

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA.

Institut d'Aéronautique et Etudes Spatiales.



Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Aéronautique

Option : *CNS/ATM*

THEMES

**Utilisation de la décorrélation adaptative
symétrique pour réduire le bruit acoustique
au bord des avions.**

Elaboré et présenté par :

- **Benhellal Yacine.**
- **Kaddour Nawel.**

Encadré par :

-Dr Boudani

Promotion : 2019

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements et nos profondes reconnaissances à :

Monsieur Boudani , notre encadrant de mémoire de fin d'étude, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche .

Aux professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant nos recherches.

Nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous ; « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous nous avez donnés un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Nous sommes redevables d'une éducation dont on est fières ».

Nos frères et nos sœurs pour leurs encouragements et leur soutien inconditionnel.

Nos Ami(e)s que nous aimons tant, pour leurs sincère amitié et confiance et à qui nous devons notre reconnaissance et notre attachement.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

*Je souhaite dédier ce modeste travail, synonyme de
concrétisation de tous mes efforts fournis
ces dernières années d'études*

*À :
Ma chère mère
« Abla »*

*Mon père
« Saad »*

*Mes frères
Et
Mes chères soeurs*

-Tous mes Amis et à toute la promotion 2018-2019

Benhellal yacine.

Dédicace

*Je souhaite dédier ce modeste travail, synonyme de
concrétisation de tous mes efforts fournis
ces dernières années d'études*

À :

*Ma chère mère
« Fatiha »*

*Mon père
« Abd El Kader »*

*Mon frère
« Mohammed »*

*Mes très chères soeurs
« Amina et Rania »*

-Tous mes Amis et à toute la promotion 2018-2019

Kaddour Nawel.

Liste des tableaux

Tableau II. 1. Découpage en octaves (Hz).

Tableau III. 1. Une classification des sources de bruit à bord des avions

Tableau V. 1. Les valeurs moyennes du RSB de sortie calculée avec l’algorithme SAD en utilisant le bruit d’avion Cessna 172.

Tableau V. 2. Les valeurs moyennes du RSB de sortie calculée avec l’algorithme SAD en utilisant le bruit d’avion A320

Tableau V. 3. Les valeurs moyennes du RSB de sortie calculée avec l’algorithme SAD en utilisant le bruit d’avion B737.

LISTE DES FIGURES

- Figure I.1** : schéma de classification des signaux .
- Figure I.2** : schéma de types des signaux.
- Figure I.3** : signal contenu.
- Figure I.4** : signal périodique.
- Figure I.5** : signal non-périodique
- Figure I.6** : classification morphologique
- Figure I.7** : Classification phénoménologique
- Figure I.8** : Signal quantifié
- Figure I.9** : Signal échantillonné
- Figure I.10** : Signal numérique
- Figure I.11** : Signal hautes fréquences
- Figure I.12** : Signal basses fréquences
- Figure I. 13.** Signal à bande étroite
- Figure I. 14.** Signal à large bande.
- Figure I.15** : Spectre électromagnétique.
- Figure I.16** : schéma de différents systèmes de traitement
- Figure I.17** : Schéma général d'un système de filtrage adaptatif
-
- Figure II.1** : Bruit blanc avec son spectrogramme
- Figure II.2** : Un bruit rose avec son spectrogramme
- Figure II.3** : Propagation du son.
- Figure II.4** : Mouvement vibratoire d'une lame
- Figure II.5** : La différence entre un son grave et un autre aigu.
- Figure II.6** : Voies de transmission du bruit dans le bâtiment

Figure III. 1 : schéma de .

Figure III. 2 : le bruit aérodynamique

Figure III. 3 : Évolution du bruit de jet.

Figure III. 4 : Vibrations de la structure provoquées par de moteur

Figure III. 5 : Bruit de la turbulence aérodynamique

Figure III. 6 : Voies de transfert du bruit du moteur dans la cabine

Figure III. 7 : Voies de transfert du bruit des hélices dans la cabine

Figure III. 8 : Contrôle passif des vibrations

Figure III. 9 : Le contrôle actif des vibrations

Figure IV. 1 : Structure du mélange convolutif complète.

Figure IV. 2 : Structure du mélange convolutif.

Figure IV. 3 : Structure symétrique directe « Forward »

Figure IV. 4 : Structure symétrique récursive « Backward »

Figure IV. 1. Structure du mélange convolutif complète

Figure IV. 2. Structure du mélange convolutif

Figure IV. 3. Structure symétrique directe « Forward »

Figure IV. 4. Structure symétrique récursive « Backward »

Figure IV. 5. Modèle de mélange simple (entre le signal de la parole et le bruit)

Figure IV. 6. Modèle de mélange complexe (entre le signal de la parole et le bruit)

Figure IV. 7. L'annuleur adaptatif classique de bruit

Figure IV. 8. La structure de decorrelationsymetrique adaptative (SAD)

Figure IV. 9. Implementation de la structure Forward

Figure IV. 10. Implémentation de la structure Backward

Figure V. 1 : Les deux réponses impulsionnelles simulées h12 et h21 respectivement

Figure V. 2 : Signal de parole utilisé (original) et son spectre respectivement ($F_c=8\text{KHz}$)

Figure V. 3 : Bruit blanc et son spectrogramme respectivement

Figure V. 4. Bruit avion A320 et son spectrogramme respectivement

Figure V. 5. Bruit avion Cessna 172 et son spectrogramme respectivement.

Figure V. 6. Bruit avion B747 et son spectrogramme respectivement.

Figure V. 7.Signal de parole utilisé avec la segmentation manuelle.

Figure V. 8. Signal du mélange (signal bruité) p1.

Figure V. 9. Signal du mélange (signal bruité) p2

Figure V. 10. Représentation de l'erreur quadratique moyenne (MSE) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit blanc.

Figure V. 11. Représentation du critère de désajustement (SM) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit blanc.

Figure V. 12. Représentation de la fonction de décorrélation employée dans le SAD.

Figure V. 13. Signal rehaussé e1 (signal de sortie) et son spectre respectivement dans le cas d'un bruit blanc

Figure V. 14. Signal rehaussé e1 (signal de sortie) et son spectre respectivement dans le cas d'un bruit blanc.

Figure V. 15. Représentation de l'erreur quadratique moyenne (MSE) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type A320.

Figure V. 16. Représentation du critère de désajustement (SM) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type A320.

Figure V. 17. Représentation de la fonction de décorrélation employée dans la SAD.

Figure V. 18. Représentation de l'erreur quadratique moyenne (MSE) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type B747.

Figure V. 19. Représentation du critère de désajustement (SM) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type B747.

Figure V. 20. Représentation de la fonction de décorrélation employée dans la SAD.

Figure V. 21. Représentation de l'erreur quadratique moyenne (MSE) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type Cessna 172.

Figure V. 22. Représentation du critère de désajustement (SM) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type Cessna 172.

Figure V. 23. Représentation de la fonction de décorrélation employée dans la SAD.

ملخص

في الاتصالات اللاسلكية (الهاتف المحمول) داخل الطائرة الاشارة الصوتية المرسله تتأثر بعدة عوامل منتجة للضوضاء (الاهتزازات, تدفق الهواء, الاحتكاكات)

توجد عدة تقنيات لنزع الضوضاء مثل تقنية تفرقة المصادر و هيتقنية حديثة في ميدان معالجة الاشارة هذاالاخيرة تركز على اشارة الصوت و الضوضاء المستقلين من حيث المنبع و الممزوجين خطيا داخل الطائرة.

مشروعنا يهدف الى تحسين اشارة الصوت بواسطة التكيفية و قد ركزنا على هياكل نزع الضوضاء ثنائي الالتقاط (مستشعر مزدوج) و استعملنا خوارزمية الانفصال التكيفي المتمائل SAD المطبق على الهيكل المسمى نحو

الامام. Forward

RESUME

Dans la téléphonie mains-libres en avion, le signal de parole à transmettre est fortement perturbé par la présence du bruit de l'avion dont les origines sont diverses et difficilement contrôlables (vibrations, écoulement de l'air, frottements,).

Il existe plusieurs techniques d'annulation du bruit comme la séparation de source qui est une technique relativement récente dans le domaine du traitement du signal.

Cette dernière est basée sur l'indépendance de la parole et le bruit qui linéairement mélangés et indépendants.

Notre projet a pour but de rehausser un signal de parole par les méthodes adaptatives.

Nous basons sur les structures d'annulation du bruit bi-capteur, nous utilisons l'algorithme de décorrélation symétrique adaptatif (SAD) appliqué à la structure dite Forward.

ABSTRACT

In hands-free telephony in airplane, speech signals are strongly corrupted by an additive noise that originates from vibrations, frictions, air flow. There are several techniques of noise cancellation as the source separation which is a relatively new technique in the field of signal processing. The latter is based on the independence of speech and noise which is mixed linearly and independently.

The aim of our project is to enhance the speech signal by adaptive methods. We focus on the two-sensor cancellation structures, we used the symmetric adaptive decorrelation algorithm (SAD) applied on structure called Forward.

INTRODUCTION GENERALE

A l'heure où les communications sont couramment utilisées, il peut toujours être intéressant d'améliorer la qualité du signal transmis. Ainsi dans un milieu ambiant très sonore comme le cockpit d'un avion, le bruit interne de l'avion devient un facteur important car il peut causer différents problèmes de santé à l'équipage et les passagers ou perturber la communication orale des pilotes et ainsi de réduire la sécurité du vol, donc le signal que le microphone du pilote envoie ne sera pas de bonne qualité sans un débruitage.

Le débruitage comprend l'ensemble des techniques qui permettent d'annuler le bruit contenu dans un signal. Le bruit étant un composant indésirable, il est nécessaire de l'éliminer le plus possible pour recueillir le signal qui nous intéresse.

L'objectif de ce projet de fin d'étude est le rehaussement de la communication bruitée dans un avion par l'algorithme de décorrélation adaptative symétrique (SAD) appliqué à une architecture d'annulation de bruit avec présence d'interférences. Partant de l'hypothèse que le signal et le bruit sont décorrélés et stationnaire, l'idée est de chercher à estimer un signal utile à partir des observations très bruitées mesurées principalement dans des cockpits d'avions.

La présentation de notre projet de fin d'étude est divisée en cinq chapitres :

- **Chapitre I** : présente des généralités et les principaux outils mathématiques du traitement du signal.
- **Chapitre II** : décrit les différents types de bruit acoustique dans l'environnement.
- **Chapitre III** : décrit le bruit dans l'avion et quelque méthode de réduction de bruit dans l'habitacle de l'avion.
- **Chapitre IV** : consacré à l'étude analytique du problème.
- **Chapitre V** : dédié à la présentation des résultats de simulation de la réduction du bruit dans différents cockpits d'avions.

I.1. Introduction :

Le traitement du signal aujourd'hui c'est la chose la plus importante pour l'industrie et l'avancement des techniques, et avant d'entamer des chapitres sur le bruit, il faut avoir quelques notions de base sur le traitement du signal.

Les signaux à traiter peuvent provenir de sources très diverses, mais la plupart sont des signaux électriques ou devenus électriques à l'aide de capteurs et transducteurs (microphones, rétines, senseurs thermiques, optiques, de pression, de position, de vitesse, d'accélération et en général de toutes les grandeurs physiques et chimiques).

