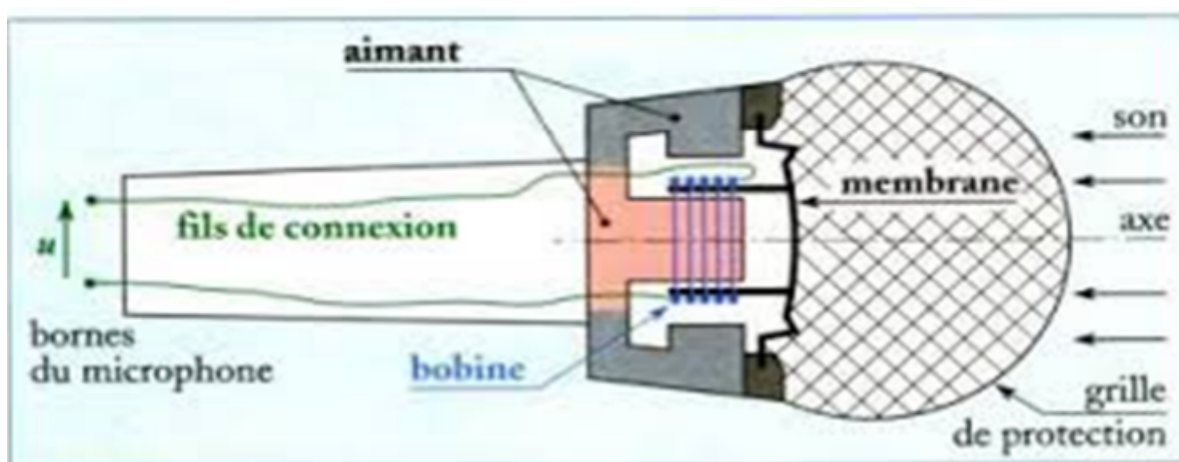


FIGURE 1.2 – Schéma de principe d'un micro à bobine mobile[4]

Ce type de micro est un micro omnidirectionnel, sa sensibilité est faible, sa courbe de réponse est bonne, peu sensible au vent mais sensible aux vibrations. Ces micros ne craignent pas non plus l'humidité, fidèle, stable, robuste. C'est le microphone idéal pour les reportages, il peu être mis pratiquement pour toutes les sauces.

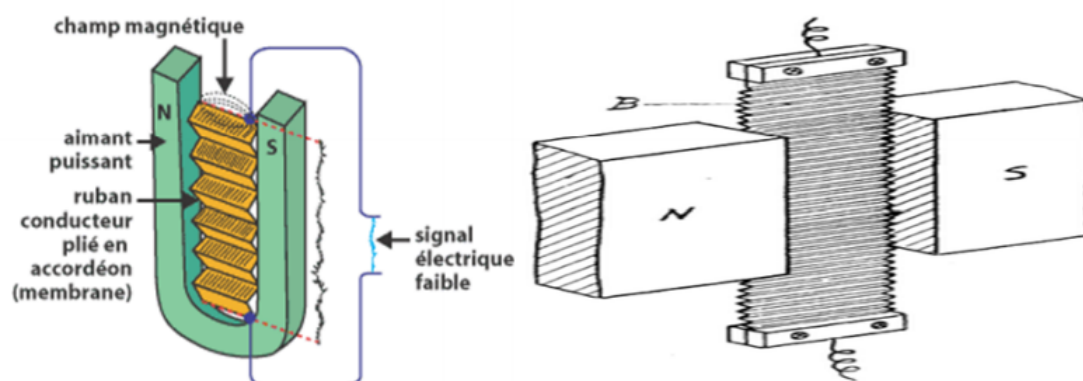


FIGURE 1.4 – Schéma de principe d'un micro à ruban[5].

### 1.3.2 Le microphone dynamique à ruban

Les microphones à ruban constituent un autre type de microphone électrodynamique, différent cependant des micros à bobine mobile, il est composé d'un ruban métallique conducteur très léger, souvent ondulé qui remplace la membrane. Le ruban est suspendu entre les pièces polaires d'un puissant aimant permanent fixe. Il fonctionne comme le microphone à bobine mobile, mais avec l'avantage de la légèreté de la partie mobile. Le pliage de ruban en accordéon augmente sa longueur, donc augmente la tension induite aux bornes du micro afin de le brancher aux bornes du primaire d'un transformateur élévateur de tension, situé dans le boîtier de microphone. Ce type de microphone est très fidèle, il peut être bidirectionnel ou hyper cardioïde, sensibilité très faible ce qu'il oblige d'utiliser une pré-amplification. C'est un très bon micro de studio par contre il présente quelques inconvénients parmi lesquels une relative fragilité, une sensibilité aux surpressions acoustique et au vent.



FIGURE 1.5 – exemple de micro à ruban

### 1.3.3 Le microphone électrostatique à condensateur

Les microphones à condensateur sont les plus employés en studio. Ils sont différents des micros à dynamique par ce qu'ils ne mettent pas en jeu un dispositif mobile solidaire d'une bobine. La membrane est un fin disque d'un poids négligeable et tendue fait de métal ou bien de polyester rendu conducteur par une dispersion de métal sur sa surface. Cette membrane est l'une des armatures de condensateur, elle est flottante et située à environ 20 microns d'une armature arrière fixe, ces deux plaques forment l'armature du condensateur. La finesse de cette membrane donne à la bande passante une très grande précision et la rend très sensible aux transitoires.

L'onde acoustique provoque des variations de pression, ces variations servent à changer la distance entre les deux armatures, ces déplacements entraînent une variation de capacité.

Pour fonctionner, ce microphone a besoin d'une polarisation des deux plaques du condensateur par une tension électrique continue et externe de l'ordre de 50V à 60V. Le courant généré ne perturbe en rien la transmission et l'exploitation du signal audio.

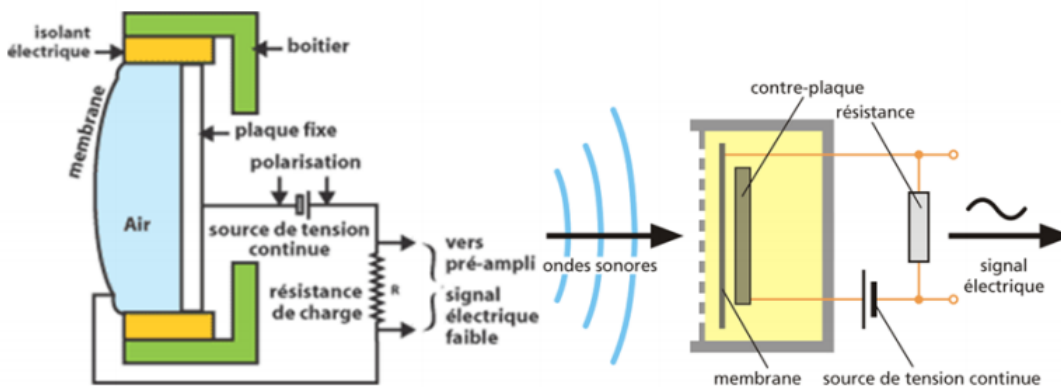


FIGURE 1.6 – Schéma de principe d'un micro électrostatique à condensateur[5].

Ce type de microphone est coûteux, délicat, sensible à l'humidité, peut être réalisé en très petites dimensions, peu sensible aux chocs et aux champs magnétiques externes. Ces micros sont utilisés pour la prise de son en studio qui demande beaucoup de fidélité et par contre il est déconseillé de les utiliser pour la captation des percussions ainsi qu'à l'extérieur sans protéger la membrane du vent.

### 1.3.4 Microphone électrostatique à électret

Ces microphones nous ont donnés des nouvelles formes et plusieurs solutions dans les cas où on veut un petit micro. Ils s'utilisent le même système que les microphones à condensateur et on peut dire que se sont des micros à condensateur, la différence entre eux vient de la charge qui n'est plus fournie par une alimentation extérieur parce que ce micro n'ayant pas besoin d'une polarisation aussi élevé pour fonctionner. En effet, il est traité dès sa production à l'usine pour être chargé en permanence avec un composant à polarisation permanente qu'il s'appelle électret. Certain plastique sert à conserver une certaine polarisation, donc c'est pour ça on chauffe lors de la fabrication l'électret à 200 jusqu'à 300 degré Celsius dans une étuve, puis on envoie une charge électrique à le condensateur. En refroidissant brusquement, l'électret garde sa charge pendant 25 à 30 ans [3].

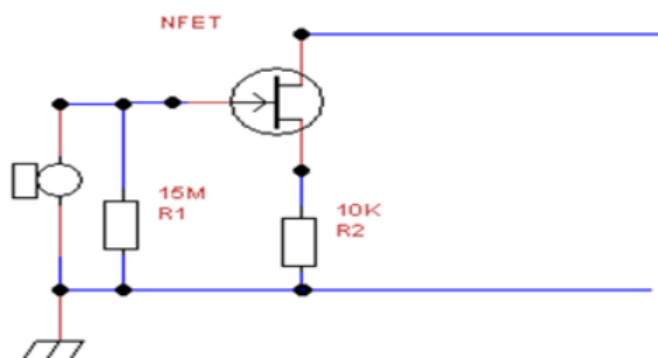


FIGURE 1.7 – Schéma de principe d'un micro électrostatique à électret[3].

Ces microphones ont permis la miniaturisation et généralement moins onéreux que les autres. Ils produisent plus de souffle et leurs charge atténuée avec le temps, ce qu'il les rend de moins en moins efficaces.



FIGURE 1.8 – exemple de micro électrostatique à électret.

### 1.3.5 Microphone piézo-électrique

Dans ce type de microphone, la membrane est reliée par une lame de cristal piézo-électrique. L'onde sonore fait vibrer cette plaquette qui est placée entre deux électrodes métalliques jouant le rôle d'armatures de condensateur. Ces vibrations affectent une déformation à la lame qui engendre entre ses deux faces une tension proportionnelle à l'amplitude de déformation. La métallisation des surfaces sert à récupérer cette tension.

Le microphone piézo-électrique a une bonne sensibilité, bande passante très étroite et nous pouvons le construire en petite dimension. Il présente une fidélité satisfaisante, une tension élevé et le souffle très réduit. Il est peu couteux. Leur haute impédance obligeait des câbles courts.

Ce micro est utilisé pour les infra-sons et les ultra-sons, mais pas comme un microphone de studio.

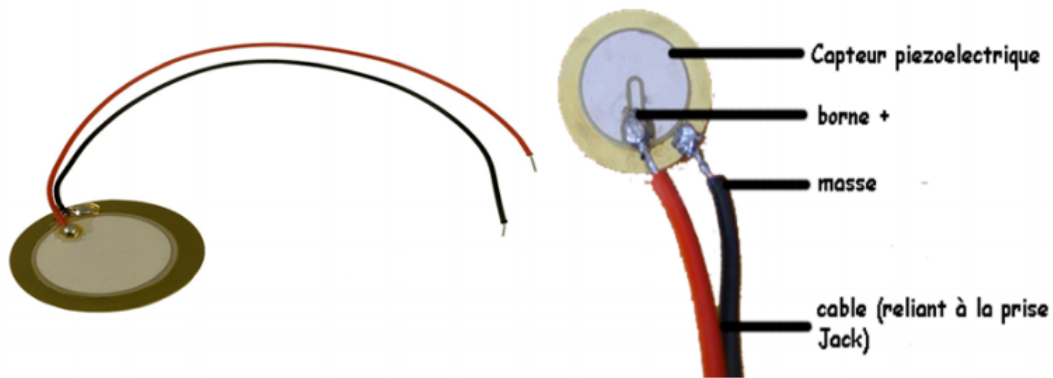


FIGURE 1.9 – Schéma de principe d'un micro piézo-électrique.

---

## 1.4 Conclusion

---

Nous concluons de cette recherche sur les microphones, que ces derniers existent en plusieurs types mais ils ont le même fonctionnement principal comme instrument qui capte des ondes sonores et les transformes en un signal électrique. Ils se diversifient grâce aux différentes caractéristiques comme la directivité, la sensibilité, et la courbe de réponse, donc on a obtenu les qualités que nous cherchons dans le microphone que l'on veut utilisés dans notre étude.

En effet un simple microphone sans filtre, omnidirectionnel peut être utilisé pour nos enregistrements. Ce qui nous permet d'utiliser les microphones intégrés dans les téléphones portables ou PC .Dans notre travail nous allons écouter le son du vent, un son qui a toujours était indésirable a enregistré.

---



# Chapitre 2

## généralité sur les anémomètres.

---

Le vent est un mouvement horizontal de l'air sur la surface de la Terre, sa vitesse est une grandeur importante dans la vie quotidienne. Plusieurs domaines s'intéressent à cette valeur qui peut servir à donner des informations dans différents domaines météorologiques, transport, agronomie, architecture, énergie, . . .

Le vent peut être défini par sa direction (le plus souvent son origine), et par sa vitesse exprimée en (nœuds, kilomètre par heure, mètre par seconde...). Cela nécessite l'utilisation de plusieurs techniques pour mesurer ses grandeurs, la girouette pour déterminer la direction. A la présence du vent, la girouette se dirige dans le même sens que le vent, donc on peut distinguer la direction par l'œil ou de manière électronique. La vitesse est déterminée par l'anémomètre qui est notre sujet sur ce chapitre.

---

## 2.1 Définition d'anémomètre

L'anémomètre est un appareil destiné à la mesure de la vitesse du vent donnée en nœuds, km/h, ou m/s ainsi que la pression du vent. Cet un instrument est très important dans le domaine de la météorologie, parce qu'il donne des informations qui seront utiles pour le transport aérien ou à la navigation maritime, et ils sont données en temps réel.

## 2.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement essentiel d'un anémomètre est de calculer la vitesse du vent. Ce dernier possède de différent types qu'ils ont été développés à travers le temps. Pour effectuer des mesures de vitesse, il est préférable de le placer sur un mât de dix mètre selon les critères de l'organisation météorologique mondiale à cause des obstacles qui peuvent perturber l'écoulement de l'air. Mais aussi il est possible d'utiliser des anémomètres à main, sans support pour avoir la valeur de la vitesse en un endroit bien précis[6].

Au début l'anémomètre fonctionnait avec un système basique où la force du vent était estimée à l'aide de l'angle par rapport à la verticale qu'une plaque mobile, tournant autour d'un axe horizontal, adoptait à l'équilibre entre la force du vent et celle de la gravité. Avec les dernières progressions qu'a subit cet instrument, la plupart des anémomètres modernes comprennent un système électronique interne qui calcule le nombre de tours que font les coupelles pendant un temps précis. La vitesse du vent, convertie par l'ordinateur interne, apparaît alors sur l'écran. Plus le vent est fort, plus les coupelles tournent rapidement. On peut également calculer la vitesse du vent de façon mécanique, c'est-à-dire sans avoir recours à un circuit électronique.

## 2.3 Type d'anémomètre

Nous intéressons aux anémomètres à vitesse



FIGURE 2.1 – exemple pour les anémomètres à vitesse

### 2.3.1 Anémomètre à fil chaud

C'est le plus ancien anémomètre qui travaille avec une méthode classique inventé en 1904. C'est l'instrument le plus adapté pour mesurer la vitesse dans des écoulements turbulents, à cause de sa capacité de mesurer la vitesse avec une très forte résolution spatiale et temporelle[7].

En théorie, pour mesurer la vitesse de vent dans le où les écoulements sont turbulents, il s'agit d'un anémomètre qui a une bande passante beaucoup plus grande que la fréquence de fluctuation de l'écoulement. Donc il faut un anémomètre à température constante et à large bande passante.

Les anémomètres thermiques utilisent un fil très fin (de l'ordre de plusieurs micromètres) ou un élément chauffé à une température au-dessus de la température ambiante. Le passage du flux d'air exerce un effet rafraîchissant. Comme la résistance électrique de la plupart des métaux dépend de la température du métal (le tungstène est un choix répandu pour les fils

chauds), un rapport existe donc entre la résistance du fil et la vitesse du flux.

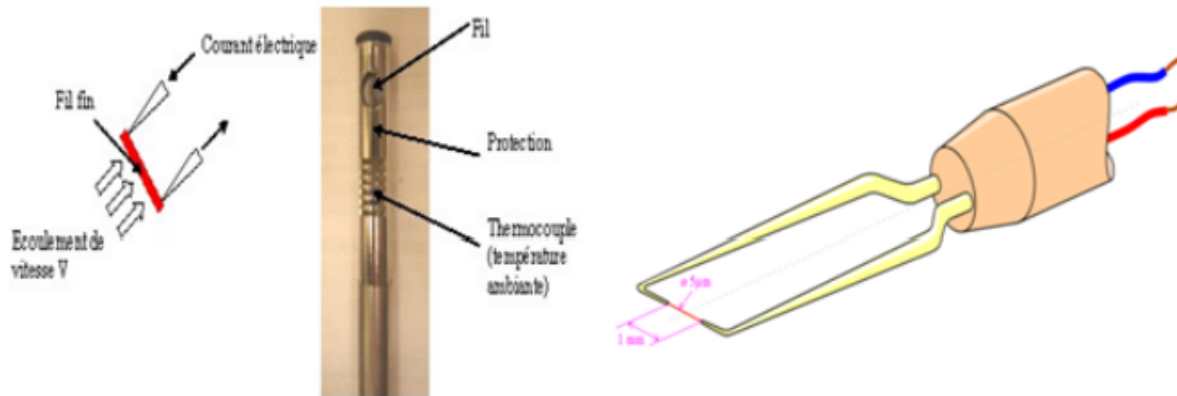


FIGURE 2.2 – schéma montre la composition d'un anémomètre à fil chaud[7]

Plusieurs façons de le mettre en œuvre existent et les appareils à fils chauds peuvent être également classés comme ACC (anémomètre à courant constant), AVC (anémomètre à voltage constant) et ATC (anémomètre à température constante). Le rendement en volts de ces anémomètres résulte donc d'une sorte de circuit au sein de l'appareil essayant de maintenir la variable spécifique constante (le courant, le voltage ou la température)[6]. En outre, les anémomètres MLI (à modulation de largeur d'impulsion) sont également utilisés, lorsque la vitesse est déduite de la durée d'une impulsion de répétition du courant qui apporte le fil jusqu'à une résistance spécifiée, puis s'arrête jusqu'à ce qu'un seuil « plancher » soit atteint, moment où l'impulsion est à nouveau envoyée[8].

Les anémomètres à fil chaud, bien qu'extrêmement délicats, sont dotés d'une réaction extrême à haute fréquence et d'une résolution spatiale fine par rapport à d'autres méthodes de mesure, et en tant que tels sont presque universellement employés pour l'étude détaillée des turbulences ou de tout flux dans lequel des fluctuations rapides sont dignes d'intérêt. Les anémomètres thermiques sont disponibles avec des fonctions supplémentaires comme la mesure de la température et la capacité d'enregistrement des données.