On verra dans ce chapitre des opérations mathématique plus souvent utilisés dans le traitement du signal sur différents types de signaux.

I.2. Définitions :

I.2.1. Signal :

Un signal est la représentation physique de l'information qu'il transporte de sa source à son destinataire. Il sert de vecteur à une information. Il constitue la manifestation physique d'une grandeur mesurable (courant, tension, force, température, pression, etc.). Les signaux, considérés dans ce projet, sont des grandeurs électriques variant en fonction du temps $s(t)$ obtenues à l'aide de capteurs. Mais le traitement du signal s'applique à tous les signaux physiques (onde acoustique, signal optique, signal magnétique, signal radioélectrique, etc.)[1].

I.2.2. Théorie du signal :

La théorie du signal a pour objectif fondamental la description mathématique des signaux. Cette représentation commode du signal permet de mettre en évidence ses principales caractéristiques (distribution fréquentielle, énergie, etc.) et d'analyser les modifications subies lors de la transmission ou du traitement de ces signaux [1].

I.2.3. Traitement du signal :

Le traitement du signal est la discipline technique qui, s'appuyant sur les ressources de l'électronique, de l'informatique et de la physique appliquée, a pour objet l'élaboration ou l'interprétation des signaux. Son champ d'application se situe donc dans tous les domaines concernés par la perception, la transmission ou l'exploitation des informations véhiculées par ces signaux [1].

I.3. classification et types des signaux :

On peut classifier les signaux à partir de plusieurs paramètres, les différents paramètres nous donnent des différents types de classement :

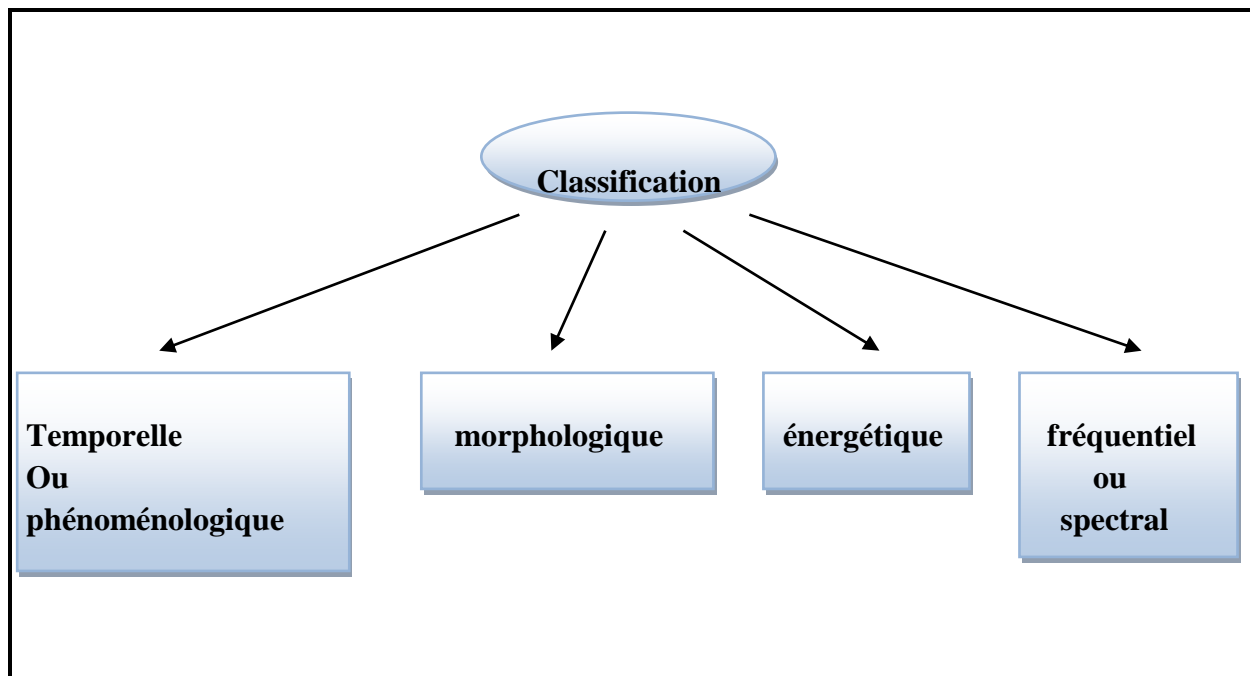


Figure I.1 : schéma de classification des signaux

I.3.1. Classification temporelle ou phénoménologique :

On peut simplifier les types des signaux de cette classification on utilise le schéma suivant :

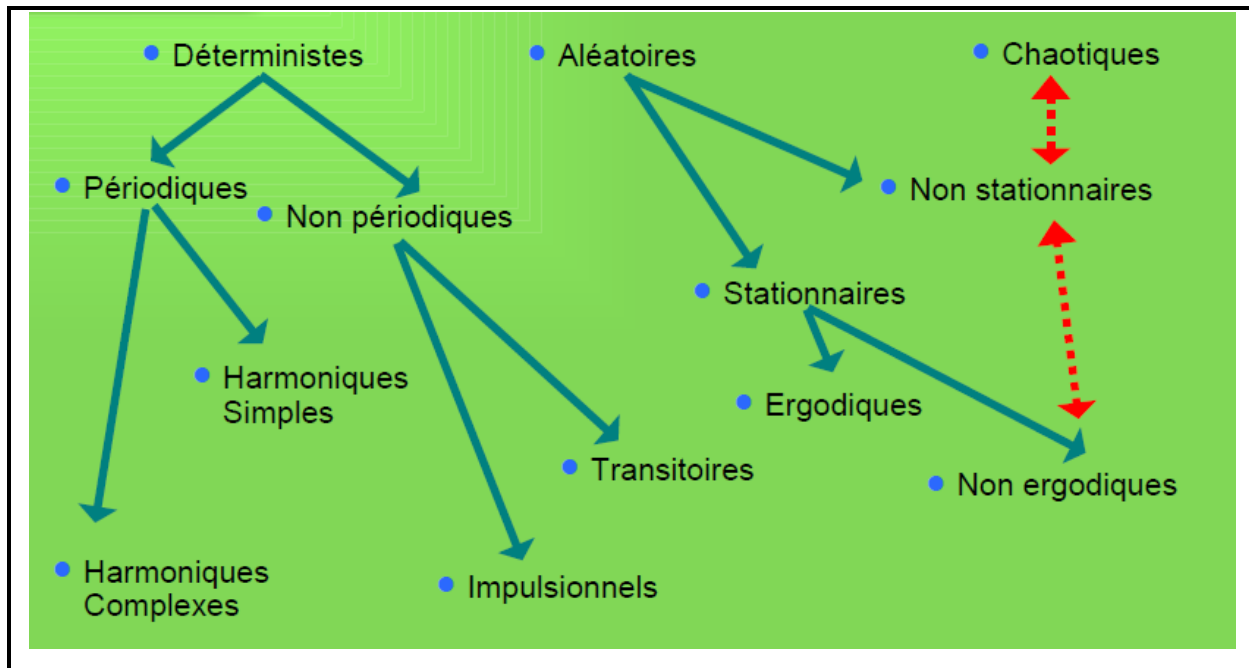


Figure I.2 : schéma de types des signaux

I.3.1.1. signaux déterministe :

Dits déterministes dont l'évolution en fonction du temps peut être parfaitement décrite par un modèle mathématique. Ces signaux proviennent de phénomènes pour lesquels on connaît les lois physiques correspondantes et les conditions initiales. Ces signaux « certains » peuvent en principe être reproduits rigoureusement identiques à eux-mêmes [2].

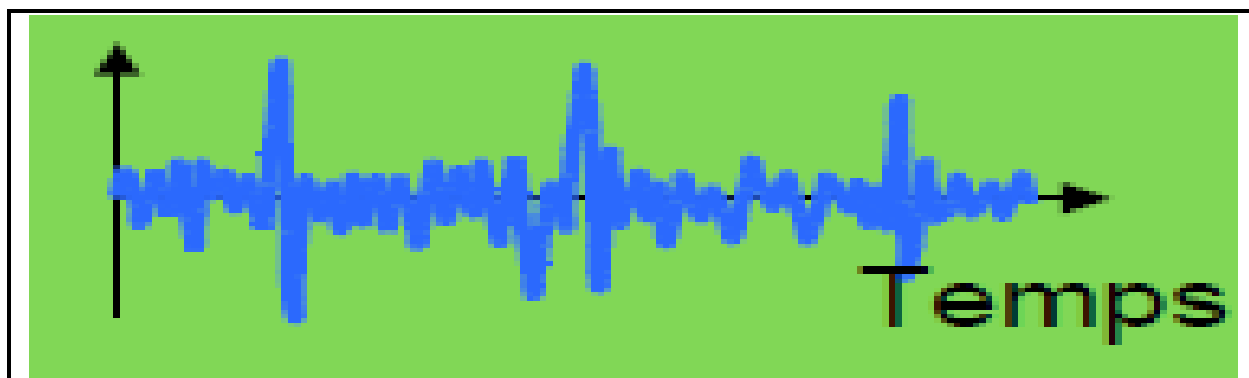


Figure I.3 : signal contenu

Il existe deux types de signaux déterministes :

- **les signaux périodiques :**

Un signal $s(t)$ est périodique de période T s'il satisfait à la relation :

$$S(t) = s(t + T) \text{ Pour tout } t \in \mathbb{R}. \quad (1.1)$$

On distingue :

- les signaux sinusoïdaux

$$S(t) = A \sin(\omega t + \alpha) \text{ avec } \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (1.2)$$

- les signaux pseudo-aléatoires (signal aléatoire qui se répète)
- les signaux périodiques composites.

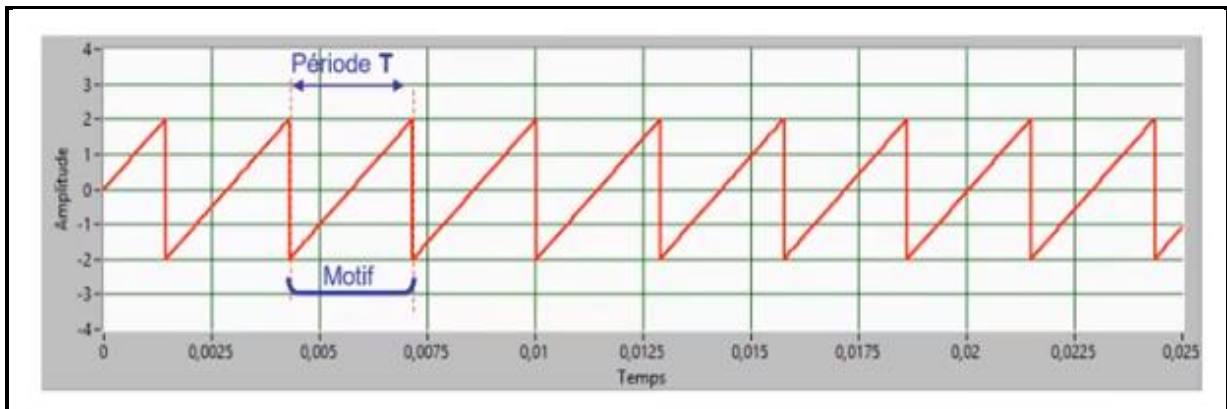


Figure I.4 : signal périodique

- **les signaux non-périodiques :**

Il ne satisfait pas la relation précédente. On sépare les signaux Quasi-périodiques qui résultent de la somme de signaux sinusoïdaux et les signaux transitoires qui ont une existence éphémère ou qui sont observés sur une durée finie (signaux de durée limitée ou à support borné) [3].

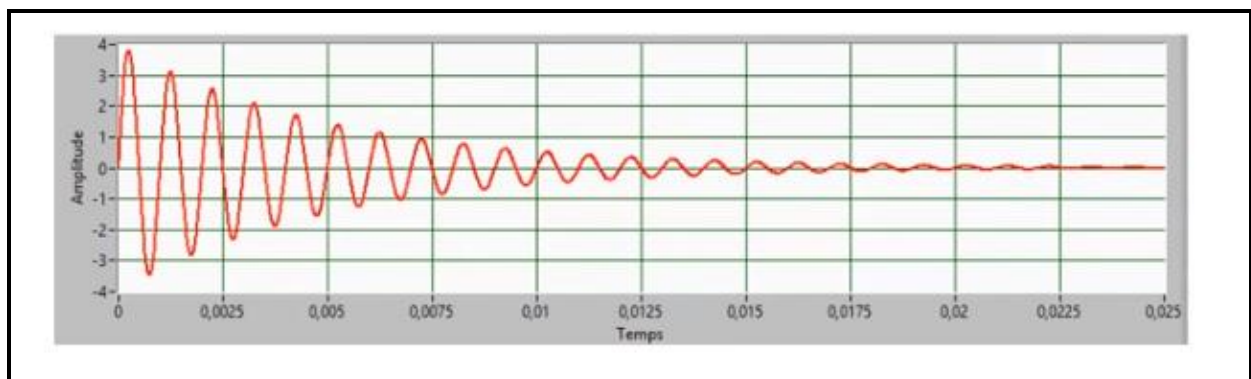


Figure I.5 : signal non-périodique

I.3.1.2. Signaux aléatoires :

Dits probabilistes dont le comportement temporel est imprévisible et pour la description desquels il faut se contenter d'observations statistiques. La plupart des signaux sont aléatoires car ils sont souvent bruités ou leur position sur l'axe des temps est inconnue. Ils sont dits stationnaires lorsque leur valeur moyenne est indépendante du temps, c'est à-dire que Les résultats de leur analyse statistique restent les mêmes quel que soit le moment où l'on en observe une partie déterminée. De plus ces signaux aléatoires stationnaires sont ergodiques s'il est identique de faire une moyenne statistique à un instant donné sur différents essais ou de faire une moyenne temporelle suffisamment longue sur un seul de ces essais [3].

I.3.2. Classification morphologique :

Le temps est un paramètre important de classification. Le traitement numérique des signaux conduit à faire la distinction entre les signaux dits à temps continus (signaux continus) et les signaux dits à temps discrets (signaux discrets ou échantillonnés). Un autre paramètre des signaux traités est à prendre en compte, c'est l'amplitude qui peut aussi être continue ou discrète (quantifiée) [3].

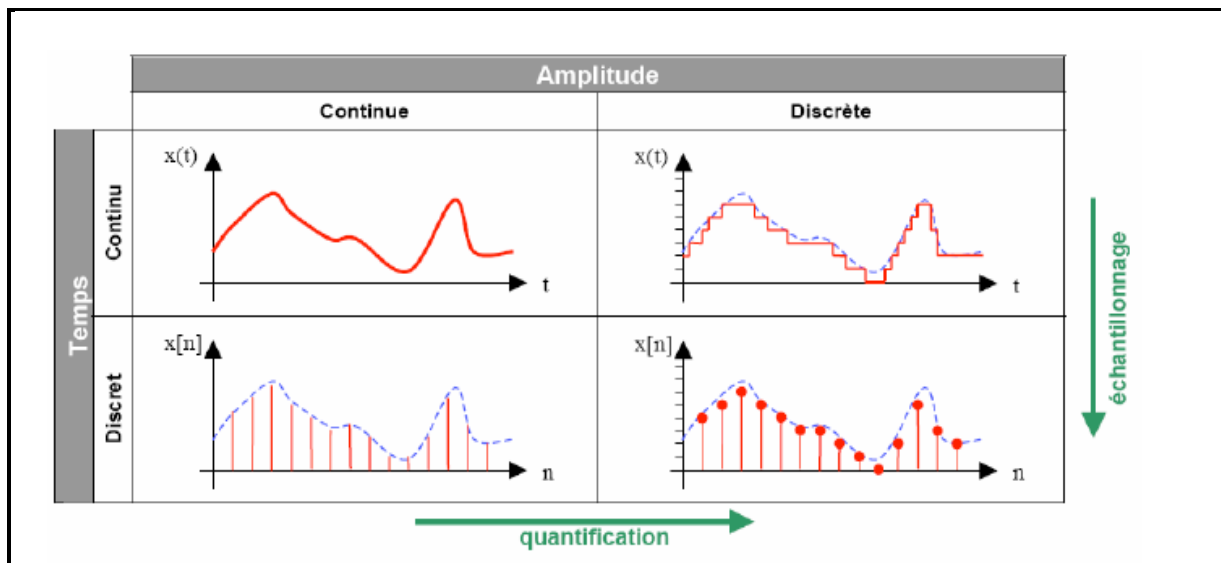


Figure I.6 : classification morphologique

- Signal à amplitude et temps continus (signal analogique) : $s(t)$.

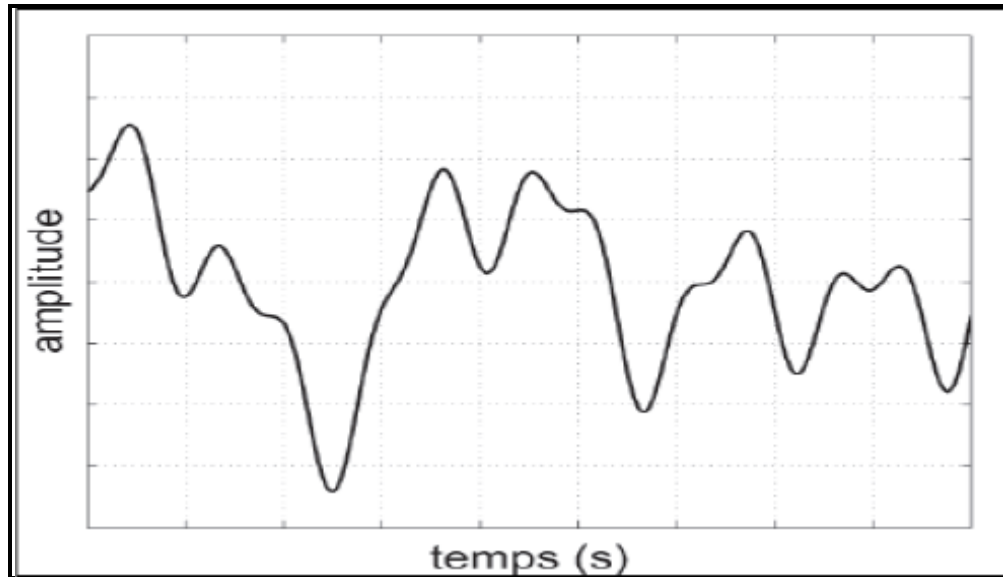


Figure I.7 : Classification phénoménologique

- Signal à amplitude discrète et temps continu (signal quantifié) : $s_q(t)$

Ce signal correspond à celui qui est fourni à la sortie d'un circuit convertisseur numérique-analogique pour la commande d'un actionneur [3].

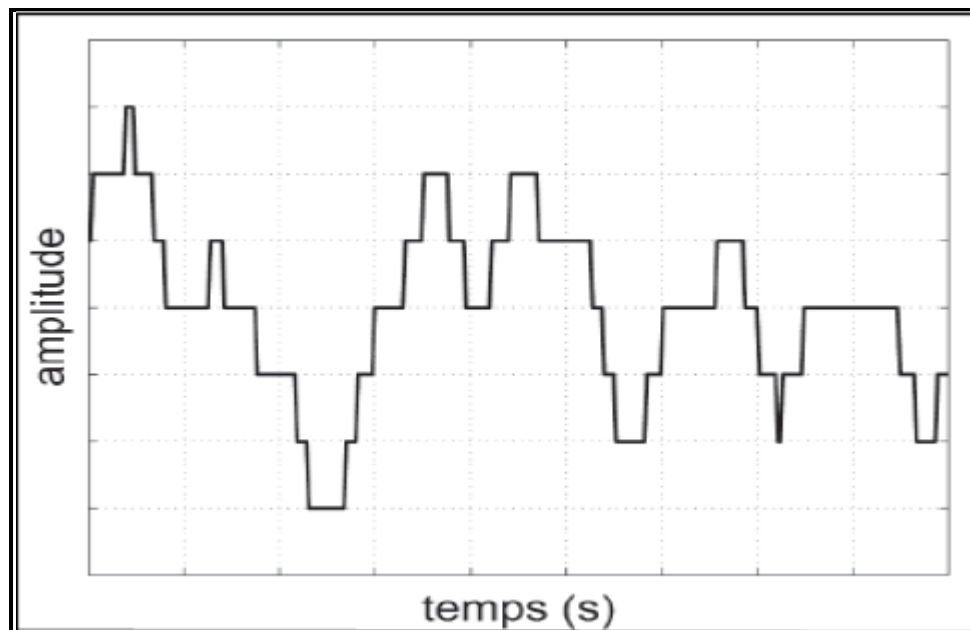


Figure I.8 : Signal quantifié

- Signal à amplitude continue et temps discret (signal échantillonné) : $s(nT_e)$

Ce signal, obtenu à l'aide d'un circuit échantillonneur-bloqueur, est transmis à un circuit convertisseur analogique numérique pour obtenir un signal numérique utilisable par un ordinateur [3].