FIGURE 2.3 – deux exemples sur un anémomètre à fil chaud[7]

### 2.3.2 Anémomètre à coupelle

Ce type d'anémomètre est l'un des types simple d'anémomètre. Il se compose de trois à quatre demi-sphères, chacune montée sur l'extrémité des bras horizontaux, qui sont eux-mêmes montés à angle égaux sur un arbre vertical. Le passage horizontal du flux d'air sur les coupelles fait tourner ces dernières proportionnellement à la vitesse du vent. Le décompte des tours effectués par les coupelles sur une période définie calcule donc la vitesse moyenne du vent par rapport à une large gamme de vitesses. Sur un anémomètre à quatre coupelles, il est facile de voir que puisque que les coupelles sont disposées symétriquement à l'extrémité des bras, le creux d'une coupelle se présente toujours au vent et ce dernier souffle sur l'arrière de la coupelle, sur l'extrémité opposée de l'intersection.

Dès le premier anémomètre, le constructeur prétendait à tort que peu importe la taille des coupelles ou la longueur des bras, les coupelles se déplaçaient toujours à un tiers de la vitesse du vent. Ceci fut apparemment confirmé par certaines premières expériences indépendantes, mais c'était loin de la vérité. Il fut ensuite découvert que le véritable rapport entre la vitesse du vent et celle des coupelles, appelé le facteur anémomètre, dépendait des dimensions des coupelles et des bras, et pouvait se situer entre deux et un peu plus de trois. Chaque expérience impliquant un anémomètre devait donc être entièrement refaite.

L'anémomètre à trois coupelles, mis au point par le Canadien John Patterson en 1926,

et les améliorations ultérieures des Américains Brevoort & Joiner en 1935, ont conduit à un modèle linéaire de coupelles doté d'une erreur de 3% . Patterson a découvert que chaque coupelle produisait un couple maximal lorsqu'elle était inclinée à 45 degrés par rapport au débit du vent. L'anémomètre à trois coupelles possédait également un couple plus constant et réagissait plus rapidement aux rafales que l'anémomètre à quatre coupelles[9].

L'anémomètre à trois coupelles fut ensuite modifié par l'Australien **Derek Weston** en 1991, afin de mesurer à la fois la vitesse et la direction du vent. Weston ajouta une étiquette sur une coupelle, qui provoqua l'accélération et le ralentissement de la vitesse de rotation de la coupelle en fonction de l'emplacement de l'étiquette, qu'elle soit dans le sens du vent ou non. Le sens du vent est calculé à partir de ces variations cycliques de la vitesse de la coupelle, tandis que la vitesse du vent est déterminée comme d'habitude à partir de la vitesse moyenne de rotation des coupelles.[9]

Les anémomètres à trois coupelles sont actuellement utilisés comme des standards industriels pour les études d'évaluation des ressources en éoliennes. Le NRG #40C est l'anémomètre à coupelles le plus couramment utilisé à cet effet.



FIGURE 2.4 – deux exemples sur un anémomètre à coupelle[9]

### 2.3.3 Anémomètre à ultrason

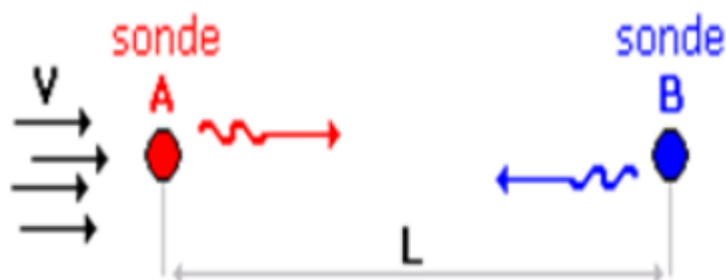


FIGURE 2.5 – schéma de principe de fonctionnement

Ce type a été développé à partir des années 1950[9]. Son principe est basé sur la mesure du déplacement qu'une onde sonore va prendre de l'émetteur vers le récepteur. L'émetteur et le récepteur sont deux couples de transducteurs électroacoustiques communiquent deux à deux par des signaux ultrason et qui travaillent alternativement, pour déterminer les temps de transit des ondes.

Le temps de déplacement est variable selon l'air qui se déplace dans le même sens de l'onde incidente ou le sens inverse. Par l'écart entre les vitesses allées et retour on déduit la vitesse du vent le long de l'axe formé par les deux transducteurs, à l'aide d'un calculateur intégré qui établit le module du vent et sa direction par rapport à un axe de référence. Pour raffiner le résultat on mesure la température ambiante pour déterminer la vitesse du son[8].

Cet anémomètre a une bonne linéarité, robustesse à cause de ses pièces qu'ils ne sont pas en mouvement. L'intérêt de ce type d'anémomètre d'être sensible à détecter des faibles vitesses d'écoulement et de sa capacité à mesurer un vent turbulent.

Ses inconvénients sont situés dans l'encombrement de cet instrument à cause de ses dimensions et aussi la distorsion du flux d'air par les supports des transducteurs.



FIGURE 2.6 – deux exemples sur un anémomètre à ultrason[7].

### 2.3.4 Anémomètre à hélice

Ce type d'anémomètre peut mesurer une vitesse d'écoulement de l'air avec une superbe précision, il la détermine par une mesure de fréquence lié à la rotation de l'hélice. Il a l'avantage d'être très robuste, aussi sa précision aux vitesses d'écoulement moyennes et aux températures ambiantes moyennes.

Parmi les types d'anémomètres moins courants, on trouve des anémomètres constitués de deux hélices tournant autour de deux axes fixes, horizontaux et perpendiculaires. On calcule la force et la direction du vent en corrélant les vitesses de rotation des deux hélices. C'est également le cas sur les éoliennes[8].

Cet instrument a parmi ses inconvénients, la sensibilité aux sollicitations mécaniques et il dépend de la direction ainsi que ses dimensions.





FIGURE 2.7 – des exemples sur un anémomètre à hélice[9].

### 2.3.5 Anémomètre à laser

Depuis de nombreuses années, plusieurs chercheurs s'intéressent à utiliser les techniques d'anémomètre à laser en laboratoire et en soufflerie. Contrairement à l'anémomètre à hélice ou à fil chaud ce type d'anémomètre utilise une technique optique pour déterminer la vitesse de l'air et donc le vent. Un anémomètre laser utilise la vélocimétrie laser pour mesurer le déplacement de l'air et donc le vent. Le faisceau émis par un laser est divisé en deux. Le premier faisceau est dirigé vers l'atmosphère environnante où il est rétrodiffusé par les aérosols

ambiants. Comme ceux-ci sont légers, ils se déplacent plus ou moins exactement à la vitesse du vent et le faisceau retourné subit un décalage de fréquence. Le récepteur capte la lumière retournée et en compare la fréquence avec le second faisceau pour calculer le décalage et donc la vitesse. [10]

Ce type ne présente pas de non-linéarité, il sert à donner des résultats très précis. Cet instrument est très coûteux.

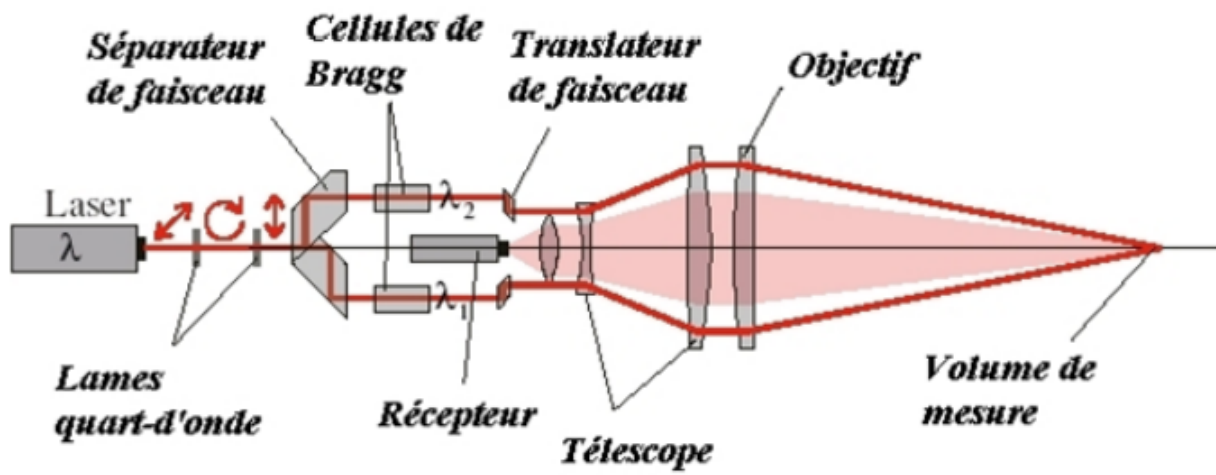


FIGURE 2.8 – Configuration générale d'un anémomètre laser[9].



FIGURE 2.9 – exemple sur un anémomètre à laser[9].

### 2.3.6 Anémomètre à ailette

Des formes d'anémomètres de la vitesse mécanique de rotation peuvent être décrites comme appartenant à la catégorie des appareils à hélice ou à ailettes. Avec ce style d'anémomètre, l'axe de rotation doit être parallèle à la direction du vent et donc généralement horizontal. Dans des espaces ouverts, la direction du vent varie et l'axe doit donc suivre ses changements. Quand la direction du mouvement de l'air est toujours la même, comme dans les axes de ventilation des mines et des bâtiments par exemple, les ailettes, connues sous le nom de compteurs d'air, sont utilisées et donnent des résultats plus satisfaisants. Les anémomètres à ailettes sont disponibles avec des fonctions supplémentaires comme les mesures de température, d'humidité et la capacité d'enregistrement de données[9].



FIGURE 2.10 – exemple sur un anémomètre à ailette[9].

---

## 2.4 Conclusion

---

Dans ce chapitre, nous avons présenté beaucoup de type d'anémomètre, on se basant sur les plus utilisés. Chaque anémomètre fonctionne suivant une technique précise pour déterminer la vitesse du vent, cela nécessite des capteurs de caractéristiques spécifiques est de cout élevés.

On se propose dans ce qui suit de remplacer ces capteurs par un simple microphone et remplacer les techniques par un traitement de signal afin de pouvoir extraire la vitesse du vent à partir des enregistrements du son ou bruit du vent.

---

# Chapitre 3

## Résultats du traitement du signal élaborés sur les fichiers audio

---

Dans ce chapitre nous allons procéder à réaliser un anémomètre sans capteur spécifique, notre capteur sera très usuel et simple comme le microphone d'un téléphone portable ou un microphone d'un ordinateur portable. Nous aurons à apporter les traitements d'un signal audio qui nous permettrons à récolter une caractéristique acoustique de vent variable en fonction de la vitesse du vent.

Dans notre travail nous présenterons les résultats obtenus par des essais que nous avons effectués sur des enregistrements personnels, et d'autres enregistrements téléchargés sur des sites web de bruiteurs. Toutes les représentations temporelles des enregistrements ayant pour axe des  $x$ , le temps est exprimé en seconde.

En initialisant notre travail par la définition des logiciels que nous avons utilisés pour les différents traitements. Nous allons présentés beaucoup de résultats issue de chaque traitement .Nous allons essayés de comparer et d'exploiter les résultats.

Par la suite nous passons au choix des traitements des signaux qui nous permettrons d'atteindre notre objectif.

---

### 3.1 Environnement matériel et logiciels

La conversion des fichiers enregistrés a été réalisée sous un logiciel « Praat ». Ces fichiers sont enregistrés directement sur bureau.

La simulation a été effectuée dans un environnement MATLAB où plusieurs fonctions sont implantées. Les graphes des résultats sont exportés directement sur des documents Word.

### 3.2 la lecture d'un fichier audio

Après avoir effectué des enregistrements de bruissement du vent, et une expiration personnel à l'aide du microphone de portable (Samsung), qui est simple et sans système de filtrage, qui ont données les fichiers suivant : audio, audio brt, expiration.

Nous avons également utilisés d'autres fichiers téléchargés dans des sites des bruiteurs[11][12]. Les fichiers audio obtenus sont en extension « .mp3 », donc il est nécessaire de les convertir en format « .wav » pour pouvoir les analyser sur MATLAB.

Pour cela nous sommes passés par un logiciel « praat » qui peut lire, faire des analyses en temps et en fréquence ainsi la conversion des enregistrements.

En commençant par la lecture de quelques fichiers : vent1 et audio et l'affichage de leur représentation temporelle avec le logiciel « praat », afin de pouvoir les convertir et les enregistrés dans de nouveaux fichiers de format «.wav ».

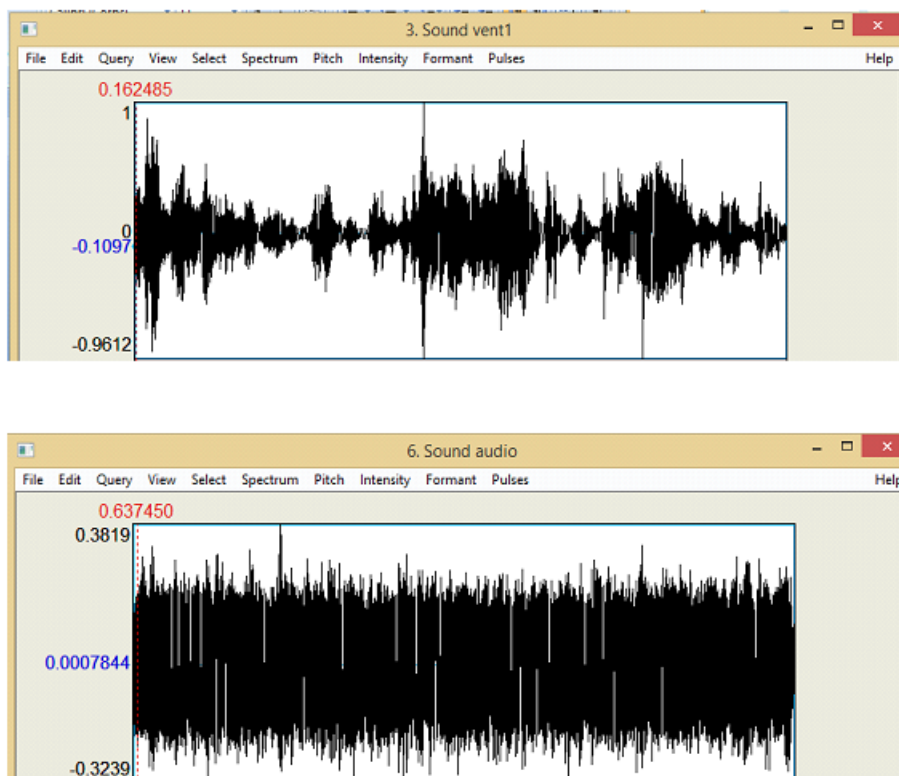


FIGURE 3.1 – représentation temporelle d'un fichier audio à l'aide du logiciel praat.

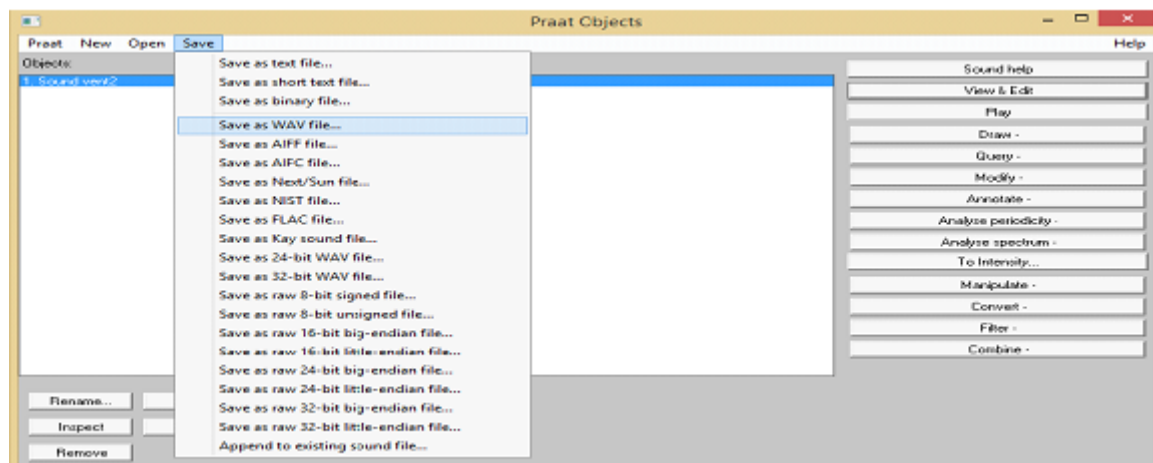


FIGURE 3.2 – capture d'écran montre la commande de la conversion du fichier audio avec logiciel praat.

**Remarque :**

La formule « Save as WAV file » permet d'enregistré l'audio sous format de (fichier.wav).

## 3.3 Traitement du signal des fichiers audio

### 3.3.1 L'analyse temporelle

En passant à l'étape d'analyse dans le domaine temporel sous MATLAB, nous faisons appel à des fonctions et des formules spécifiques afin de pouvoir faire un programme qui permet la lecture et l'affichage du signal à partir du fichier audio (fichier.wav) que nous avons obtenus par la conversion du fichier importer (fichier.mp3).

En commençant avec la fonction « wavread » pour importer le fichier et le lire après avoir choisis la fréquence d'échantillonnage suivant le théorème de Shannon, et pour écouter le son nous avons utilisés la fonction « Sound ». Cette étape permet d'importer le fichier vers MATLAB et de l'écouter.

Nous avons utilisés la fonction « plot » pour représenter le fichier importer comme vecteur, l'axe des x représente la variable temps en (second) et l'axe des y représente les amplitudes en (débit).