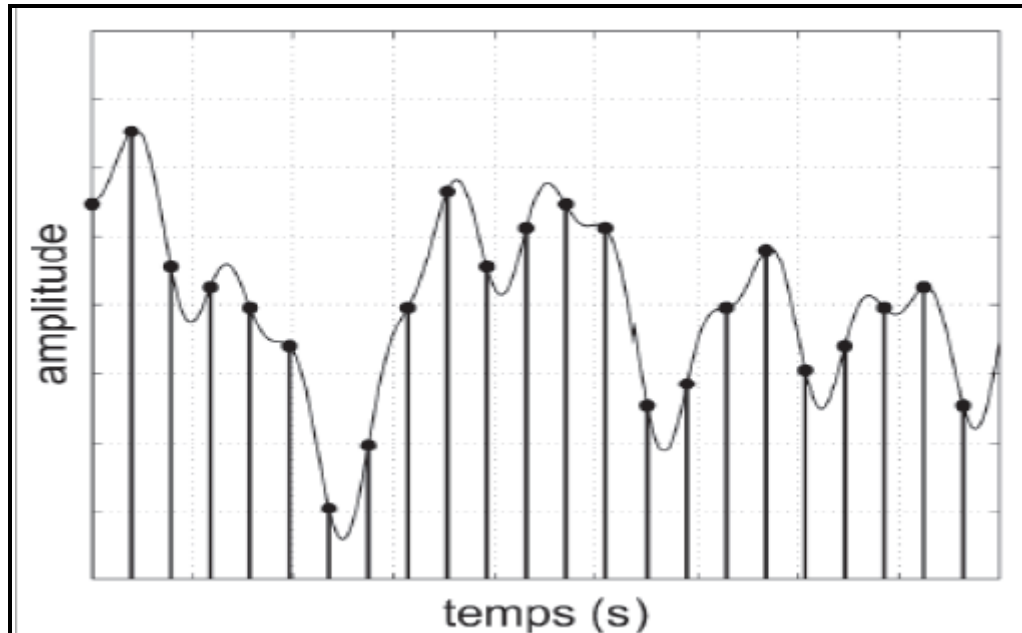


Figure I.9 : Signal échantillonné

- Signal à amplitude discrète et temps discret (signal logique ou numérique) : $s_q(nT_e)$.

Ce dernier cas correspond en réalité à une suite de nombres codés en binaire. Ces nombres, utilisés au sein d'un ordinateur, se transmettent sous la forme de plusieurs signaux de type numérique 0 V(0 logique) ou 5 V(1 logique) se propageant en parallèle :

8 signaux pour un nombre codé sur 8 bits.

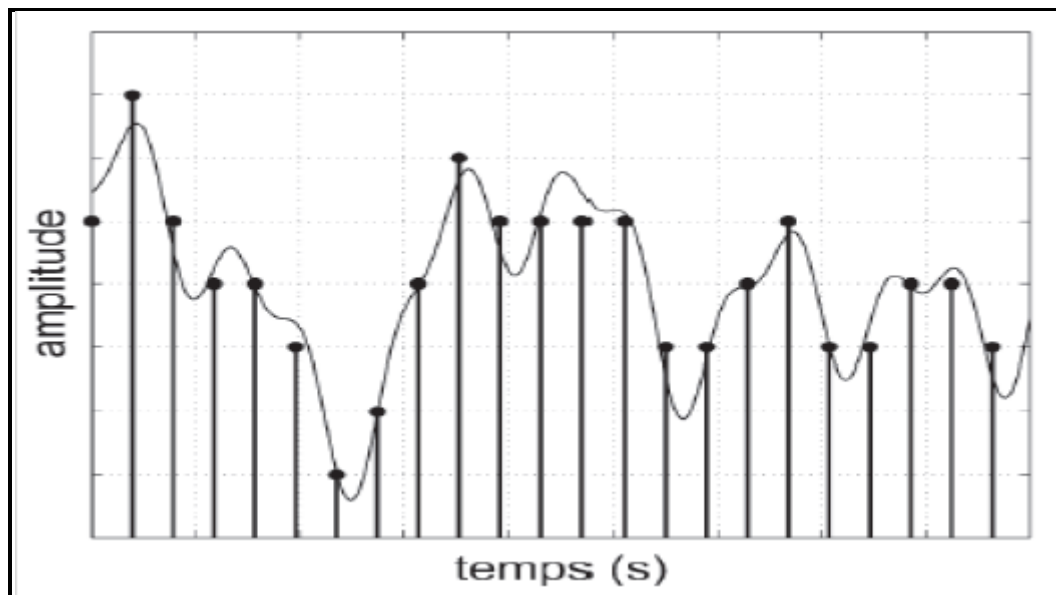


Figure I.10 : Signal numérique

I.3.3. Classification énergétique :

Une distinction fondamentale peut être faite entre deux grandes catégories de signaux :

- Les signaux à énergie finie.
- Les signaux à puissance moyenne finie non nulle.

La première catégorie comprend tous les signaux de type transitoire (de durée finie), qu'ils soient déterministes ou aléatoires.

La deuxième catégorie englobe presque tous les signaux périodiques, quasi-périodiques et les signaux aléatoires permanents [3].

I.3.4.classification fréquentielle ou spectral :

Spectre d'un signal : le spectre d'un signal est la représentation de son amplitude, de sa phase, de son énergie ou de sa puissance en fonction de sa fréquence f (exprimée en Hertz (Hz)). Ou de sa longueur d'onde λ (exprimée en mètre ou en nanomètre (nm))

Avec :

$$\lambda = c/f \quad (1.3)$$

Où $c = 300\,000 \text{ Km/s}$ représente la célérité de la lumière.

I.3.4.1. LARGEUR DE BANDE (OU LARGEUR SPECTRALE) :

C'est le domaine des fréquences occupé par le spectre d'un signal. Elle est définie comme la différence entre les fréquences maximum et minimum de ce spectre. En fonction de la largeur de bande et en fonction du domaine de fréquences dans lequel se situe le signal, différents types de signaux se distinguent :

- les signaux de hautes fréquences (HF) dont la largeur de bande est centrée sur des fréquences relativement importantes (figure I. 11).
- les signaux de basses fréquences (BF) dont la largeur de bande est centrée sur des fréquences relativement faibles (figure I. 12).
- les signaux à bande étroite dont la largeur de bande est relativement petite (figure I. 13).
- les signaux à bande large dont la largeur de bande est relativement grande (figure I. 14).

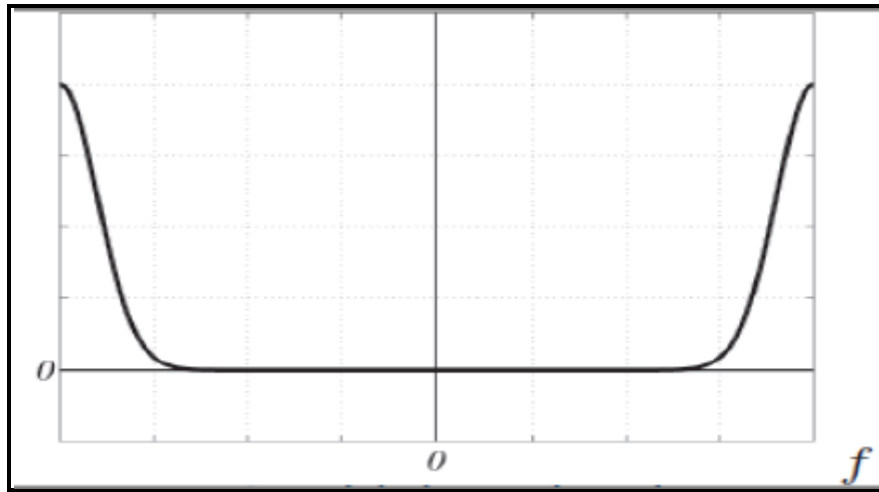


Figure I.11 : Signal hautes fréquences

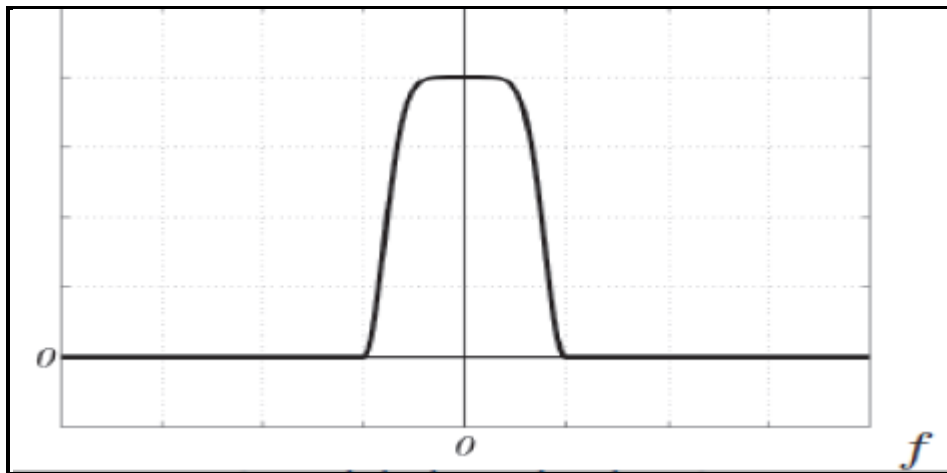


Figure I.12 : Signal basses fréquences

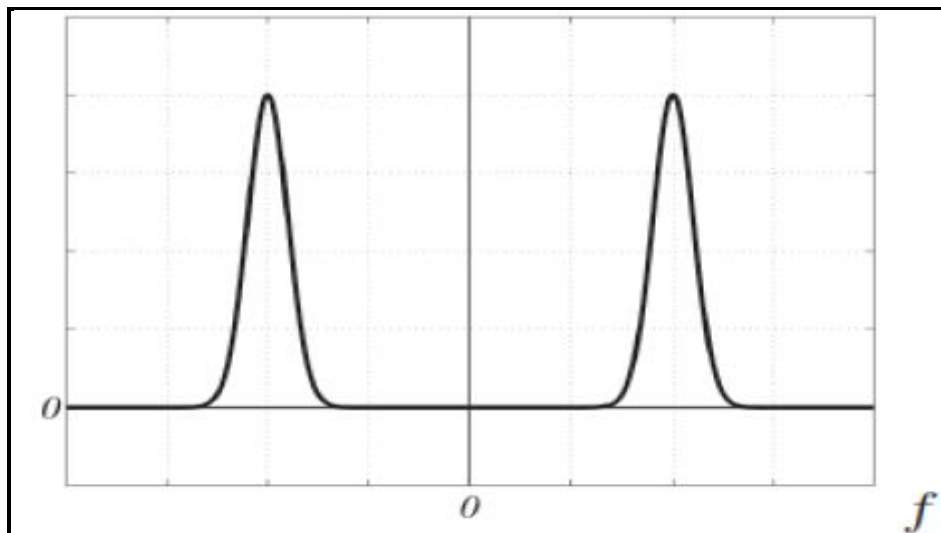


Figure I.13. Signal à bande étroite

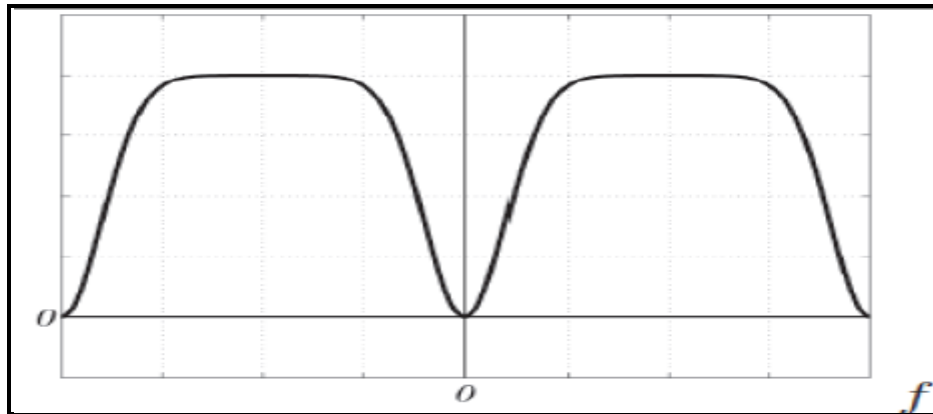


Figure I. 14. Signal à large bande.

I.3.4.2. Domaines de fréquences du spectre électromagnétique :

Le spectre électromagnétique est la description de l'ensemble des rayonnements électromagnétiques classés par fréquence, longueur d'onde ou énergie.

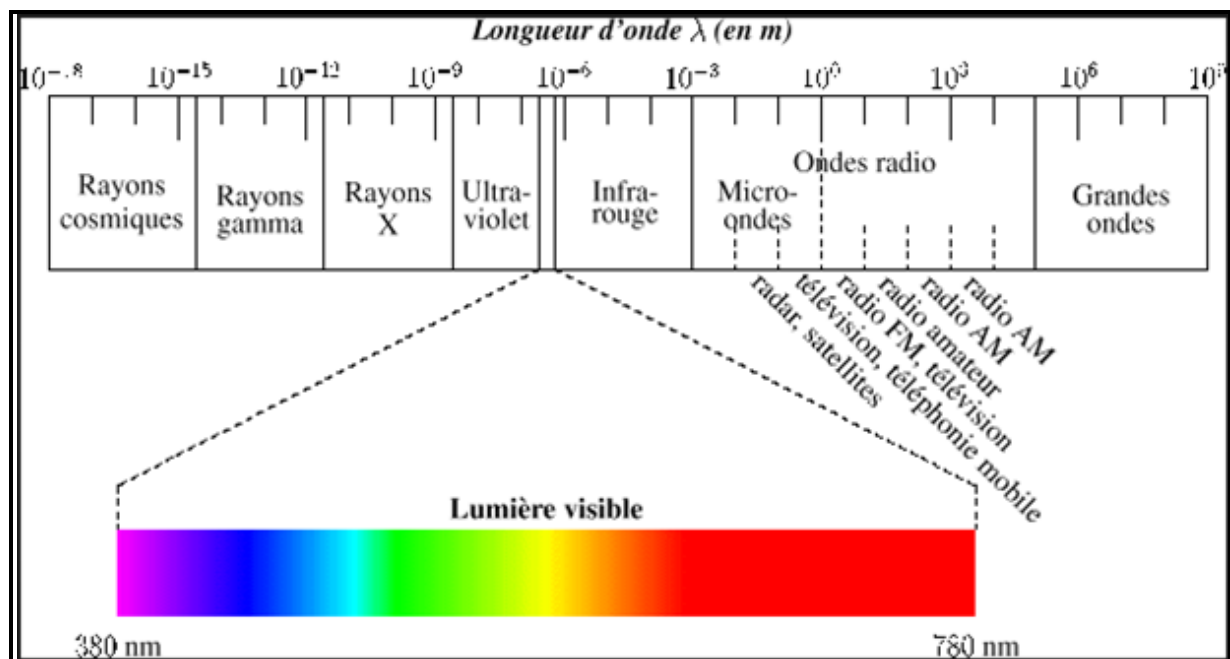


Figure I.15 : Spectre électromagnétique.

- ❖ Grandes ondes : très basses fréquences permettant le transport des sons audibles.
- ❖ Très basses fréquences (TBF) : entre 3 khz et 30 khz, elles font partie de la famille des grandes ondes.
- ❖ Basses fréquences (BF) : entre 30 khz et 300 khz, elles font partie de la famille des ondes radio.
- ❖ Moyennes fréquences (MF) : entre 300 khz et 3 Mhz, elles sont utilisées pour la radio AM (famille des ondes radio).

- ❖ Hautes fréquences (HF) : entre 3 Mhz et 30 Mhz, elles sont surtout utilisées pour la radio amateur (famille des ondes radio).
- ❖ Ultra hautes fréquences (UHF) : entre 300 Mhz et 3 Ghz, elles sont utilisées pour la télévision, la radio mobile, les téléphones cellulaires ainsi que les satellites. Elles font partie à la fois de la famille des ondes radio et de celle des micro-ondes.
- ❖ Super hautes fréquences (SHF) : entre 3Ghz et 30 Ghz, elles sont utilisées surtout pour les satellites et les radars (famille des ondes radio et des microondes).
- ❖ Extra hautes fréquences (EHF) : entre 30 GHz et 300 GHz, elles font partie de la famille des micro-ondes.
- ❖ Infra-rouge (IR) : entre 300 nm et 800 nm, ils sont utilisés pour les lasers, la photographie et la détection.
- ❖ Lumière visible : entre 800 nm et 400 nm, c'est la partie du rayonnement électromagnétique à laquelle nos yeux sont sensibles.
- ❖ Ultra-violet (UV) : les UVA (entre 400 nm et 320nm) sont les ondes qui provoquent le bronzage, les UVB (entre 320 nm et 290 nm) sont la cause des coups de soleil et les UVC (entre 290nm et 1 nm) ne parviennent pas à la surface de la terre.
- ❖ Rayons X : entre 0,003 nm et 3 nm, ils sont utilisés pour la radiographie, la photographie, la tomographie et les lasers à rayon X.
- ❖ Rayons Gamma : les rayons gamma sont des ondes électromagnétiques émises par des noyaux radioactifs et durant certaines réactions nucléaires [4]

I.4. les fonctions principales du traitement de signal :

Les fonctions du traitement du signal peuvent se diviser en deux catégories :

I.4.1. Elaboration des signaux :

- synthèse : création de signaux de forme appropriée en procédant par exemple à une combinaison de signaux élémentaires ;
- modulation : changement de fréquence : moyen permettant d'adapter un signal aux caractéristiques fréquentielles d'une voie de transmission ;
- codage: traduction en code binaire (quantification), etc [1].

I.4.2. Interprétation des signaux :

- filtrage: élimination de certaines composantes indésirables ;
- détection: extraction du signal d'un bruit de fond (corrélation) ;
- identification : classement d'un signal dans des catégories préalablement définies ;

- **analyse** : isolement des composantes essentielles ou utiles d'un signal de forme complexe (transformée de Fourier) ;
- **mesure** : estimation d'une grandeur caractéristique d'un signal avec un certain degré de confiance (valeur moyenne, etc) [1].

I.5. Classification des systèmes du traitement :

Les systèmes de traitement de signaux sont également classés selon la nature des signaux sur lesquels ils opèrent. On parle ainsi des :

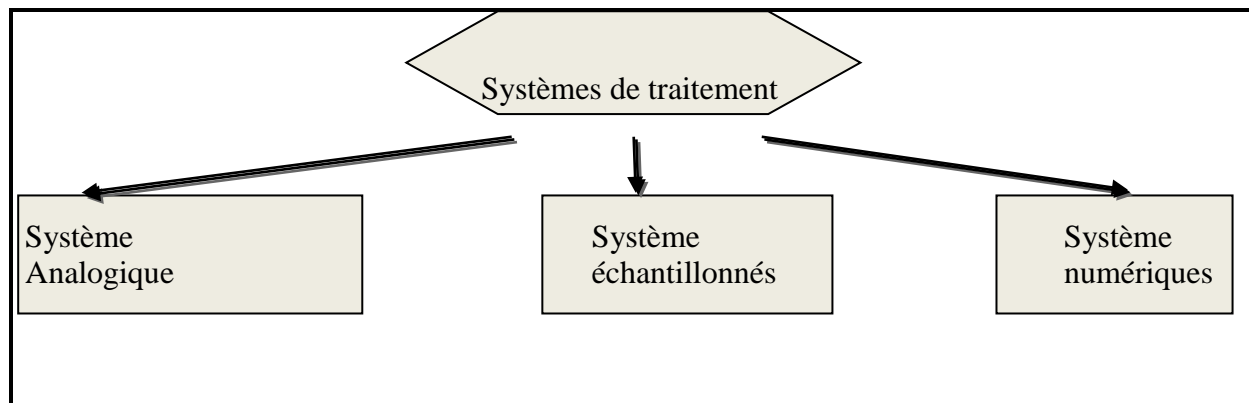


Figure I.16 : schéma de différents systèmes de traitement

➤ Systèmes analogiques :

Amplificateurs, filtres classiques, multiplicateurs, modulateurs de signaux, etc.

➤ Systèmes échantillonnés :

Circuits à transfert de charges, filtres à capacités commutées, etc.

➤ Systèmes numériques :

Filtres numériques, corrélateurs, transformateurs de Fourier et autres processeurs spécialisés.

On rencontre aussi des structures hybrides, par exemple : convertisseur analogique numérique.

I.6. Opérateurs linéaires utilisés pour le traitement du signal :

On peut distinguer deux classes d'opérateurs linéaires invariants:

I.6.1. Opérateurs de transformation orthogonale :

Pour lesquels les grandeurs d'entrées et de sorties sont fonction de variables différentes comme le temps t et la fréquence f dans le cas d'une transformation de Fourier

➤ Transformer de Fourier

Un transformateur de Fourier est caractérisé par un opérateur F qui, à tout signal $x(t)$, fait correspondre une fonction $X(f)$ définie ci-dessous :

$$\mathbf{X}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (1.4)$$

Dans le cas de signaux représentés sous forme échantillonnée ou numérique, l'opérateur

F est défini par :

$$\mathbf{X}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-2j\pi nk/N} \quad (1.5)$$

Où N est le nombre d'échantillons du signal pris en considération, et k et n sont respectivement les indices de discrétisation temporelle et fréquentielle. La transformation inverse est associée à l'opérateur f^{-1} défini dans le cas continu par :

$$\mathbf{X}(k) = \int_{n=0}^{N-1} X(f) e^{j2\pi ft} df \quad (1.6)$$

Et dans le cas discret par :

$$x(n) = N^{-1} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi \frac{nk}{N}} \quad (1.7)$$

I.6.2. Opérateurs de convolution :

Pour lesquels les grandeurs d'entrée et de sortie sont fonction d'une même variable indépendante, usuellement le temps.

Un opérateur de convolution est entièrement défini par sa réponse impulsionnelle, celle-ci est notée $g(t)$ ou $h(t)$ dans le cas continu: c'est la réponse à une excitation en forme d'impulsion de Dirac. Dans le cas discret, elle est notée $g(k)$ ou $h(k)$ et correspond à la réponse du système à un échantillon unité défini par $d(k) = 1$ pour $k = 0$ et $d(k) = 0$ pour $k \neq 0$ [1].

La réponse à une excitation quelconque est représentée par le produit de convolution

$Y(t) = x(t) * g(t)$ Qui dans le cas continu, prend la forme :

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{x}(t) * \mathbf{g}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) y(t - \tau) . d\tau \quad (1.8)$$

Et dans le cas discret :

$$\mathbf{Y}(k) = \mathbf{x}(k) * \mathbf{g}(k) = \sum_{-\infty}^{+\infty} x(i) g(k - i) \quad (1.9)$$

Le produit de convolution correspond à une sommation pondérée des valeurs (continues ou échantillonnées) du signal d'entrée: la fonction de pondération étant la réponse impulsionnelle.

I.6.3. Définition de la transformation en z :

Dans l'étude des signaux et systèmes à temps discret utilisant un échantillonnage régulier, on préfère à la description indirecte par transformée de Fourier celle obtenue à l'aide de la transformation en Z définie par :

$$G(z) = \sum_{-\infty}^{+\infty} g(k) z^{-k} \quad (1.10)$$

Où z est une variable complexe.