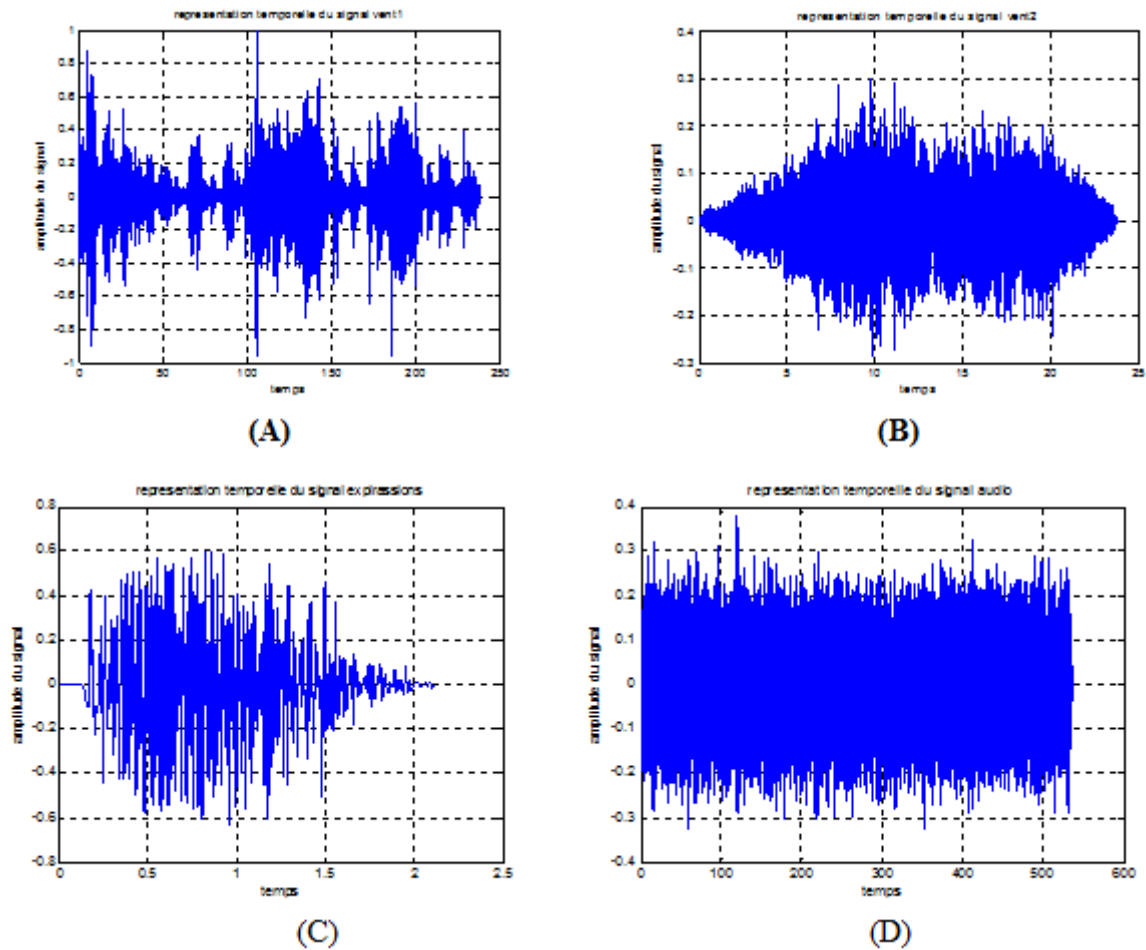
Et voilà le programme qui permet l'analyse temporelle des fichiers à une fréquence d'échantillonnage donnée :

```
x=wavread('fichier.wav'); %fonction pour la lecture d'un fichier audio
sound(x,fs); %formule pour écouté l'audio.
fs=8000; % Fréquence d'échantillonnage
. [L,C]=size(x); %les Dimensions du vecteur
dt=1/fs;
t=0 :dt :(length(x)*dt)-dt;%vecteur de temps
figure(1)
plot(t,x,'b') %la fonction pour tracé le vecteur
grid on;;
xlabel('temps(s)');
ylabel('amplitude du signal');
title('spectre temporelle du signal');
```

Les résultats de différents fichiers obtenus par ce programme sont illustrés dans les figures ((A),(B),(C),(D),(E),(F)) de la figure (3.3) (3.4) , et qui représentent l'évolution de

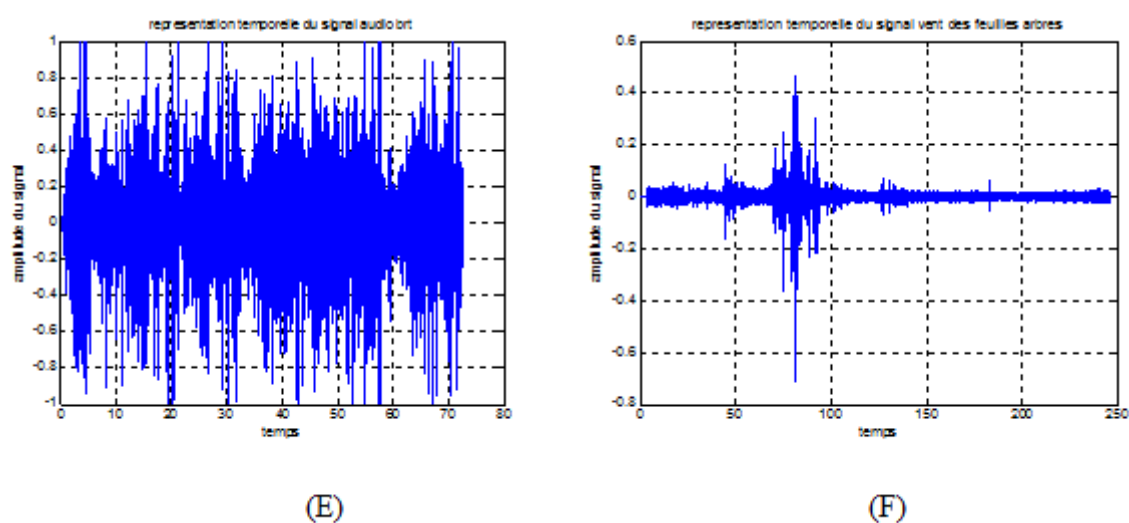


l'amplitude de quelques enregistrements en fonction du temps.



(A) : représentation temporelle du fichier vent1. (B) : représentation temporelle du fichier vent2. (C) : représentation temporelle du fichier expiration. (D) : représentation temporelle du fichier audio.

FIGURE 3.3 – représentation temporelle des fichiers audio.



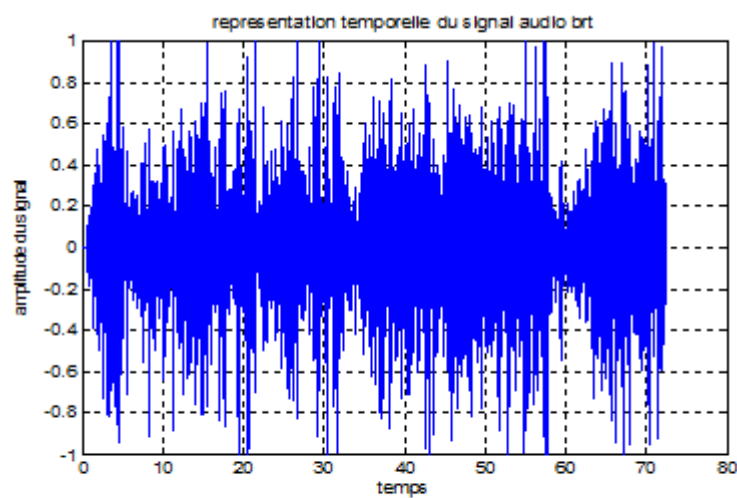
(E) : représentation temporelle du fichier audio brt. (F) : représentation temporelle du fichier vent de feuilles d'arbres.

FIGURE 3.4 – représentations temporelle des fichiers audio.

D'après les figures ci-dessous et l'écoute du son, nous remarquons que les différents signaux sont bruités, et cela rend l'extraction de l'empreinte acoustique du vent compliquée, ce qui nous a obligés de mener d'autres traitements. Afin de garder le son du vent et d'éliminer tout autre son causé par le mouvement des feuilles, ou toute autre son de la nature.

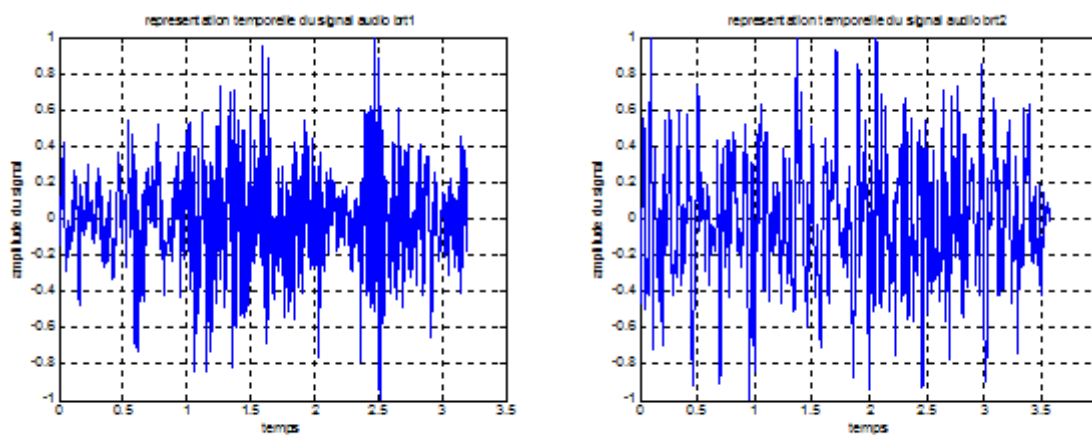
Par la suite nous avons optés de ne pas traiter tous le fichier importé et qui peuvent durer jusqu'à 8 heures, ce qui a permis d'obtenir plusieurs parties d'un même enregistrement, que nous allons nommés comme suit : pour le fichier « audio » nous l'avons découpé en deux parties que nous nommons (audio1, audio2) présenté en figure (3.9) et pour le fichier « audio brt » nous l'avons découpé trois partie (audio brt1, audio brt2, audio brt3) présenté en figure (3.6) (3.7).

Cela a permis aussi de rendre les fichiers moins gourmand en espace mémoire simple à manipuler, et le son plus clair a affiché.



(E)

FIGURE 3.5 – représentations temporelle des fichiers « audio brt » complet.



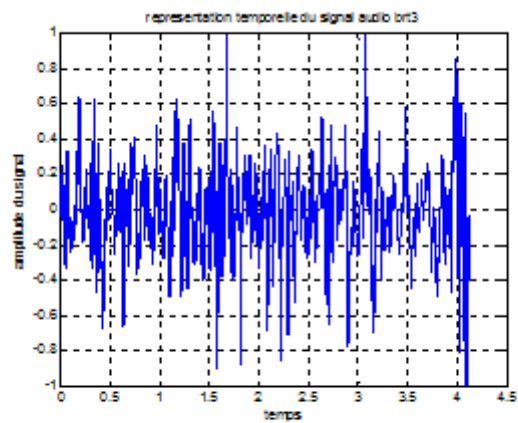
(G)

(H)

(G) : représentation temporelle du fichier audio brt1 découpé du fichier complet «audio brt».

(H) : représentation temporelle du fichier audio brt2 découpé du fichier complet «audio brt».

FIGURE 3.6 – représentations temporelle du fichier « audio brt » après découpage.

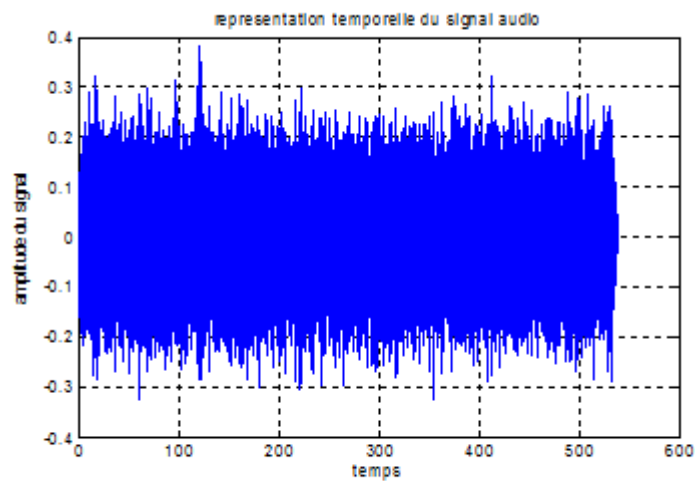


(I)

(I) : représentation temporelle du fichier audio brt3 découpé du fichier complet audio brt.

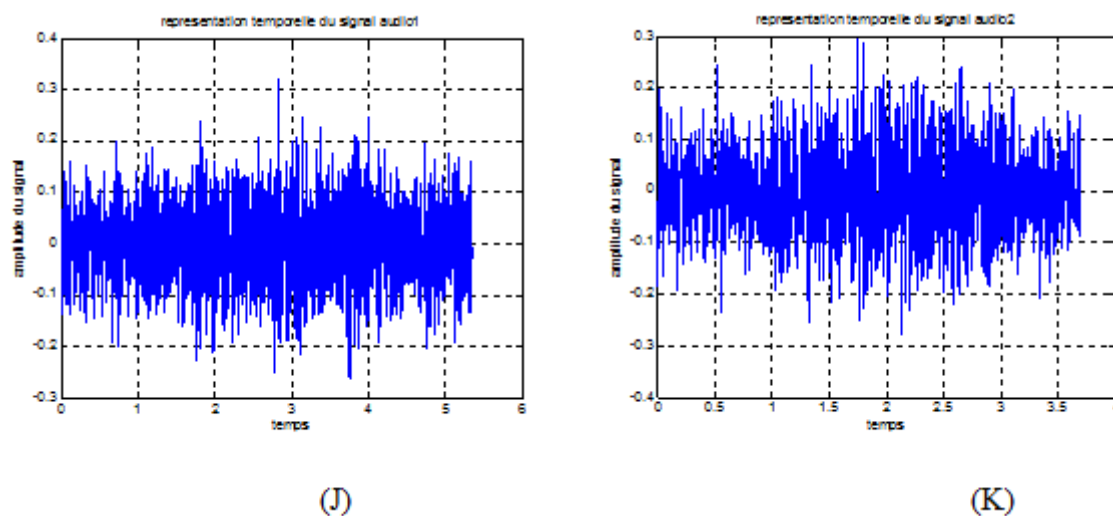
FIGURE 3.7 – représentations temporelle du fichier « audio brt » après découpage.

Pour le fichier « audio » :



(D)

FIGURE 3.8 – représentations temporelle du fichier « audio » complet.



(J) : représentation temporelle du fichier audio1 découpé du fichier complet audio.

(K) : représentation temporelle du fichier audio2 découpé du fichier complet audio

FIGURE 3.9 – représentations temporelle des fichiers « audio1 » et « audio2 » découpés du fichier audio complet.

Après cette opération, nous n'avons pas réussi à arriver au résultat souhaitable, mais les graphes sont moins complexe que avant le découpage, alors nous allons intéressés à faire le traitement pour ses petits fichiers, ce problème nous a dirigé à penser de faire un filtrage de son ; avant celle la, on va faire une analyse dans le domaine fréquentielle.

### 3.3.2 L'analyse fréquentielle

La transformé de Fourier est la représentation du signal en fonction de la fréquence, elle fait partie des étapes les plus essentiels en traitement de signal. La réalisation de l'analyse fréquentielle sur MATLAB nécessite l'utilisation de la fonction « FFT » (fast transformer fourier).

Pour commencer cette analyse, nous avons pris  $Y$  comme une entrée dans la quelle on met le vecteur  $X$  après analyse temporelle, et  $L$  qui correspond à la dimension de ce vecteur. La fonction «  $f$  » sert à calculer la transformé, afin que la formule « plot » peut tracer le spectre de la FFT.

```
Y=fft(x,L)/L;  
f=linspace(0,fs/2,floor(L/2));  
figure(2);  
plot(f(1 :floor(L/2)),abs(Y(1 :floor(L/2))));  
xlim([6 300]);  
xlabel('frequence');  
ylabel('amplitude de signal');  
title('diagramme de la fft');  
grid on
```

Dans les figures ci dessous nous avons grouper les représentations temporelle et fréquentiels des fichiers.

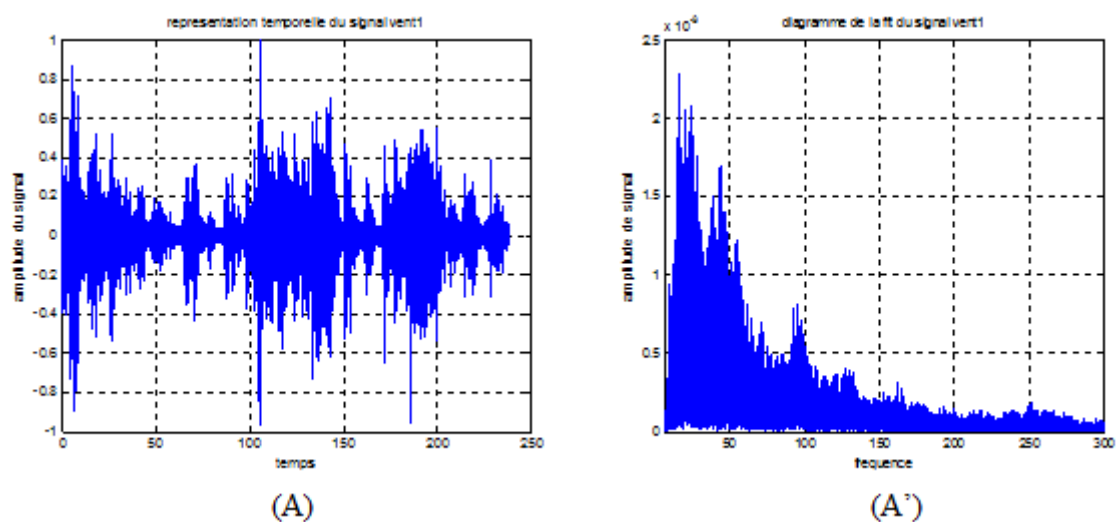


FIGURE 3.10 – représentations temporelle et spectrale du fichier vent1.

### Remarque :

Les lettres avec prime qui nomment nos illustrations définissent le diagramme de la FFT de nos fichiers.