La transformation en z est liée à la transformation de Laplace bilatérale d'une fonction échantillonnée périodiquement. C'est une généralisation de la transformation de Fourier.

Elle s'identifie à cette dernière sur le cercle unité $z = \exp(j2\pi f)$.

I.6.4. Définition de la fonction de corrélation :

On définit la fonction d'autocorrélation du signal à énergie finie $x(t)$ par :

$$c_{xx}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\theta) x^*(\theta - t) d\theta \quad (1.11)$$

Et la fonction d'intercorrélation de deux signaux $x(t)$ et $y(t)$ à énergie finie est définie par :

$$c_{xy}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\theta) y^*(\theta - t) d\theta \quad (1.12)$$

La corrélation est une mesure de la similitude de forme et de position des signaux.

La corrélation discrète $C_{xy}(n)$ définie entre deux signaux discrets $x(n)$ et $y(n)$ à énergie finie est donnée par la relation discrète suivante :

$$c_{xy}(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} x(i) y^*(i - k) \quad (1.13)$$

Avec k représente le retard.

I.7. Filtrage adaptatif :

Un filtre adaptatif est un filtre numérique dont les coefficients se modifient eux-mêmes en fonction des signaux extérieurs. Il est utilisé chaque fois qu'un environnement est mal connu ou changeant, ou pour supprimer des perturbations situées dans le domaine des fréquences du signal utile, ce que les filtres classiques ne peuvent pas faire. Le rôle primordial d'un filtre adaptatif est d'ajuster un vecteur de paramètre W pour un objectif bien défini (minimisation de l'EQM : erreur quadratique moyenne). La **figure I.17** schématise le principe d'un filtre adaptatif bouclé par un algorithme d'adaptation.

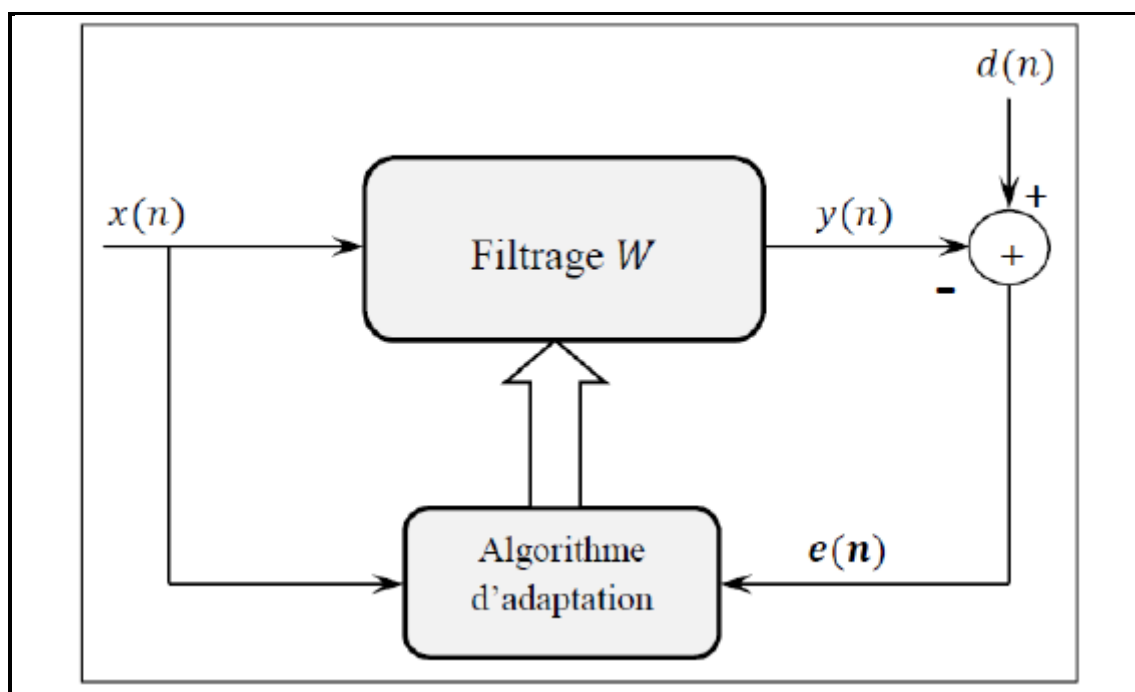


Figure I.17 : Schéma général d'un système de filtrage adaptatif.

La technique de filtrage adaptatif se décompose classiquement en deux étapes [9] :

- Une étape de filtrage qui permet d'obtenir une estimation du signal inconnu en convoluant le signal d'entrée $x(n)$ avec les coefficients du filtre adaptatif w . L'erreur d'estimation $e(n) = d(n) - y(n)$ est ensuite utilisée dans la partie adaptation pour mettre à jour les coefficients du filtre.
- Une étape d'adaptation qui permet d'ajuster les coefficients du filtre adaptatif w suivant un algorithme donné.

I.8. Conclusion :

Les principaux objectifs du traitement des signaux sont l'élaboration, la détection, et les interprétations de signaux porteurs d'informations. Cette discipline s'appuie essentiellement sur l'électronique et l'informatique. Elle trouve son champ d'application dans les domaines concernés par la perception, la transmission et l'exploitation d'informations. Ce vaste champ s'étend des télécommunications à l'instrumentation scientifique, de l'automatisation industrielle au génie biomédical, en passant par le traitement d'images, la reconnaissance de formes, la robotique, l'intelligence artificielle.

Ce chapitre permettra d'initier le lecteur aux prochains chapitres qui porteront sur le domaine de la réduction du bruit à l'intérieur d'un avion en utilisant des techniques de traitement du signal.

II.1.Introduction :

Les ondes acoustiques sont par définition, perceptibles par l'oreille humaine mais elles ne constituent qu'une partie des ondes mécaniques qui se transmettent par vibration de la matière. Il existe aussi des infrasons et des ultrasons dont les fréquences sont respectivement trop basses ou trop élevées pour être audibles.

Dans ce chapitre nous donnons quelques renseignements sur la nature du bruit et on va étudier convenablement le **bruit acoustique**.

II.2. Définition de Bruit :

Le bruit correspond à tout signal indésirable limitant l'intelligibilité d'un signal utile. D'habitude, dans l'analyse de signaux, on désigne par "bruit" une composante non désir du signal étudié, qui se manifeste sous forme de fluctuations non déterministes ou du moins imprévisibles [1].

II.3. Source de bruit :

Relativement au système considéré (filtre, détecteur, amplificateur, etc.), les sources de bruit sont classables en deux grandes catégories :

II.3.1. Bruits externes :

La source de bruit est localisée à l'extérieur du système et agit sur celui-ci par influence. On peut distinguer deux origines : les perturbations naturelles (bruits cosmiques, bruits atmosphériques) et les perturbations artificielles (parasites générés par des équipements électriques industriels). L'intensité de ces perturbations varie selon les lieux (zones rurales ou urbaines, logements ou usines, etc.). Ces perturbations peuvent être considérées comme négligeables au-delà d'une fréquence de quelques dizaines de MHz [1].

II.3.2. Bruits internes :

Les causes des perturbations internes à un système de traitement peuvent se classer en deux groupes : les perturbations impulsionnelles engendrées par des commutations de courants et le **bruit de fond** généré dans les câbles et les composants électroniques en raison des mécanismes statistiques de la conduction électrique. Deux composantes principales le constituent : bruit thermique (dans les circuits passifs comme les résistances), bruit de

grenaille (dans les composants actifs comme les diodes, transistors,...). Les perturbations impulsionnelles peuvent être souvent modélisées par des processus de Poisson (*cf.* annexes).

Ces perturbations externes ou internes peuvent être éliminées ou fortement diminuées par des blindages pour le premier groupe ou un mode de construction soigné en ce qui concerne les parasites impulsionnels ; mais le bruit de fond est irréductible pour une température donnée [1].

II.4. Couleurs de bruit :

La couleur du bruit est un système de termes inscrivant les couleurs définies aux certains types de signaux de bruit suivant l'analogie entre le spectre du signal d'un caractère arbitraire (Ou précisément, de sa densité spectrale ou en utilisant la langue mathématique, des paramètres de la distribution du processus aléatoire), et les spectres de couleurs différentes de la lumière visible. Les correspondances des couleurs de différents types de signal de bruit sont déterminées à l'aide des graphiques (histogrammes) de la densité spectrale, c'est-à-dire, la distribution de puissance du signal sur les fréquences [7].

II.4.1. bruit blanc :

Le bruit blanc est un signal de valeur moyenne nulle. Son spectre en amplitude est constant, ça densité spectrale est constante. La fonction d'auto corrélation temporelle du bruit blanc est une impulsion de Dirac.

Pratiquement, un tel bruit n'existe pas, mais on parlera de bruit blanc à chaque fois que son spectre de densité de puissance sera constant à l'intérieur de la bande passante utile du système étudié [7].

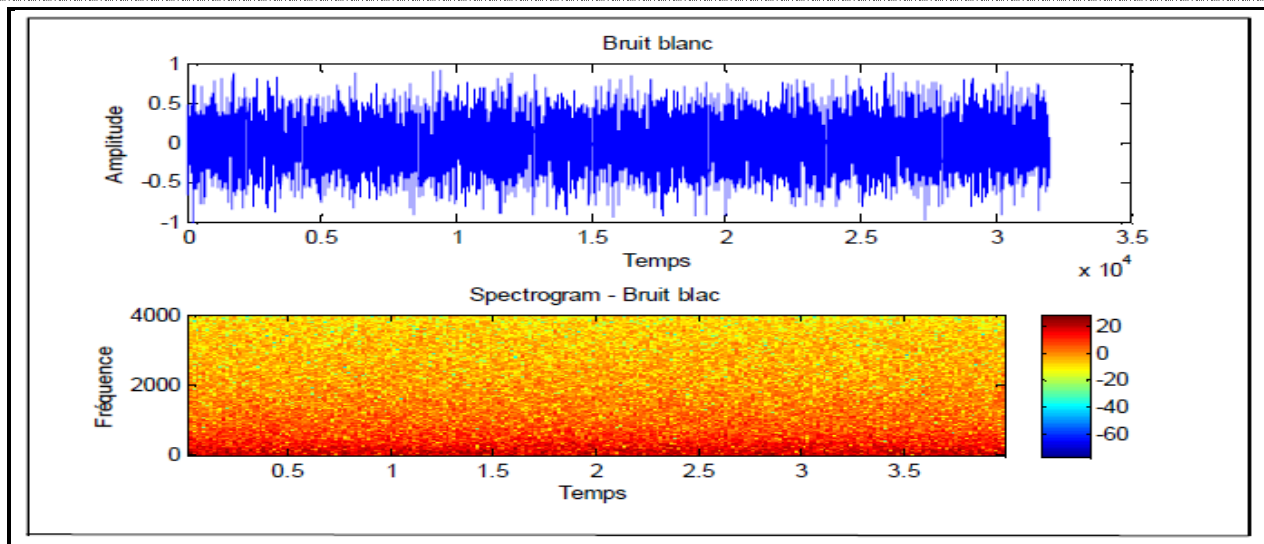


Figure II.1 : Bruit blanc avec son spectrogramme

II.4.2. Bruit rose :

Un bruit rose est un bruit dont le spectre en amplitude est inversement proportionnel à la fréquence.