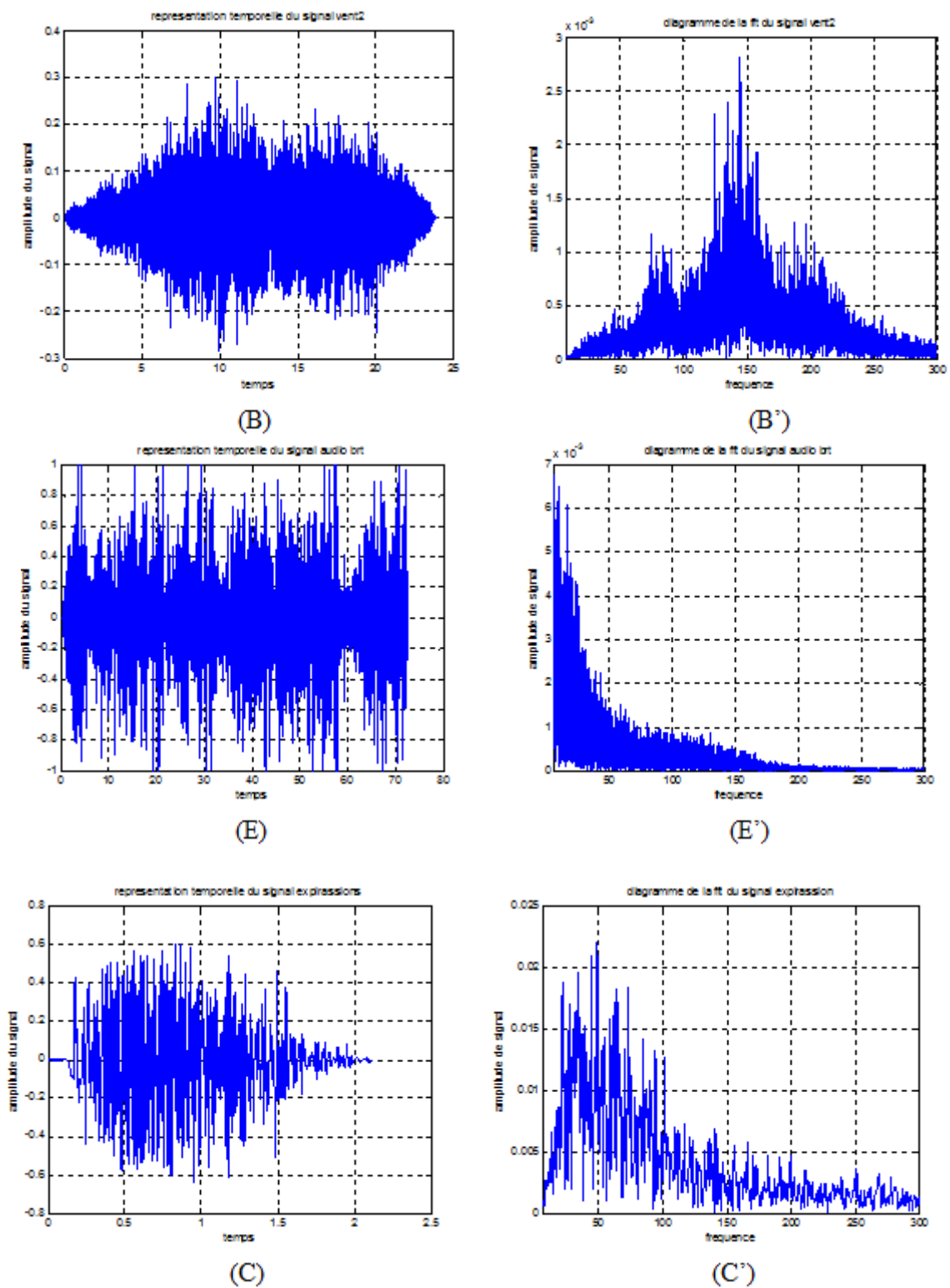


FIGURE 3.11 – représentations temporelle et spectrale des fichiers  
« vent2, audio brt, expression »

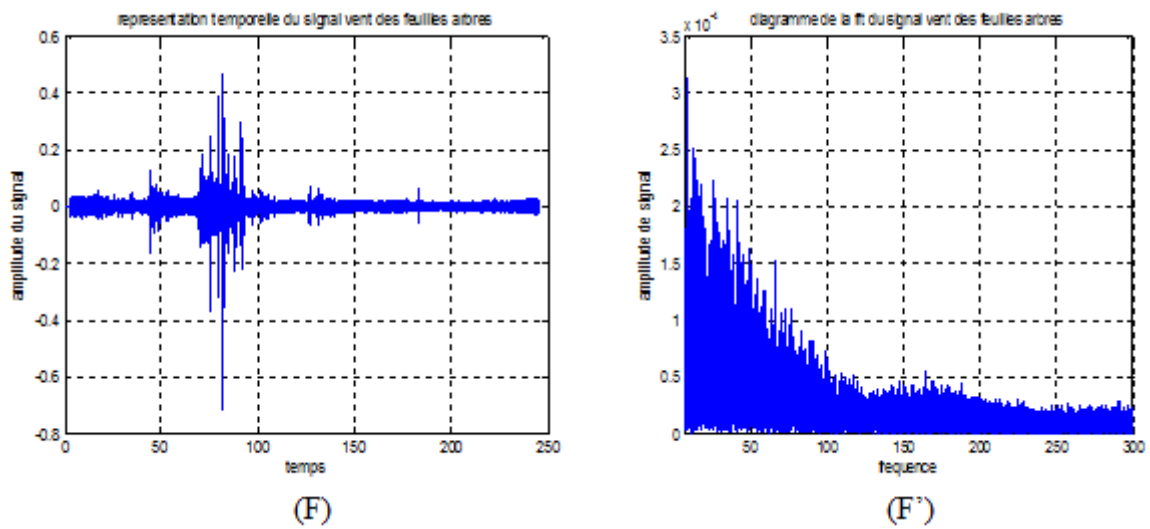


FIGURE 3.12 – représentations temporelle et spectrale du fichier vent des feuilles arbres.

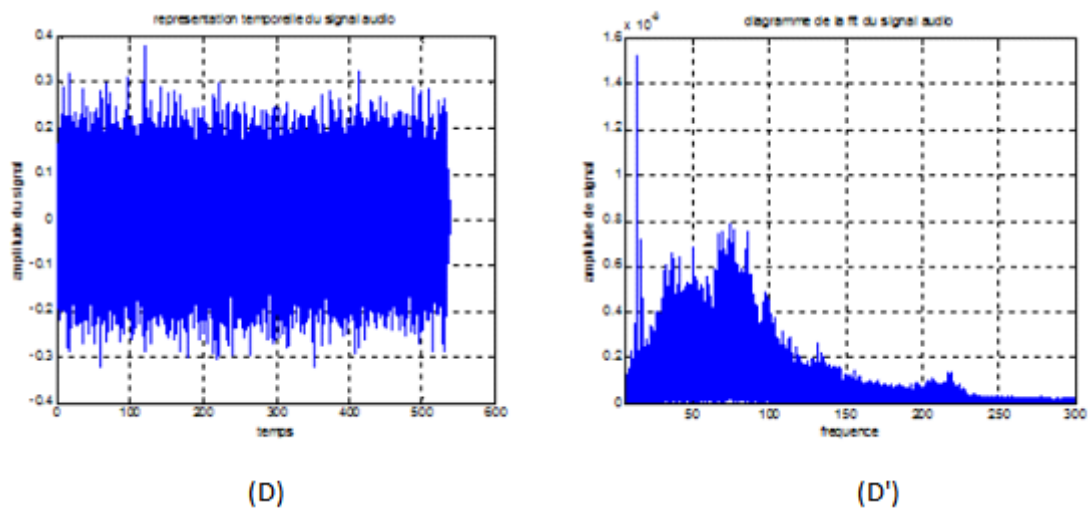


FIGURE 3.13 – représentations temporelle et spectrale du fichier « audio » complet.

**Remarque :**

Les lettres avec prime qui nomment nos illustrations définissent le diagramme de la FFT de nos fichiers.



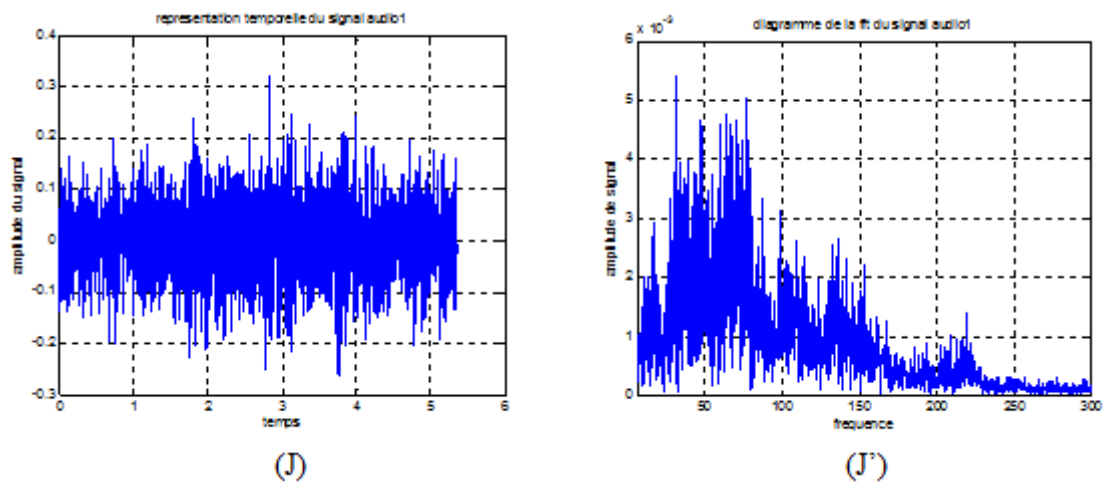


FIGURE 3.14 – représentations temporelle et spectrale du fichier « audio1 ».

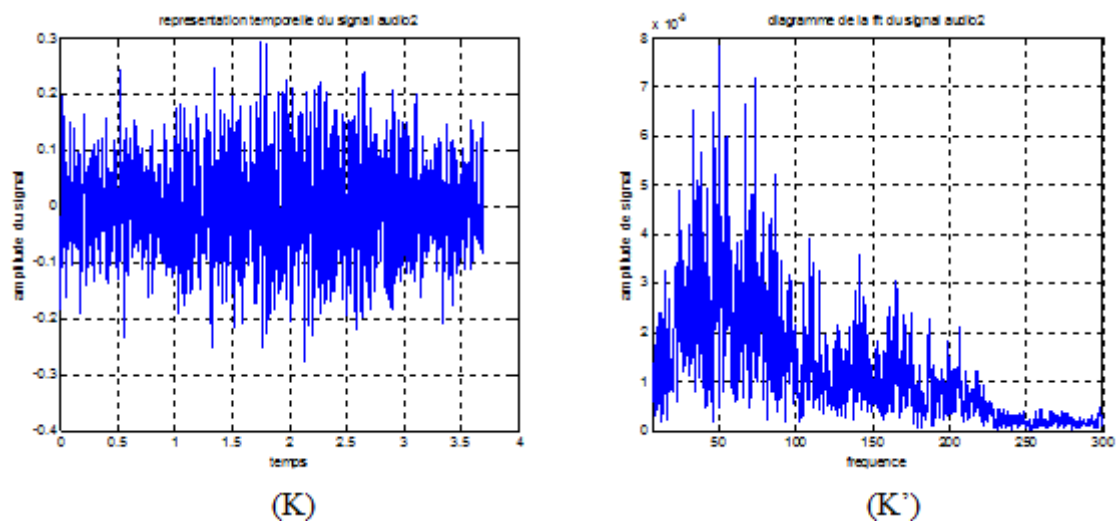


FIGURE 3.15 – représentations temporelle et spectrale du fichier « audio2 ».

**Remarque :**

Les lettres avec prime qui nomment nos illustrations définissent le diagramme de la FFT de nos fichiers.

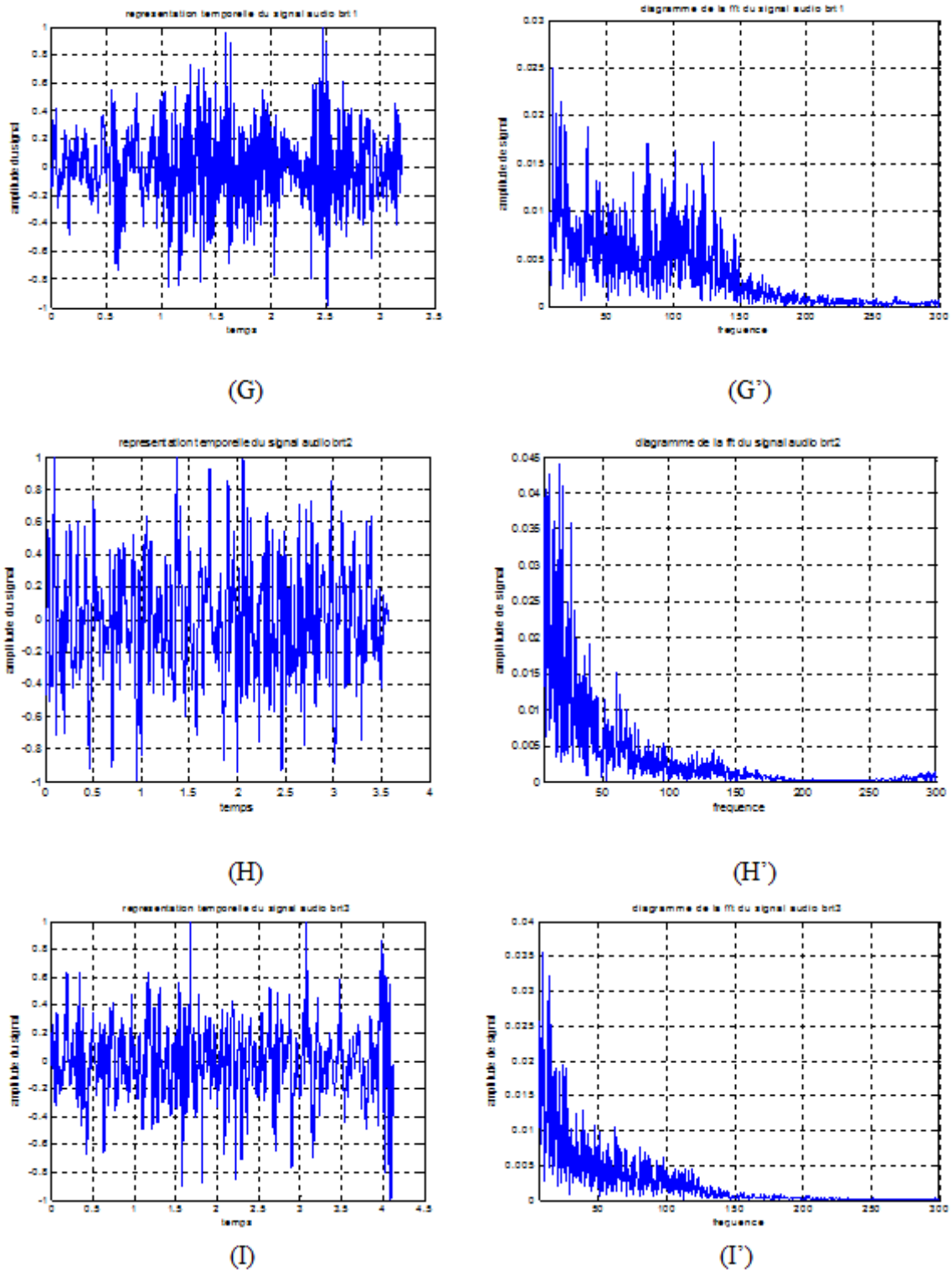


FIGURE 3.16 – représentations temporelle et spectrale des fichiers « audio brt1, audio brt2, audio brt3 »

**Remarque :**

La prime ajouté sur les lettres qui nomment nos illustrations définit le diagramme de la FFT de nos fichiers.

D'après les figures obtenues en cette étape, nous remarquons que chaque signal contient des hautes et basses fréquences, ça nous confirme que le signal est vraiment bruité.

Nous avons aussi remarqué que le graphe du spectre fréquentielle du signal audio complet (audio) d'une durée de (1min, 30sec) ne ressemble pas à un découpage de même fichier (audio1 et audio2) de durée de (2 secondes et 3 secondes).

Nous avons cherché une similitude entre les spectres représentés mais sans vain.

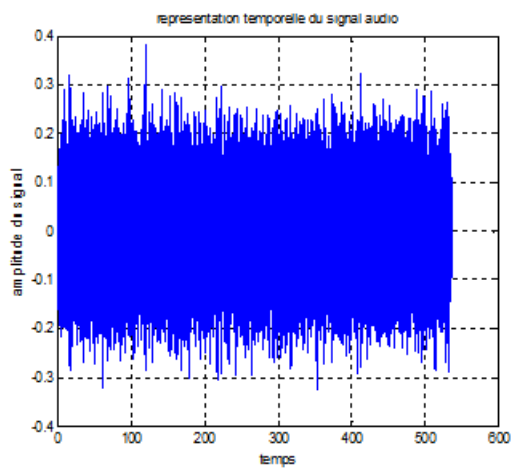
nous voulons éliminer ce bruit et garder la fréquence qui contient l'information pour pouvoir trouver l'empreinte acoustique du vent, donc nous étions obligés d'appliquer un programme de filtrage, mais nous avons besoin d'une fréquence de coupure. Avant le filtrage nous sommes passés par la génération du spectre de densité.

### 3.3.3 Densité spectrale de puissance (DSP)

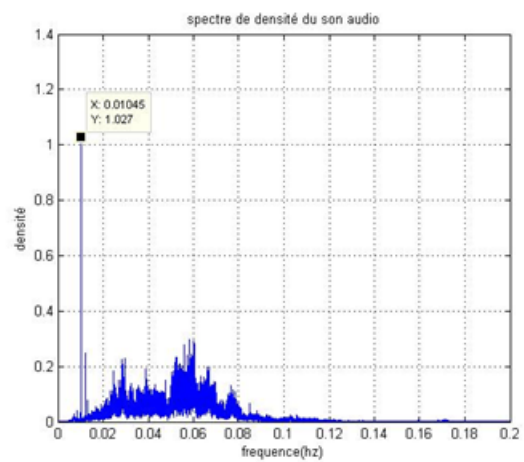
C'est l'une des caractéristique des signaux, elle représente la répartition fréquentielle de la puissance d'un signal suivant les fréquences que les composent. Le but de cette représentation est de visualiser à quelle fréquence la puissance est concentrée, à partir de là en considérant que cette fréquence est une fréquence de coupure pour garder cette énergie et éliminer le reste.

À partir de l'algorithme qui traite la densité de puissance d'un signal sur matlab nous avons utilisés « pwelch » comme la fonction principale qui va calculer la DSP de notre signal (nommé dans le programme par le vecteur X), en suite nous avons affichés le spectre à l'aide de la fonction « plot » qui est limité avec la formule « xlim ».

```
[pxx,fx]=pwelch(x);  
figure(3)  
plot(fx,pxx);  
xlim([0 1.4]);  
xlabel('frequence');  
ylabel('densité');  
title('spectre de densité');
```



(D)



(D'')

FIGURE 3.17 – représentation temporelle avec le spectres de densité qui correspond au fichier « audio »

### Remarque :

Les lettres avec double prime qui nomment nos illustrations définissent le spectre de densité de nos fichiers.

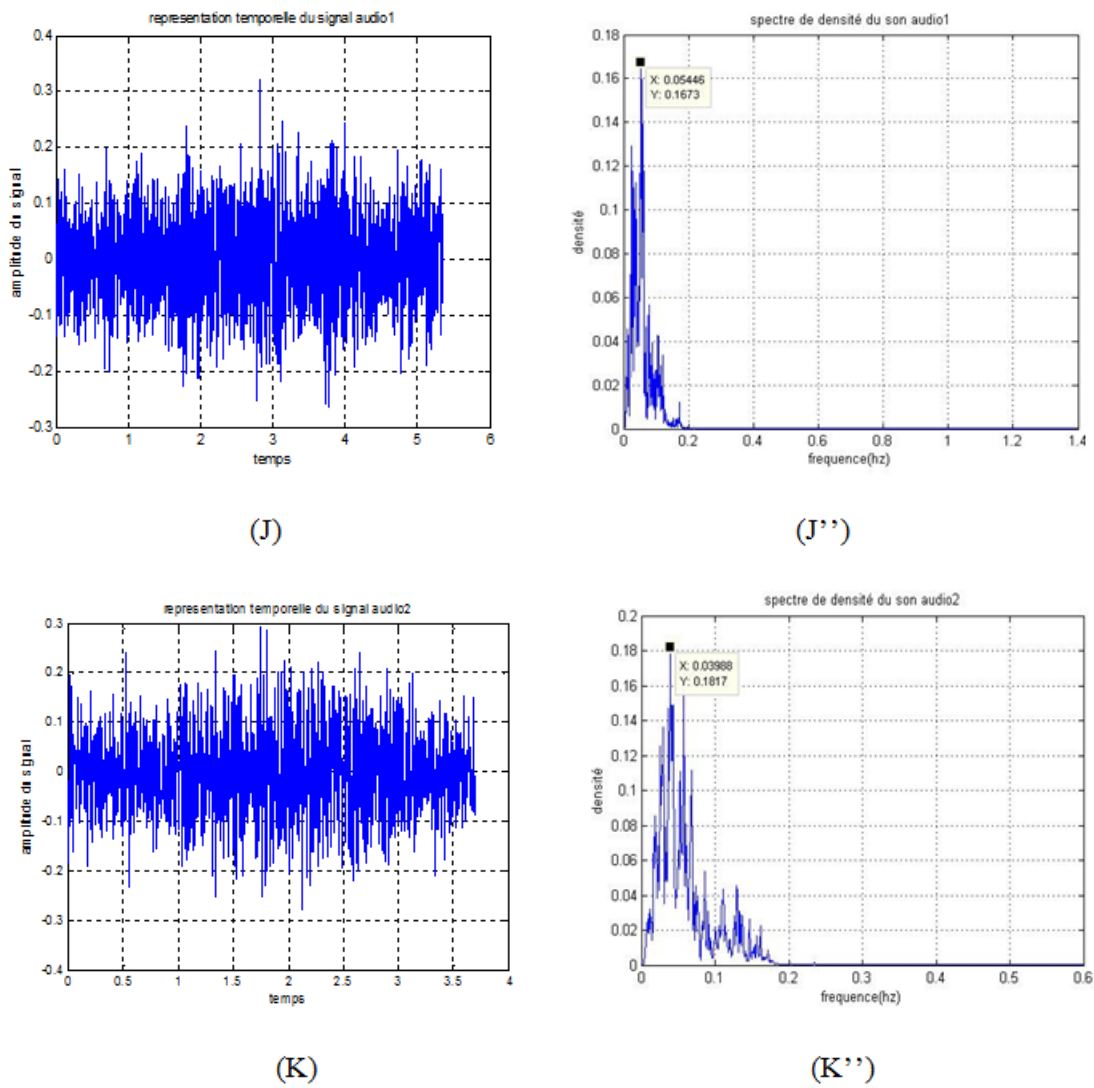


FIGURE 3.18 – représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond aux fichiers « audio1, audio2 »

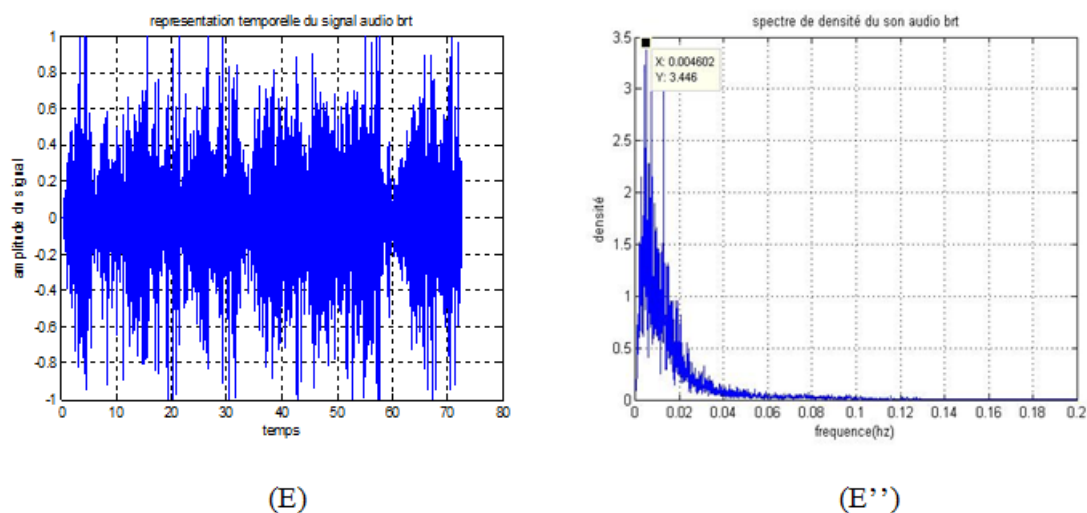


FIGURE 3.19 – représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond aux fichier « audio brt ».

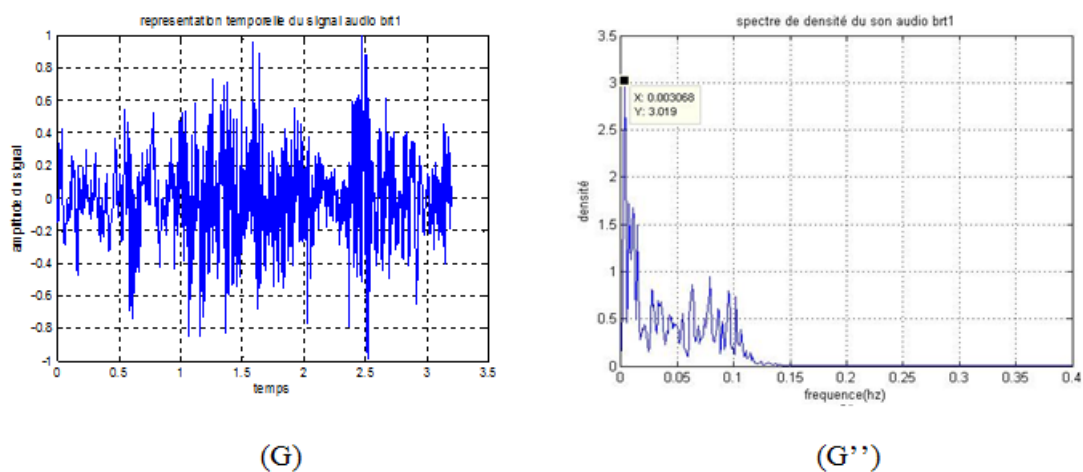


FIGURE 3.20 – représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond fichier « audio brt1 » .

**Remarque :**

Les lettres avec double prime qui nomment nos illustrations définissent le spectre de densité de nos fichiers.

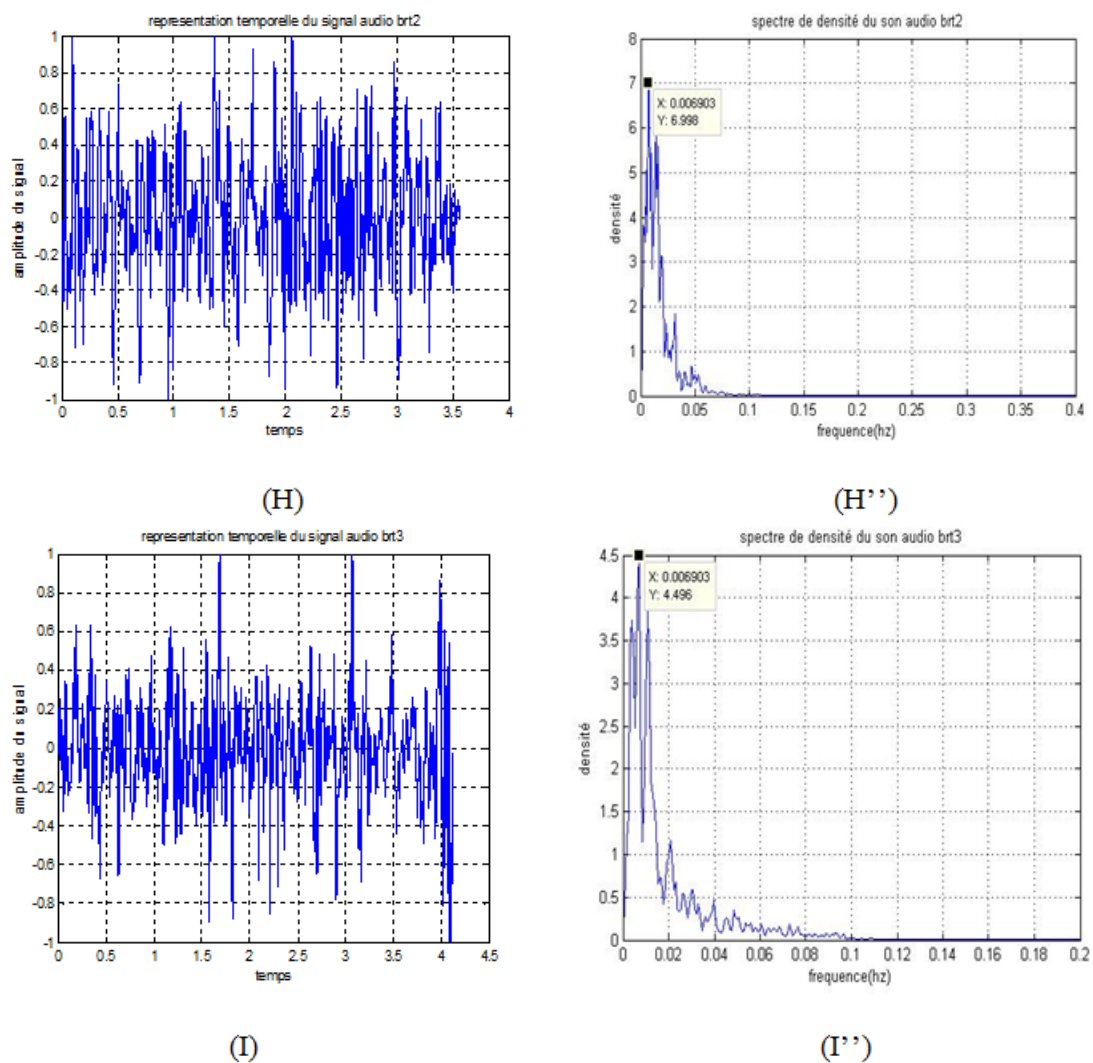


FIGURE 3.21 – représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond aux fichiers « audio brt2, audio brt3 » .

**Remarque :**

Les lettres avec deux accents qui nomment nos illustrations définissent le spectre de densité de nos fichiers.

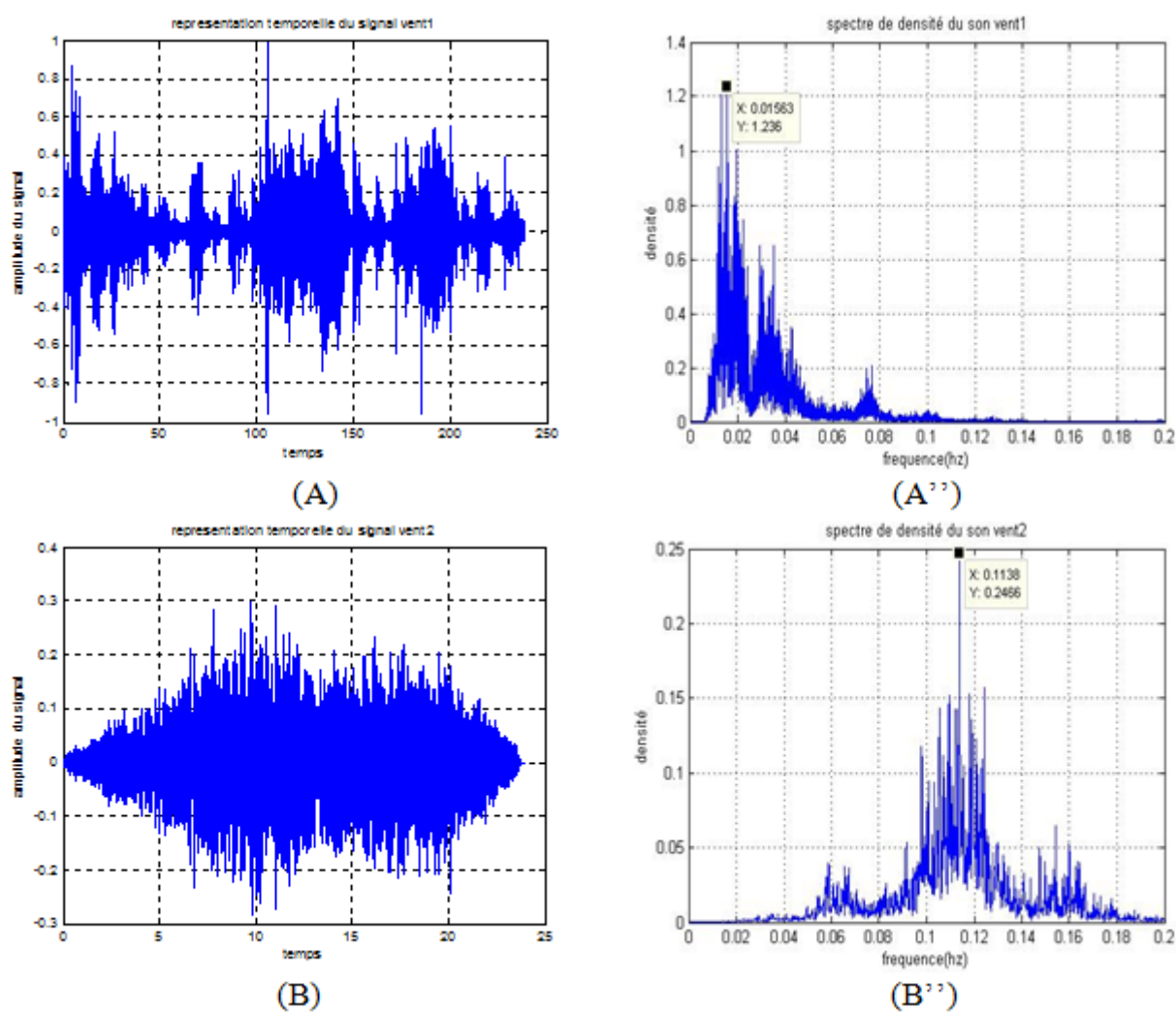


FIGURE 3.22 – représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond aux même fichiers.

**Remarque :**

Les lettres avec deux accents qui nomment nos illustrations définissent le spectre de densité de nos fichiers.



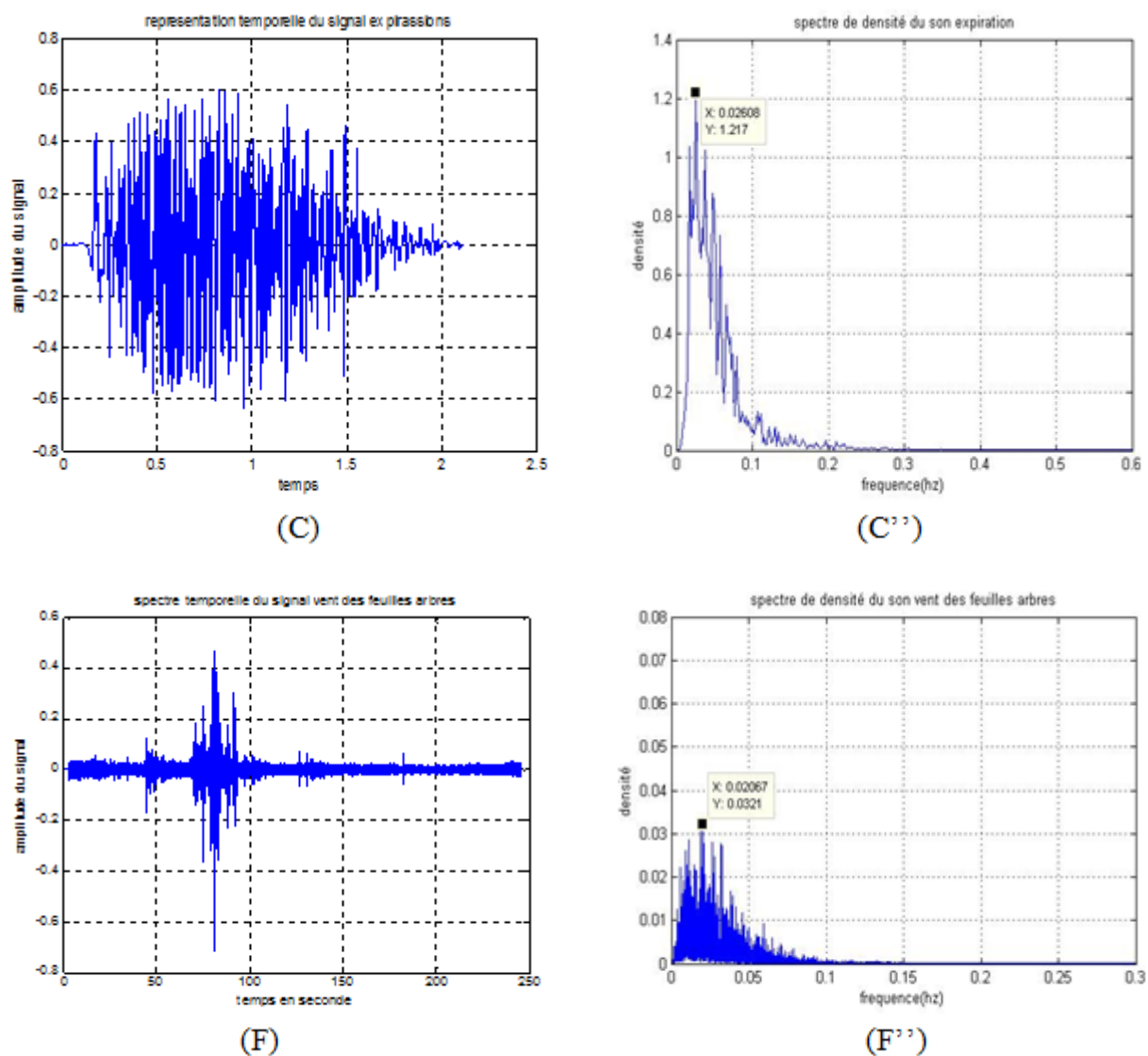


FIGURE 3.23 – représentation temporelle avec les spectres de densité qui correspond aux même fichiers.

### Remarque :

Les lettres avec double primes qui nomment nos illustrations définissent le spectre de densité de nos fichiers.

D'après ces figures (3.17), (3.18), (3.19), (3.20), (3.21), (3.22), (3.23) et à l'aide du bouton « data cursor » nous avons pus trouver la valeur exacte de la fréquence qui correspond à la grande distribution de puissance .Cette valeur sera utilisé comme fréquence de coupure.

Malheureusement nous remarquons que chaque signal a sa propre fréquence qui sera utilisé dans son propre filtrage.

### 3.3.4 Filtrage du signal

Le filtrage du signal audio fait partie de l'étape la plus essentiel de notre travail dans la quelle nous avons essayés d'éliminer les maximum du bruit et garder le signal du son claire.