En réalité, il s'agit d'un bruit blanc dont la densité spectrale de puissance est modélisée par une fonction porte de largeur $2F_b$.

(F_b) : Est la fréquence maximale du bruit rose.

La fonction d'auto corrélation du bruit rose est très étroite et centrée sur $t=0$ [7].

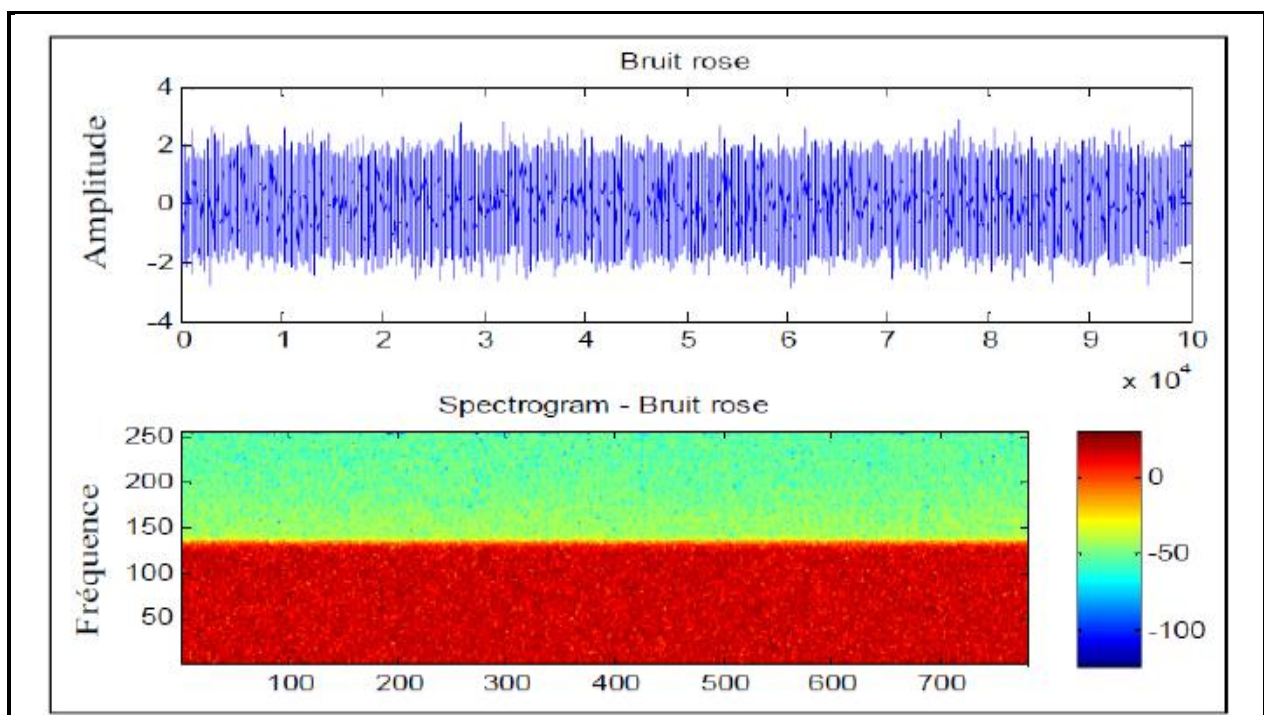


Figure II.2 : Un bruit rose avec son spectrogramme.

II.5. LE BRUIT ACOUSTIQUE

II.5.1 Définition du son :

Le son est une sensation auditive provoquée par une onde acoustique. D'un point de vue physique, c'est une vibration se propageant dans un milieu matériel, d'un point de vue physiologique, c'est un signal perçu par le sens de l'ouïe. Le son, c'est donc ce que l'oreille perçoit de la vibration d'un corps. Généralement il se propage sous la forme d'une onde dans l'air jusqu'à notre oreille, mais il se transmet aussi dans les liquides et dans les corps solides. Cet ébranlement de la matière se caractérise par une variation de pression se propageant de proche en proche. Plus la pression acoustique est grande, plus le volume sonore est important.

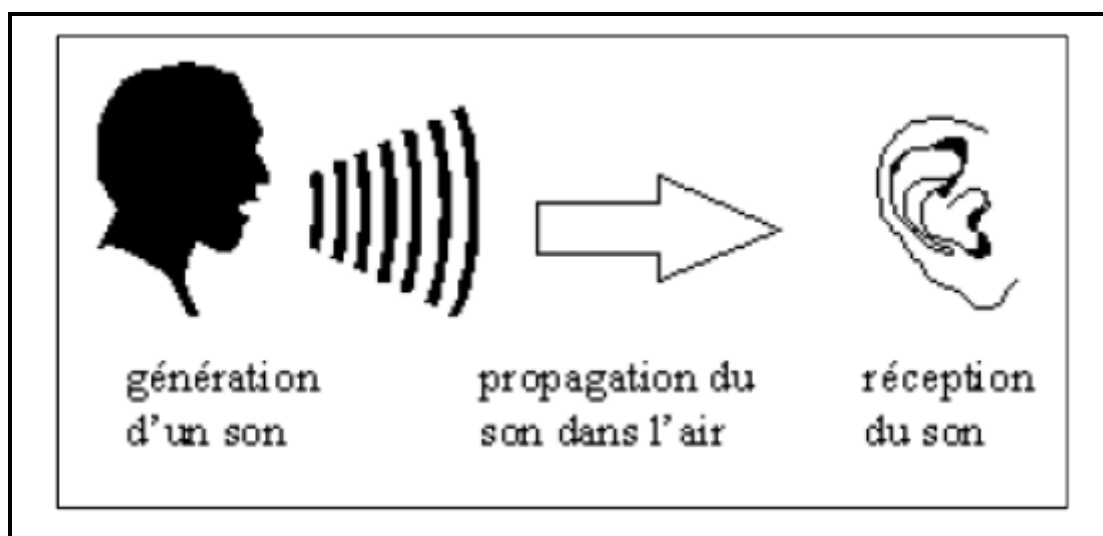


Figure II.3 : Propagation du son

De toutes les ondes acoustiques, seules certaines peuvent être perçues par l'oreille : Il s'agit des ondes dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 000 Hz (20 KHz). En dessous de 20 Hz, on parle d'infrasons et, au-dessus de 20 KHz, d'ultrasons [5].

II.5.2. L'origine d'un son :

Au départ, un son est initié par un objet animé d'un mouvement vibratoire. Une vibration est un mouvement d'oscillation rapide autour d'une position d'équilibre. C'est un déplacement périodique qui se répète à l'identique à intervalle de temps régulier. On peut observer ce phénomène à partir de systèmes mécaniques simples comme une lame ou une corde vibrante dont le principe est repris dans différents instruments de musique [5].

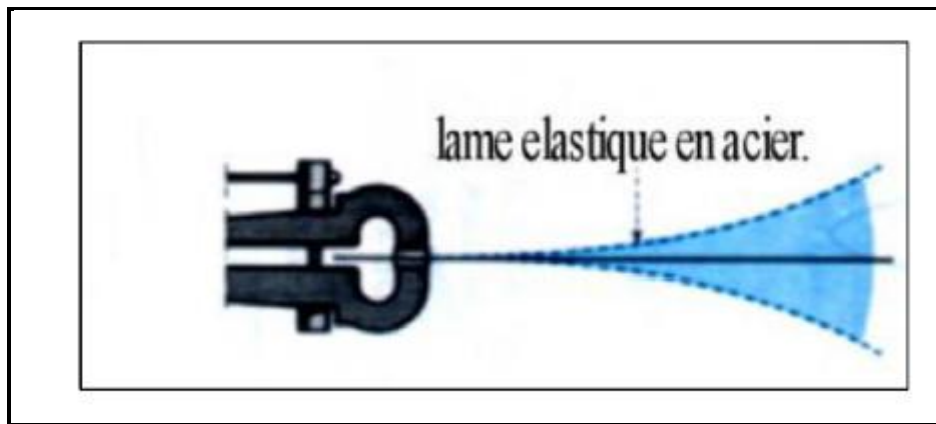


Figure II.4 : Mouvement vibratoire d'une lame

II.5.3. Caractéristique du son :

Un bruit (ou un son) se caractérise essentiellement par son niveau et sa fréquence.

✓ **Le niveau est la « quantité » de bruit**

Il se compte en décibels, notés « dB ». Cette manière de compter n'est pas propre à l'acoustique.

C'est un « outil » mathématique qui a pour avantage de regrouper sur une petite échelle des niveaux très différents et d'assurer une progression de plus en plus « lente » au fur et à mesure que le niveau augmente.

✓ **La fréquence correspond à la « hauteur » du son**

Cette « hauteur » se caractérise par le nombre d'oscillations de la pression de l'air en une seconde.

L'unité de comptage est le Hertz, noté Hz, qui correspond à une oscillation par seconde. Les sons basses fréquences (tracteur, contrebasse) se répartissent de quelques dizaines à quelques centaines d'Hertz et les hautes fréquences (moustique, sifflet) se répartissent sur les milliers d'Hertz (appelés kilohertz, notés kHz).

La gamme fréquentielle de l'audition humaine s'étend en moyenne de 20 Hz à 20 kHz. On parle d'infrasons en dessous de 20 Hz et d'ultrasons au-delà de 20 kHz.

II.5.4. Paramètres du son :

L'oreille est sensible aux 3 paramètres suivants du son:

- Le niveau de pression acoustique ou niveau sonore.
- Les fréquences.
- Le timbre.

II.5.4.1 Niveau sonore :

On définit le niveau sonore, comme le rapport de deux 02 pressions acoustiques :

p : Pression acoustique de la source.

p_0 : Pression acoustique correspondant au plus petit son audible par l'oreille humaine.

On choisit d'exprimer ce rapport sous une forme logarithmique pour le ramener dans des proportions raisonnables [6].

Le niveau de pression acoustique (l_p) est ainsi défini :

$$l_p = 10 \log p^2 / p_0^2 \text{ en dB} \quad (2.1)$$

II.5.4.2 Fréquences :

L'oreille humaine est sensible à des variations de fréquences entre 20 hz à 20 000 hz (oreille jeune et en bonne santé). Ce grand domaine de sensibilité est divisé en paquets de fréquences qui sont ordonnés de façon régulière pour l'oreille [6].