Après des recherches sur les types de filtrage et leurs efficacités dans le traitement de signal, nous avons trouvés que le filtre Chebychev de type 1 est le plus simple à réaliser et facile à manipuler. D'après les graphes (A'), (C'), (F'), (H'), et (I') de les figures (3.10), (3.11), (3.12) et (3.16) obtenus dans la partie analyse spectrale nous avons choisis le filtre passe bas du même type.

Ce filtre a une meilleure sélectivité, la courbe de réponse en bande passante présente un certain nombre d'ondulations. La valeur maximale de ces ondulations est un paramètre de conception du filtre.

Ensuite, nous avons commencés à créer le programme qui sert à filtrer les fichiers du son représenté dans les étapes précédentes. Nous avons pris la fréquence de coupure qui est montré dans les graphes de les figure (3.17), (3.18), (3.19), (3.20), (3.21), (3.22), (3.23) des courbes de densité spectrale, mais comme ses fréquences étaient inférieur à la fréquence audible, donc nous avons utilisés une autre qui est valable pour tous le fichier et nous pouvons l'écouter.

Pour la fonction de filtrage, nous sommes passés par le bloc (Digital Filter Design) qui se trouve dans la partie Simulink du programme MATLAB, et permet d'afficher la fonction à utiliser.

A la suite nous avons introduit la formule « filter » qui va faire appliquer le type de filtre sur le signal.

A la fin de ce programme nous avons tracés les graphes dans le domaine temporelle et fréquentielle à l'aide de la représentation FFT. Ainsi nous avons générés le signal filtré en

fichier audio afin de pouvoir l'écouter et vérifier le son, s'il est filtré et que l'information qui reste caractérise le son du vent.

Le programme a exécuté pour réaliser cette étape est présenté ci-dessous :

```
n=1;
fp=200;
ap=5;
h=fdesign.lowpass('n,fp,ap',n,fp,ap,fs);
d=design(h,'cheby1');
xfilter=filter(d,x);
xfilter1=xfilter*10;
figure(4);
plot(t,xfilter,'r');
%xlim([0 500]);
xlabel('temps ');
ylabel(' amplitude du signal');
grid on
title('spectre du signal filtré du son vent des feuilles arbres');
wavwrite(xfilter1,fs,'vent des feuilles arbres-analyser1.wav');
```

Pour les figures on s'est intéressé uniquement aux fichiers après le découpage.

Pour les premières représentations graphiques nous avons utilisés pour le filtrage les fréquences de coupures prise à partir du spectre de densité.

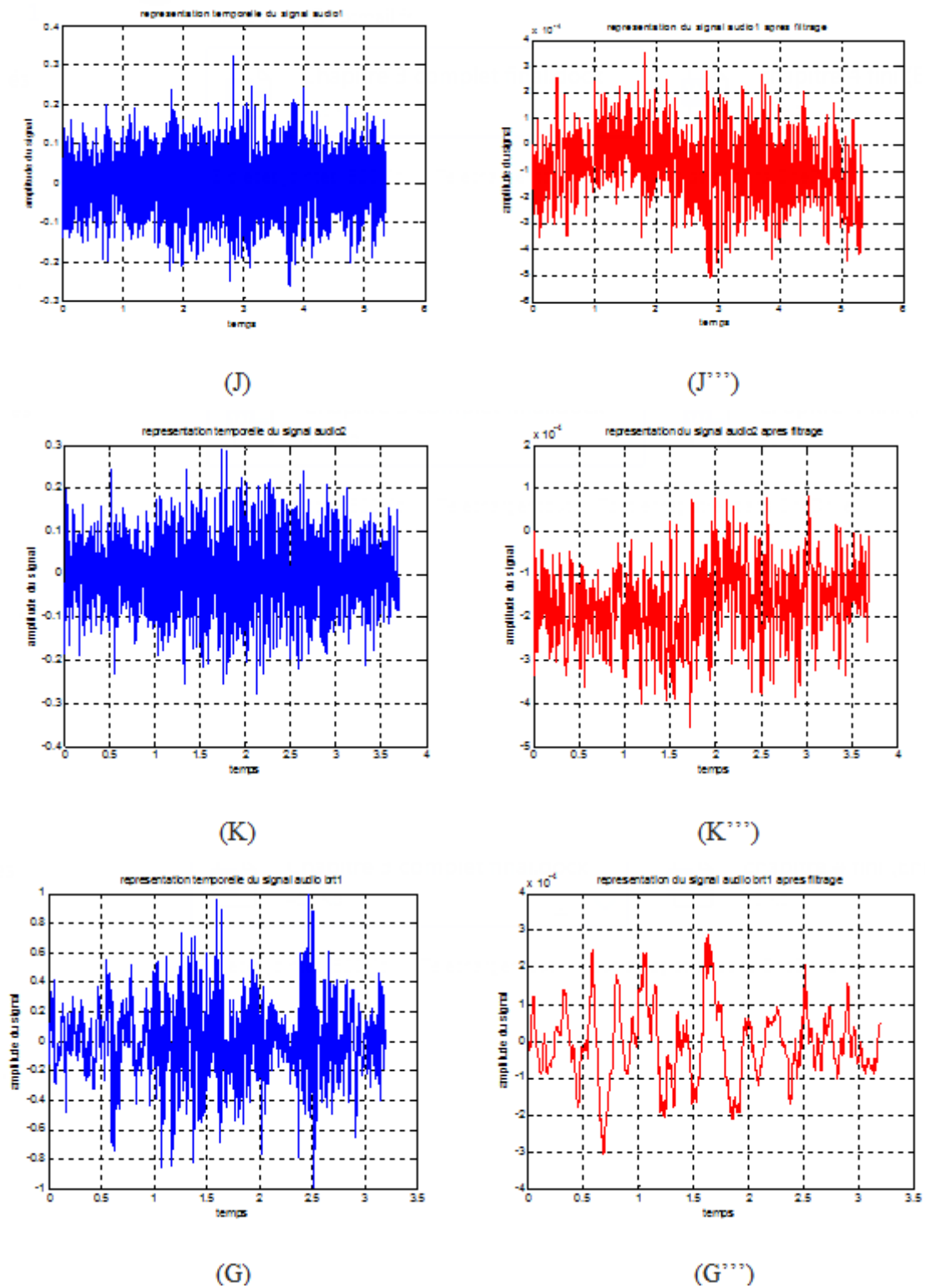


FIGURE 3.24 – Représentations temporelle des fichiers découpées avant et après filtrage avec fréquence de coupure spécifique.

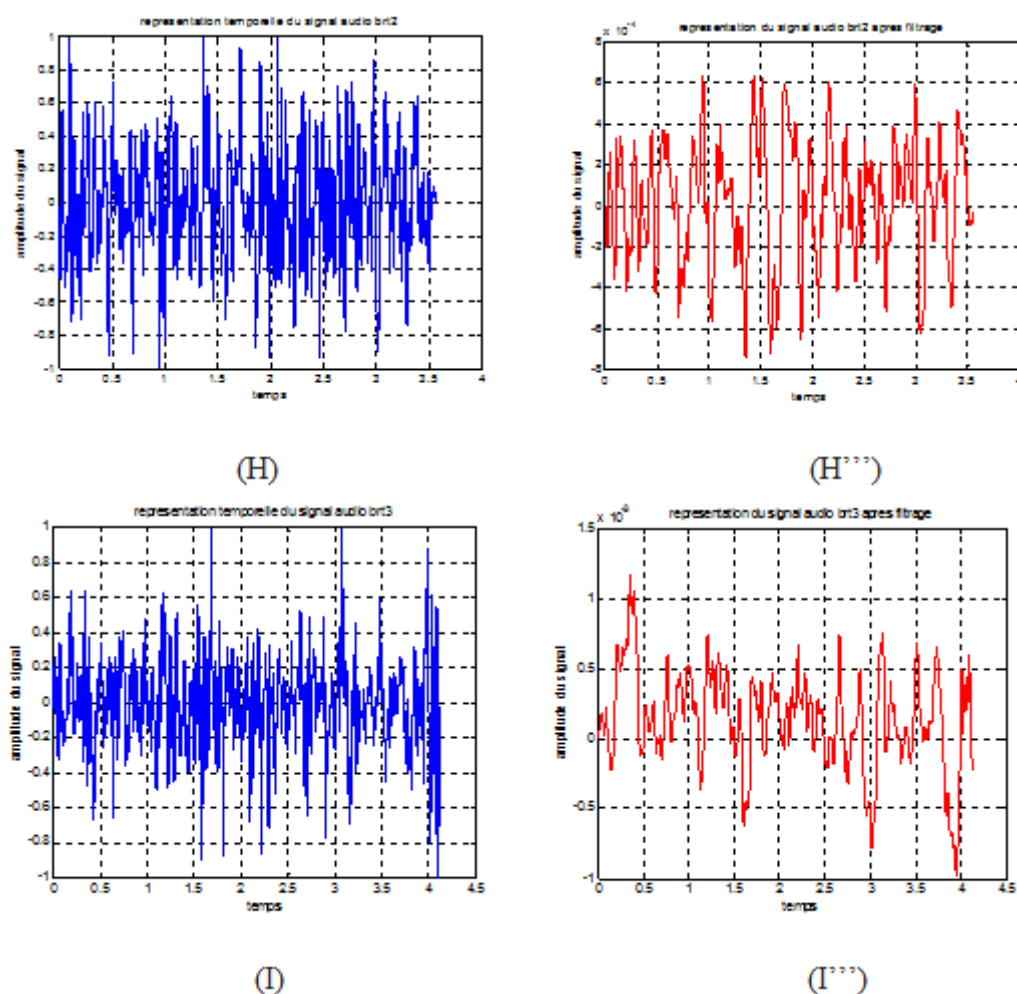


FIGURE 3.25 – Représentations temporelle des fichiers découpées avant et après filtrage avec fréquence de coupure spécifique.

**Remarque :**

Les lettres avec triple primes qui nomment nos illustrations définissent le spectre de densité de nos fichiers.

D’après ces figures (3.24),(3.25) les fréquences prise de la densité spectrale et utilisé dans le filtrage ont causées la perte d’information, ce qui nous a posé un problème de l’écoute et aussi la déformation du signal initiale.

Donc nous avons réussi à filtrer les enregistrements, mais le résultat ne permet pas la continuation du traitement.

Alors nous sommes passés à la représentation temporelle des fichiers découpés après

filtrage avec fréquence de coupure de  $f_p = 200 \text{ Hz}$  que nous avons choisis, et qui fait partit de l'intervalle des fréquences audible.

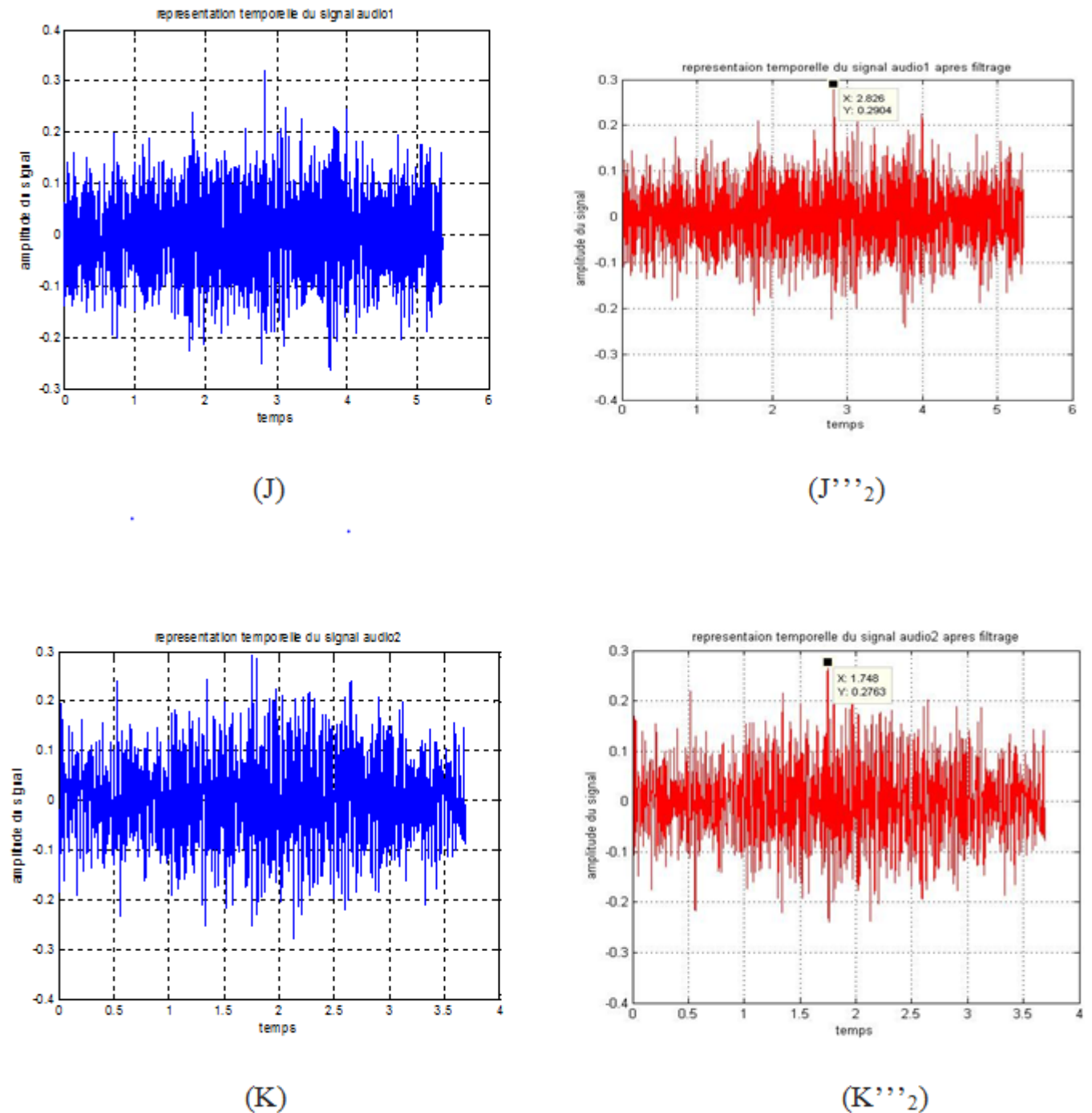
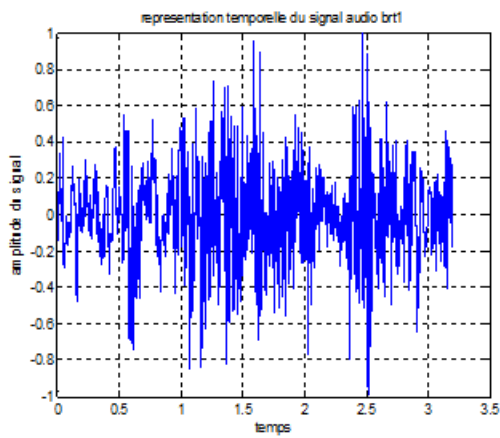
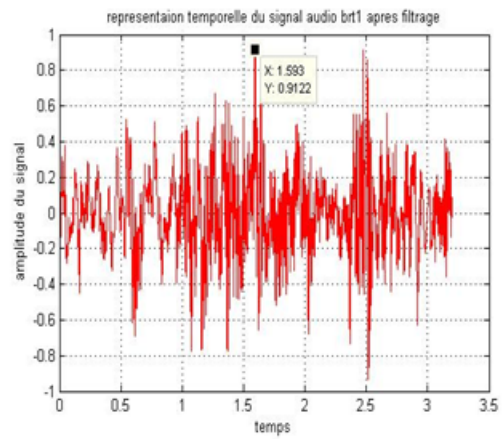


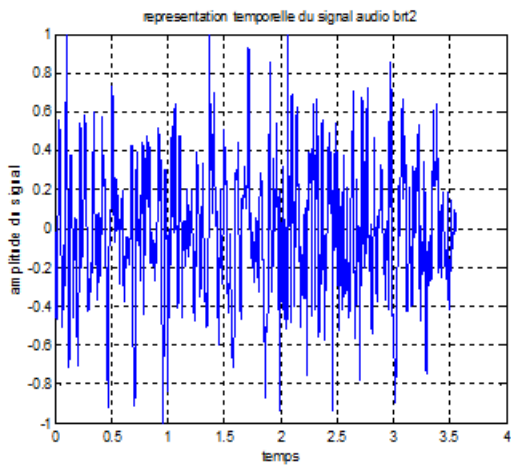
FIGURE 3.26 – Représentations temporelle des fichiers découpées avant et après filtrage avec fréquence de coupure de  $f_p = 200$ .



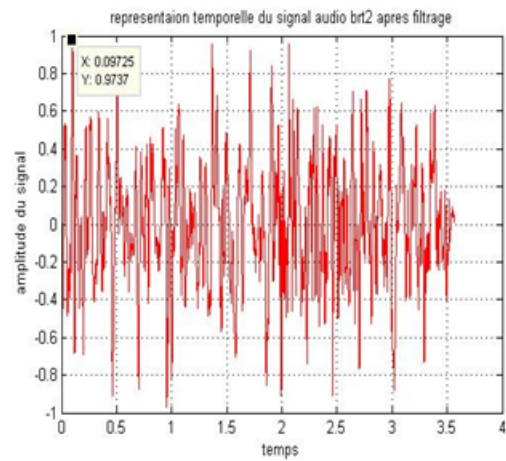
(G)



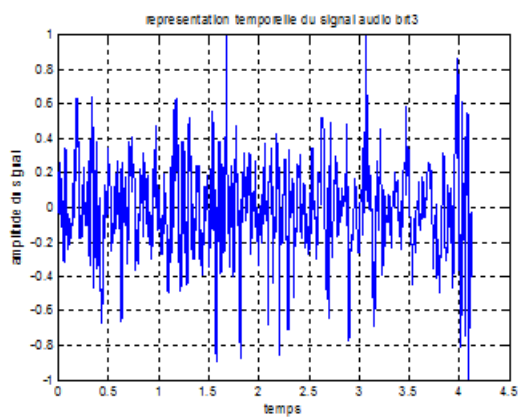
(G''<sub>2</sub>)



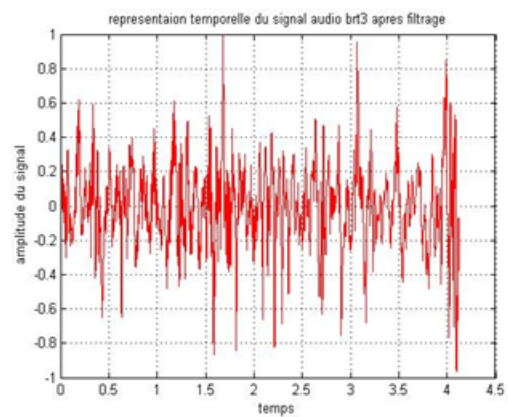
(H)



(H''<sub>2</sub>)



(I)



(I''<sub>2</sub>)

FIGURE 3.27 – Représentations temporelle des fichiers découpées avant et après filtrage avec fréquence de coupure de  $f_p=200$ .

**Remarque :**

Les lettres avec triple primes et numéro 2 qui nomment nos illustrations définissent le signal après filtrage de nos fichiers.

D'après ces figures(3.26),(3.27), il n'y a pas une grande différence entre le signal initial et le signal filtré, ce qui nous a posé un problème de la visualisation de la différence entre les représentations temporelles. Donc nous sommes passés à la représentation fréquentielle du signal filtré pour faire la comparaison avec la FFT du signal initial.

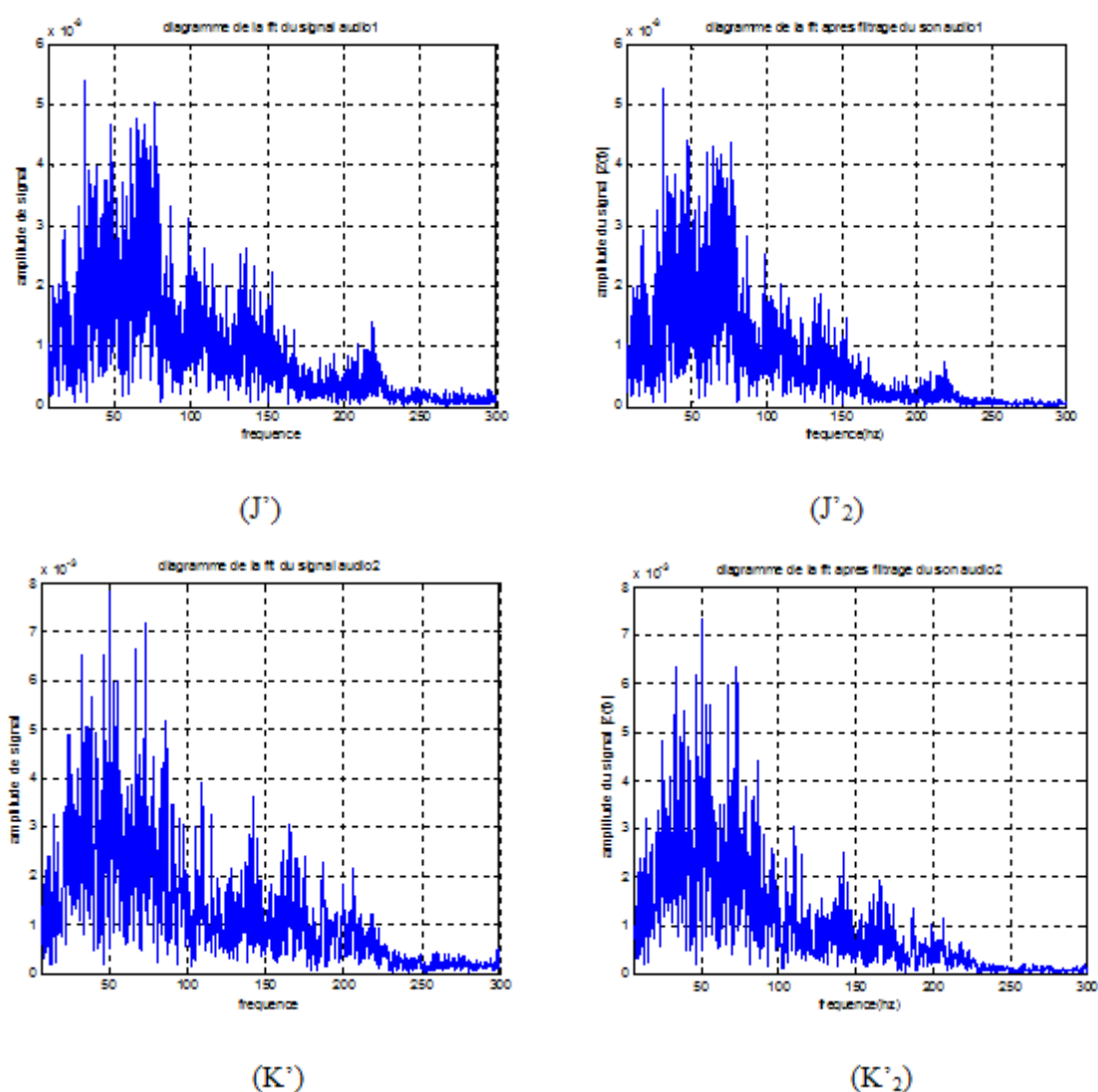


FIGURE 3.28 – Spectre des fichier « audio1 et audio2 » avant et après filtrage.



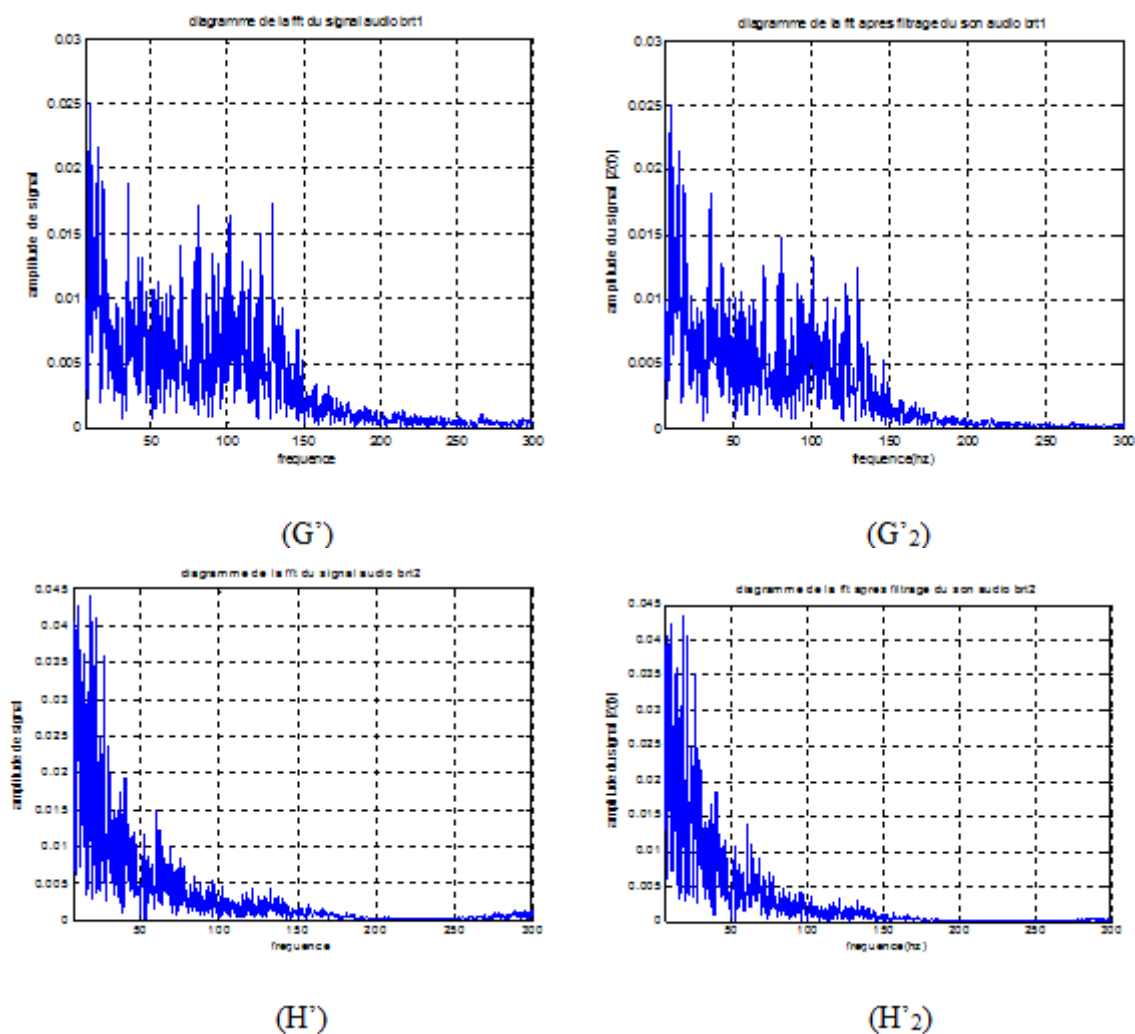


FIGURE 3.29 – Spectre du fichier « audio brt1 et brt2 » avant et après le filtrage. .

**Remarque :**

Les lettres avec prime et numéro 2 qui nomment nos illustrations définissent le diagramme de la FFT après filtrage de nos fichiers.

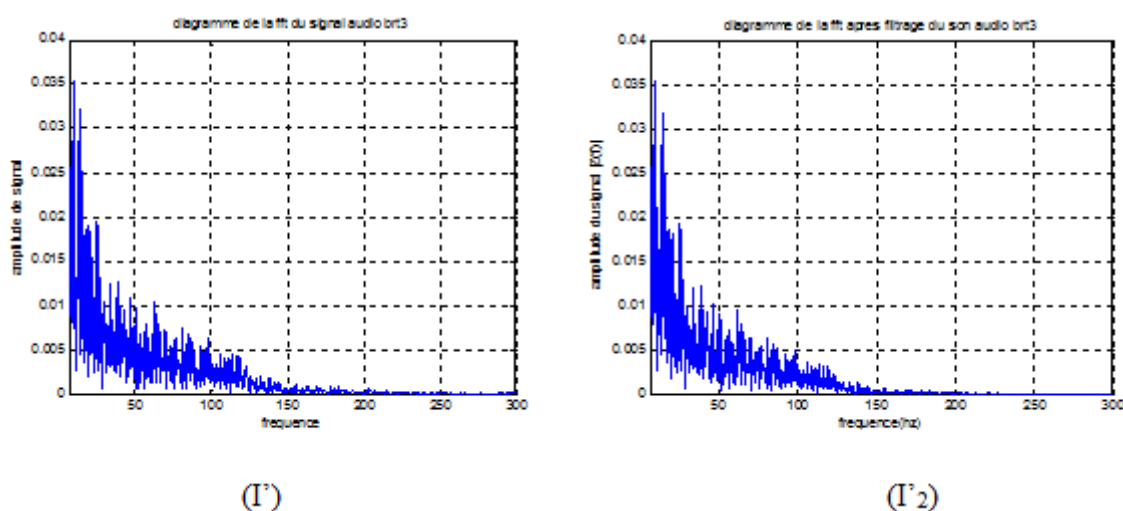


FIGURE 3.30 – Spectre du fichier « audio brt3 » avant et après filtrage.

**Remarque :**

Les lettres avec prime et numéro 2 qui nomment nos illustrations définissent le diagramme de la FFT après filtrage de nos fichiers.

La comparaison entre le signal initial et le signal filtré, ainsi que l'écoute des enregistrements après filtrage a permis de faire des remarques :

- nous a permis de remarquer la différence entre les graphes des signaux avant et après le filtrage ;
- Cette différence entre les signaux se caractérise par l'atténuation du bruit au niveau des enregistrements, et l'atténuation des amplitudes ;
- Aussi nous remarquons que la représentation des signaux découpés du même fichier après filtrage sont similaires cela nous montre que la période de découpage n'est pas importante et nous pouvons faire des découpages tout en long du fichier audio on propose des enregistrements de quelques secondes.
- Donc nous avons pu établir notre objectif de ce travail qui est finalement, le chemin préférable que nous avons choisi, pour arriver à nos fins consiste à convertir le fichier enregistré en format mp3 à un fichier « .wav », ensuite nous effectuons une lecture pour ce fichier.

Après la lecture du fichier on applique un filtre passe bas pour le signal, ensuite nous faisons la représentation fréquentielle du signal filtré afin de pouvoir extraire la caractéristique du son du vent.

---

## 3.4 Conclusion

---

Dans cette partie de notre travail nous avons simulés des différentes expériences pour extraire une caractéristique acoustique du vent, qui sera utilisé dans l'étape suivante pour trouver la vitesse du vent. Dans toutes les expériences nous avons utilisés un signal de vent bruité enregistré.

Nous nous sommes servis du programme MATLAB avec des fonctions implémentés pour faire le traitement de signal du son du vent.

En commençant par la représentation temporelle et fréquentielle et le spectre de densité mais les résultats obtenus ne sont pas suffisante, nous avons fait un découpage au niveau des enregistrements sans faire une condition sur la durée.

Après nous sommes passé à l'étape de filtrage où on a pris la fréquence de coupure d'un jugement personnel basé sur l'écoute et qui est égal à  $F_p = 200Hz$ .

A la fin nous avons pu filtrer notre signal et obtenir un son non-bruité à l'aide de l'écoute et de la représentation temporelle et fréquentielle. La comparaison entre les derniers résultats nous a permet d'avoir une caractéristique acoustique de vent.

---

# Chapitre 4

## Réalisation du capteur virtuel

---

Après qu'on a effectué des traitements de signal sur des fichiers audio et aussi un filtrage pour le son du vent. Dans ce chapitre nous allons entamés la réalisation d'un capteur virtuel basé sur des valeurs caractérisant les vitesses du vent dans les enregistrements traités prise de l'étape précédente. C'est sous simscape de MATLAB qu'on a réalisés notre capteur à l'aide des composantes trouvées dans la bibliothèque.

Avant de commencer notre simulation nous passons par des définitions concernant les composantes et les techniques intégrées dans le capteur.

---

## 4.1 Synoptique du capteur virtuel

Lorsque les capteurs physiques arrivent à leurs limites, les capteurs virtuels entrent en scène. Cette note revient sur la présentation et les applications des modèles qui emploient des données mesurées pour déterminer, par calcul, les valeurs de grandeurs non mesurables. un capteur virtuel est un modèle mathématique qui fusionne les données issues de multiples capteurs pour estimer une nouvelle grandeur qui ne peut être mesurée directement par un capteur physique [13].

Les capteurs virtuels sont utilisés lorsque qu'un capteur physique ou sa maintenance sont trop chers, lorsque la mesure physique ou l'implantation d'un capteur réel est impossible, ou encore quand les modèles classiques atteignent leurs limites : trop lents, trop peu précis, trop éloignés de la grandeur à mesurer. On les retrouve sur l'ensemble des marchés de l'industrie manufacturière mais aussi dans le processus.

Les variations produite au niveau du capteur seront conditionnées, amplifiées puis filtrées avant d'être affichés.

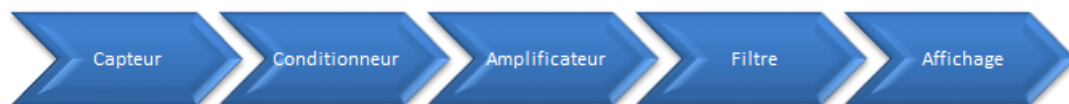


FIGURE 4.1 – Schéma synoptique montre les différents blocs d'un capteur virtuel .

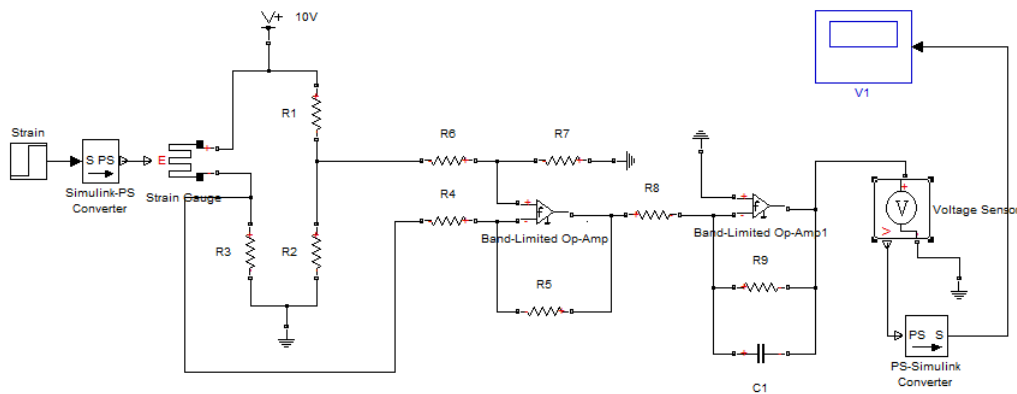


FIGURE 4.2 – circuit du capteur virtuel réalisé sur simscape MATLAB

### 4.1.1 Le capteur

Les capteurs sont des composants de la chaîne d'acquisition dans une chaîne fonctionnelle. Les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande ou affichage.

Une information est une grandeur abstraite qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles. Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique (énergie) on parlera alors de signal. Les signaux sont généralement de nature électrique.

Ceci permettra un traitement du signal électrique par des structures électroniques à des fins de mesures et/ou de commandes.

On peut caractériser les capteurs selon deux critères :

- en fonction de la grandeur mesurée ; on parle alors de capteur de position, de température, de vitesse, de force, de pression, etc. ;
- en fonction du caractère de l'information délivrée ; on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.

Aussi un capteur est caractérisé par : l'étendue de la mesure, la sensibilité, la rapidité et la précision. Comme on peut trouver les capteurs sous deux classes : capteur actif et capteur passif.

Dans notre travail le capteur représente le premier étage du montage, le capteur utilisé est un capteur électronique analogique passif, qui utilise comme effet de transduction le phénomène piézo-résistif.

La déformation peut être mesurée grâce à des jauges extensomètres, appelées aussi jauges de contrainte.

#### 4.1.1.1 Jauge de contrainte (strain gauge)

Une jauge de contrainte est un capteur fabriqué à base de métal dont la résistance varie selon la force appliquée. Elle convertit la force, la pression, la tension, le poids, etc. en une variation de la résistance électrique qui peut ensuite être mesurée.

Le principe de fonctionnement de la jauge de contrainte repose sur le changement de résistance que subit un conducteur électrique soumis à une déformation.

Un conducteur électrique de résistivité  $\rho$  (en Ohm m), d'une longueur  $L$  (en mètre) et d'une section  $A$  (en mètre carré) possède une résistance électrique définie par :

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

(4.1)

La résistance électrique subira des changements lorsque le conducteur électrique est soumis à une contrainte entraînant sa déformation.

Lorsque le conducteur se déforme d'une longueur  $\Delta L$ . D'autre part, l'allongement du conducteur d'une longueur  $\Delta L$  résulte d'une contrainte qui a comme effet de réduire la section du conducteur. C'est un phénomène bien connu en résistance des matériaux, lorsqu'une barre subit une force de traction, elle s'allonge et en vertu de la loi de Poisson, sa section diminue. Comme un élastique que l'on étire. Le rapport entre l'allongement unitaire et le changement de surface est défini par la loi de Poisson :

$$\frac{\Delta A}{A} = -2\nu \frac{\Delta L}{L}$$

(4.2)

Le paramètre est le coefficient de Poisson.

Un autre effet dû à l'allongement unitaire  $\frac{\Delta L}{L}$ , c'est l'effet piézoélectrique. Cet effet est provoqué par le changement de la mobilité des électrons dans le conducteur, car la contrainte

affecte la structure du conducteur. Cela entraîne aussi un changement de la résistivité du conducteur. On exprime cet effet par la relation suivante :

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = C \frac{\Delta V}{V}$$

**(4.3)**

Où  $C$  est la constante de *Bridgman*. Comme le volume  $V$  du conducteur est égal au produit de la section  $A$  par la longueur  $L$ , la relation devient alors :

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = C(1 - 2\nu) \frac{\Delta L}{L}$$

**(4.4)**

La combinaison de tous ces effets causés par une contrainte dans un conducteur se résume :

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\nu + C(1 - 2\nu)) \frac{\Delta L}{L}$$

**(4.5)**

Le terme  $(1 + 2\nu + C(1 - 2\nu))$  dépend du conducteur électrique utilisé et il désigné sous le vocable « facteur de jauge ». Le facteur de jauge est ainsi définit par :

$$G = 1 + 2\nu + C(1 - 2\nu)$$

**(4.6)**

Notre capteur est constitué de trois blocs importés de la bibliothèque *simscape*, le bloc « strain » pour l'application d'un échelon mécanique, ensuite le bloc SPS pour l'adaptation des étages *simscape-simulink*, et à la fin la jauge de contrainte (strain gauge).

### 4.1.2 conditionneur (Pont de wheatstone)

Les variations de la résistance du capteur passif liées aux évolutions du mesurande  $m$  (vitesse du vent) ne peuvent être traduites sous forme d'un signal électrique qu'en associant au capteur une source de tension et d'autres résistances constituant alors le conditionneur du capteur.



Le pont de **Wheatstone** correspond au deuxième étage du capteur virtuel. Ce pont est constitué de quatre résistances trois qui sont connu et une est variable ( $R + \Delta R$ ).

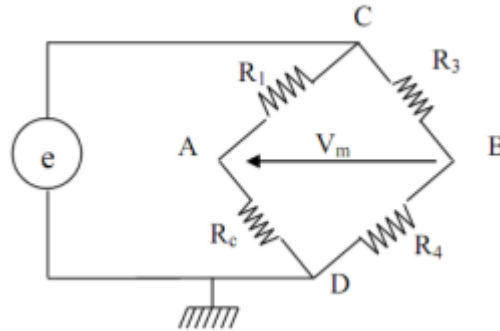


FIGURE 4.3 – montage du pont de wheatstone.

$$\left\{ \begin{array}{l} V_A = \frac{R_1}{R_c + R_1} E \\ V_B = \frac{R_3}{R_3 + R_4} E \\ V_{AB} = V_B - V_A \end{array} \right. \implies V_{AB} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_c + R_1} E$$

(4.7)

$V_A$  : La tension dans le point  $A$

$V_B$  : La tension dans le point  $B$

$V_{AB}$  : Différence de tension entre le point  $A$  et le point  $B$

$R_1$  et  $R_2, R_3$  sont des résistances connues.

$R_c$  : résistance inconnue.

### 4.1.3 Amplificateurs différentiel

Le troisième bloc est un amplificateur différentiel ou amplificateur de mesure. C'est un élément essentiel dans la partie de conditionnement d'une chaîne d'acquisition : il permet le traitement de signaux issus de capteurs de mesure. Il est généralement réalisé à partir d'un ou de plusieurs amplificateurs opérationnels (AOP), de telle manière qu'il améliore leurs caractéristiques intrinsèques, composante continue, dérive, bruit d'amplification, gain en boucle ouverte, taux de réjection du mode commun, et l'impédance d'entrée[14].

Pratiquement tout les amplificateurs ont la même structure interne, et qui sont caractérisé par : un gain de tension très important, la rejection du mode commun est très grande.

La réponse en fréquence va du continu à des fréquences assai élevées. Ainsi ils possèdent deux entrées mais ont une seule sortie.

Comme notre amplificateur est relié avec des résistances égaux, dans ce cas il prend le rôle d'un amplificateur différentiel suiveur.

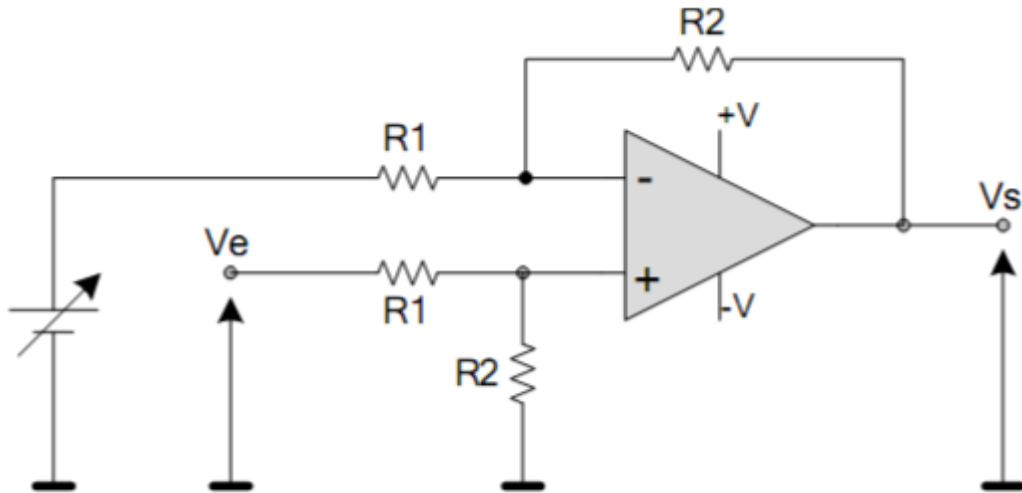


FIGURE 4.4 – montage de l'amplificateur .

$$e^+ = V_A \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{Pont diviseur de tension})$$

$$e^- = \frac{V_B R_1 + V_{ref} R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{Théoreme Millman}) \quad \text{or} \quad e^+ = e^- \Rightarrow V_B = \frac{R_2}{R_1} (V_A - V_{ref})$$

(4.8)

#### 4.1.4 Le filtre

Le quatrième bloc est le filtre, c'est un circuit électronique qui réalise une opération de traitement du signal. Autrement dit, il atténue certaines composantes d'un signal et en laisse passer d'autres.

Il existe plusieurs types de filtres, dont les plus connus sont : filtre passe-haut et bas et bande, filtre réjecteur de bande. Aussi, on classe les filtres en deux grandes familles : des filtres analogiques et des filtres numériques.

Les filtres numériques sont réalisés à partir de structure intégrée micro programmable. Ils sont totalement intégrables, souples et performants.

Les filtres analogiques se divisent eux même en deux catégories : les filtres actifs et filtres passifs.

Les filtres passifs qui font appels essentiellement à des inductances de haute qualité et des condensateurs, ils sont actuellement utilisés pour les hautes fréquences [15].

D'un autre coté les filtres actifs sont constitués de condensateurs, des résistances et d'élément

actifs. Ils sont moins encombrant, moins couteux que les filtres passifs, et facile à concevoir mais reste limité en fréquence [15].

Dans notre travaille, nous intéressons à un filtre actif passe-bas du premier ordre pour filtre le signal avant de l'affiché.

Soient  $Z_c$  impedence du condensateur :  $Z_c = \frac{1}{jcw}$  et  $Z_9$  l'impedence qui relie un point avec la sortie

$$Z_9 = \frac{Z_c + R_9}{Z_c R_9}$$

$$Z_9 = \frac{R_9}{1 + jR_9cw}$$

**(4.9)**

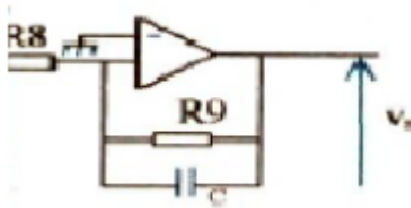


FIGURE 4.5 – montage du filtre .

La fonction de transfert :  $A = \frac{R_9}{R_8}(1 + jR_9cw)$

On pose :  $H_0 = \frac{R_9}{R_8}$  et  $wc = \frac{1}{R_9c}$

$$H = \frac{H_0}{(1+j\frac{w}{wc})} = \frac{H_0}{(1+jX)}$$

Ce circuit constitue un filtre actif pass-bas.

Après la présentation des différents blocs de notre capteur virtuel, nous avons effectué des réglages au niveau de ces blocs, puis nous sommes passés à la simulation du montage du capteur virtuel.

Dans la partie Simscape de MATLAB on a crée un nouveau fichier sur lequel nous avons implémenté le montage, à l'aide de la bibliothèque de Simscape qui fait partie de la fenêtre

Simulink. On a exporté les blocs fonctionnels définis précédemment. Ensuite nous avons dimensionné chaque composant en se basant sur une instrumentation de capteur de débit. Par la suite nous sommes passées à la simulation de ce capteur.

Pour simuler notre capteur et visualiser les résultats, nous avons pris la plus grande valeur d'amplitude de chacun de nos signaux (3.26),(3.27) à partir de la représentation temporelle après filtrage, ensuite nous avons introduit cette valeur dans le bloc « strain » afin de pouvoir exécuté la simulation du capteur.

Dans l'étage qui correspond à l'affichage des résultats, on a utilisé deux types d'affichage, un voltmètre qui nous donne une représentation des variations instantanée, et un afficheur numérique qui indique la valeur finale après stabilisation.

Cette valeur obtenu après la simulation du capteur représente la vitesse du vent, mais comme elle n'est pas la même avec celle qui donnée par l'anémomètre, donc il faut faire un étalonnage du capteur.

Pour créer et calibrer un capteur virtuel, des capteurs physiques sont nécessaires pour mesurer les données qui alimentent le modèle ; puis les capteurs physiques peuvent être supprimés et le capteur virtuel fournit les mesures virtuelles. Pour l'étalonnage, il faut disposer d'une bonne base de données. Cette étape c'est avéré difficile car en Algérie il n'y a pas de soufflerie .L'obtention des valeurs par des stations météorologiques n'est pas simple car les anémomètres sont perchés a 10m d'altitude.

---

## 4.2 Conclusion

---

Le capteur virtuel élaboré génère non pas un état mais une variable dont la valeur évolue dans une plage avec une valeur mini et une valeur maxi.

Il est possible de créer un capteur sans l'associer à un hardware, mais pour notre part, nous avons choisi de l'associer à un hardware existant afin de justifier le choix des étages ainsi que leurs dimensionnement .tous les étages sont inspiré d'une instrumentation réelle.

---

# Conclusion Générale et perspectives

---

La vitesse du vent est une valeur nécessaire dans plusieurs domaines comme la météorologie, l'aviation, et la marine...etc. Mais pour la mesurer il faut un anémomètre avec capteur spécifique. De ce fait nous avons consacré ce travail à la réalisation d'un anémomètre sans capteur spécifique. C'est-à-dire la détermination de la vitesse du vent variable par un simple enregistrement du son (le bruit) du vent.

Pour atteindre notre objectif nous avons décomposé le travail à des chapitres. Chacun de ces chapitres nous a donné un avancement sur le travail.

Nous avons commencés notre recherche par les capteurs précisément par les microphones. Les microphones existent en plusieurs types, ils ont le même fonctionnement principal comme instrument celui de capter des ondes sonores, et les transformés en un signal électrique. Ces capteurs se diversifient grâce à des caractéristiques comme la directivité, la sensibilité, et la courbe de réponse. Les qualités que nous cherchons dans le microphone utilisé lors des enregistrements, pour notre étude se résume en un simple microphone sans filtre et omnidirectionnel car ce que nous voulons écouter est le son du vent .Un son qui a toujours était indésirable à enregistrer.

Notre étude bibliographique a été dirigée dans le deuxième chapitre sur beaucoup de type d'anémomètre, on se basant sur les plus utilisés. Chaque anémomètre fonctionne suivant une technique précise pour déterminer la vitesse du vent, cela nécessite des capteurs de caractéristiques spécifiques et de cout élevés. Chose qui a renforcé notre idée de remplacer ces capteurs par un simple microphone et remplacer les techniques par un traitement de signal afin de pouvoir extraire la vitesse du vent à partir des enregistrements du son ou bruit du vent.

Ensuite nous sommes passés à une autre partie de notre travail. Nous avons transporté le problème vers un traitement d'un signal audio pour cela nous sommes servis du programme Matlab avec des fonctions implémentés pour faire

le traitement de signal du son de vent. En commençant par la représentation temporelle et fréquentielle et le spectre de densité Nous sommes allés dans tous les sens du traitement de signal (méthode DEMO, Ondelettes,...) sans vain. Les résultats obtenus ne sont pas concluants, elles ne sont même pas suffisantes.

Après un mois de blocage nous avons trouvé une solution : 'le capteur virtuel'. Pour réaliser le montage de ce capteur virtuel, nous avons utilisés Simscape sous Matlab qui nous a aidés à réaliser notre capteur avec des composantes trouvées dans la bibliothèque de Simscape et celle de Simulink. Le capteur est constitué de cinq blocs : capteur, conditionneur, amplificateur, filtre et affichage. Et il est inspiré d'une instrumentation de l'industrie.

Les capteurs virtuel sont actuellement utilisés pour mesurer une grandeur non mesurable, lorsque la mesure physique ou l'implantation d'un capteur réel est impossible, ou encore quand les modèles classiques atteignent leurs limites : trop lents, trop peu précis, trop éloignés de la grandeur à mesurer. On les retrouve dans le présent travail lorsque le capteur physique ou sa maintenance sont trop chers.

Le dernier blocage que nous n'avons pas pu surmonter, est le manque d'une soufflerie .ce qui a freiné l'étape de l'étalonnage et la finalisation ainsi que la détermination des caractéristiques comme la sensibilité et la plage de mesure.

Nous espérons avoir posé la première pierre concernant cette méthode là pour le remplacement des capteurs spécifiques par des capteurs grand publique associé à des capteurs virtuels ou des modèles qui emploient des données mesurées pour déterminer, par calcul, les valeurs de grandeurs non mesurées.

Néanmoins les résultats de ce modeste travail constituent les bases d'un travail à poursuivre et à améliorer pour une étude beaucoup plus approfondie et aussi agrandir la superficie de cette méthode à d'autres applications (par exemple : détecteur acoustique de drone) qui pourra faire l'objet d'une thèse de doctorat.

---



# Bibliographie

- [1] *Wikipédia, historique des anémomètres.*
- [2] *Solo Frey et la Roulotte . le microphone . 2012.*
- [3] *Jésuites de Trévoux. dictionnaire de Trévoux . 3ème édition publié en 1732.*
- [4] *N.Chaggaga. support de cours des capteurs. 2018.*
- [5] *Juan. P. Bello. microphone, université de New York 2013.*
- [6] *Documentation interne de l'organisation mondiale de la météorologie.*
- [7] *J.P.Schon. Excitation paramétrique dans les anémomètres à fil , D.E.A, université de Lyon 1968.*
- [8] *Rafik Bel Hadj Taher . conception d'un anémomètre à fil chaud à large bande passante,projet de fin d'étude pour obtenir master 2, université de Québec 2016.*
- [9] Article : anémomètre. *sur oméga-engineering*, posté 28 août 2018.
- [10] *Wikipédia . anémomètre à Laser , 3 mai 2019.*
- [11] <http://www.lasonotheque.org>.
- [12] <http://www.universal-soundbank.com>.
- [13] *Quand les capteurs deviennent virtuel . Article sur cetim.fr , 16 février 2016.*
- [14] *C.Ling . Étude de l'amplificateur opérationnel, École supérieure de Biotechnologie de Strasbourg 7 décembre 2005.*
- [15] *Amarouche Mohand Larbi . Étude et automatisation d'un filtre à sable au niveau d'une station d'épuration Cevital, , projet de fin d'étude pour obtenir master 2, université de Bejaia 2017.*

## **Autres sites web consultés :**

<http://fr.Wikipédia.org>.

<http://www.technique-ingenieur.fr>

<http://www.composelect.com>.

<http://www.Omega.fr>.

<http://www.cetim.fr>.

## ملخص :

بشكل عام، يتطلب قياس سرعة الرياح استخدام أجهزة لقياس سرعة الرياح من أنواع مختلفة يتم بناؤها استناداً إلى أجهزة استشعار محددة. يقدم مشروع نهاية الدراسة هذا أول دراسة حول إمكانية إنتاج جهاز لقياس سرعة الرياح دون أجهزة استشعار محددة. تتكون هذه الدراسة من معالجة تسجيلات صوت الرياح الصاخبة التي يتم إجراؤها بواسطة ميكروفون أساسي ضمن برنامج MATLAB. يتم ترشيح الإشارة الصوتية للرياح لعزل صوت الرياح عن الضجيج، من أجل جمع توصيف صوتي متغير وفقاً لسرعة الرياح. تمثل نتائج معالجة الإشارة التي تم الحصول عليها أقصى سعة للصوت، وسيتم ترجمة هذه السعة إلى قيمة جديدة باستخدام مستشعر افتراضي مصنوع من نافذة Simscape من نفس برنامج MATLAB. في النهاية، تعتبر القيمة الجديدة التي قدمها المستشعر بمثابة سرعة الرياح. الكلمات الرئيسية: مقياس سرعة الرياح. مستشعر افتراضي معالجة الإشارة؛ سرعة الرياح.

## Résumé :

En générale la mesure de la vitesse du vent nécessite l'utilisation des anémomètres de différents types qui sont construit à base de capteurs spécifiques. Ce projet de fin d'études présente une première étude sur la possibilité de réaliser un anémomètre sans capteur spécifiques. Cette étude consiste a traité des enregistrements du son du vent bruité naturellement effectuer par un microphone basique sous logiciel MATLAB. Le signal audio du son du vent subit un filtrage pour isoler le son du vent des bruissements induit par ce dernier, afin de récolter une caractérisation acoustique variable en fonction de la vitesse du vent. Les résultats du traitement du signal obtenu représentent une amplitude maximale du son, cette amplitude sera traduite à une nouvelle valeur à l'aide d'un capteur virtuel réalisé avec la fenêtre Simscape du même logiciel MATLAB. A la fin la nouvelle valeur donnée par le capteur est considérée comme une vitesse du vent.

Mots clés : anémomètre ; capteur virtuel ; traitement du signal ; vitesse du vent.

## Abstract :

In general, the measurement of wind speed requires the use of anemometers of different types that are built on specific sensors. This end-of-study project presents an initial study on the possibility of carrying out an anemometer without a specific sensor. This study consists of the recording of the sound of the noisy wind naturally performed by a basic microphone under MATLAB software. The audio signal of the sound of the wind is filtered to isolate the sound of the wind from the sound induced by the latter, in order to collect an acoustic characterization variable according to the speed of the wind. The results of the processing of the obtained signal represent maximum amplitude of the sound; this amplitude will be translated to a new value using a virtual sensor realized with the Simscape window of the same MATLAB software. At the end the new value given by the sensor is considered as a wind speed.

Key words: Anemometer; virtual sensor; signal processing; wind speed.