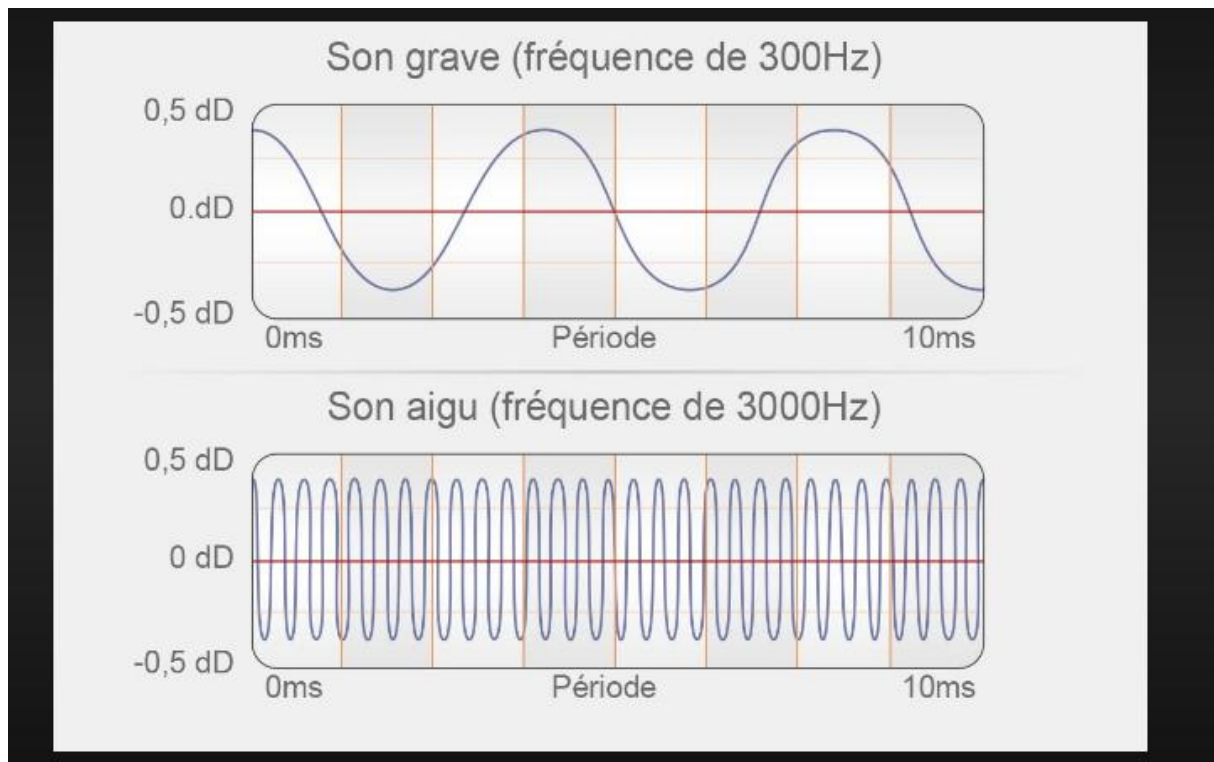


Figure II.5 : La différence entre un son grave et une autre aiguë.

On distingue trois types de fréquences :

- Les fréquences graves (de 20 à 400 hz).
- Les fréquences médium (de 400 à 1 600 hz).
- Les fréquences aiguës (de 1 600 à 20 000 hz) [3].

II.5.4.3. Octaves :

Les octaves sont définies par une fréquence centrale et regroupent l'ensemble de fréquences suivant :

$$\frac{f_c}{\sqrt{2}} < f_c < f_c\sqrt{2} \tag{2.2}$$

II.1 : Découpage en

F_{min}	Octaves	F_{max}
44	63	88
89	125	176
177	250	353
353	500	707
708	1k	1414
1415	2k	2828
2829	4k	5656
5657	8k	11313
11314	16k	20000

Tableau
octaves (Hz).

II.5.4.4. Timbre :

Le Timbre est la qualité qui permet de distinguer deux sons émis par deux instruments différents. Si le son est "musical" au sens acoustique du terme, c'est-à-dire créé par un mouvement vibratoire périodique, on montre que le son peut être considéré comme la superposition de sons simples harmoniques, dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence d'un son de base, appelé le fondamental. Le timbre d'un tel son dépend des intensités relatives des différents sons simples harmoniques qui le composent [6].

II.6. Différents types de bruit :

- Bruit ambiant

Bruit total existant dans une situation donnée pendant un intervalle de temps donné.

Il est composé de l'ensemble des bruits émis par toutes les sources proches et éloignées [7].

- Bruit routier

Un bruit est appelé "routier ou route" lorsque l'énergie contenue dans chacune des bandes d'octave (ou de tiers d'octave) possède un spectre proche de celui émis par une voie à grande circulation.

Plus riche en fréquences graves et moins riche en fréquences aiguës que le bruit rose, ses valeurs sont normalisées par bandes de fréquences [7].

- Bruit particulier

C'est la composante du bruit ambiant qui peut être identifiée spécifiquement et que l'on désire distinguer du bruit ambiant notamment parce qu'il est l'objet d'une requête [7].

- Bruit résiduel

C'est le bruit ambiant, en l'absence du bruit particulier objet de la requête considérée [7].

- Bruit de chocs normalisé

Bruit produit dans un local, ou par une machine [7].

II.7. Bruit dans une salle :

Un local peut être un lieu où l'écoute doit être favorisée (salle de spectacle, salle d'enseignement ...), un lieu où le niveau sonore doit être diminué (locaux industriels, ateliers, bureaux ...) ou bien encore un lieu où l'acoustique est spécifique (salle de sport, restaurants...). Pour les petits locaux (jusqu'à quelques centaines de m³), les caractéristiques acoustiques appropriées seront obtenues en maintenant la durée de réverbération entre certaines limites [5].

II.7.1. Problèmes survenus à la conception :

Oubliée lors de la conception, il sera néanmoins possible après construction de corriger l'acoustique d'un petit local en répartissant des surfaces absorbantes et des surfaces réverbérantes. Les surfaces pouvant recevoir des matériaux absorbants doivent néanmoins exister en quantité suffisante pour permettre cette opération [5].

II.7.2. Différentes transmissions du bruit à travers une paroi :

- Transmissions directes (TD)

Par les parois opaques (façade, séparatif, toiture, plancher).

- Transmissions parasites (TP)

Par certains points singuliers (entrées d'air, coffres de volets roulants, défauts d'exécution..).

- Transmissions latérales (TL)

Par les parois liées à la façade, à la paroi séparative, à la terrasse ou au plancher.

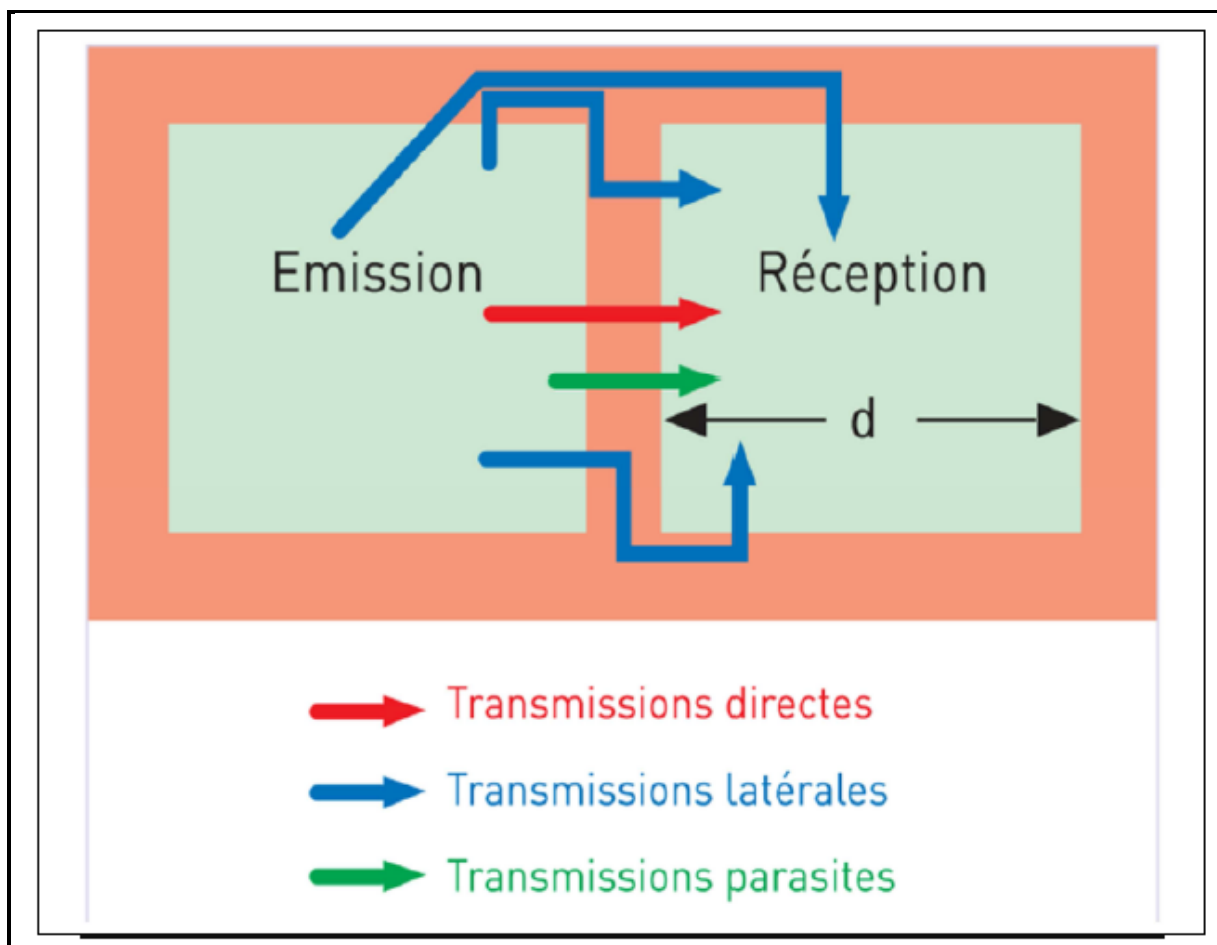


Figure II.6 : Voies de transmission du bruit dans le bâtiment.

II.8. Conclusion :

Le bruit est généralement désagréable et gênant ; il est parfois dangereux. Il est source de fatigues auditives et nerveuses. En milieu de travail (cockpit) notamment, il est facteur d'accidents par diminution sensible de la vigilance. Isoler du bruit suppose la connaissance des sources de bruit et la mise en œuvre de techniques et de matériaux adaptés.

Le chapitre suivant décrit les sources principales de bruit et les techniques de réduction de bruit dans un avion.

III.1. Introduction :

Le problème du bruit causé par l'avion a très vite intéressé les spécialistes. Déjà, depuis le premier avion de ligne moderne, les chercheurs se sont concentrés sur le moteur pour réduire le bruit. Aujourd'hui, un avion de ligne normal à un niveau de bruit de l'ordre de 120 dB. Mais pour rendre le bruit de l'avion acceptable, il faut encore réduire les émissions pour descendre aux alentours de 70 dB.

III.2. Description du bruit des avions :

Les avions sont des sources de bruit complexe. Donc, une variété de méthodes de protection contre le bruit est utilisée autour des aéroports, y compris des Méthodes techniques, opérationnelles et organisationnelles. Les principales sources de bruit sur un aéronef en vol sont l'unité de puissance et le bruit aérodynamique. Le bruit Aérodynamique devient particulièrement perceptible lors de l'approche d'atterrissage des avions à réaction lourds, lorsque les moteurs sont à faible poussée.

En général, les sources de bruit des avions à réaction comprennent : le bruit de jet, Bruit de combustion, bruit compresseur, bruit de la soufflante par l'entrée d'air en amont et aval et le bruit de la turbine. Le **tableau III.1** présente une classification des sources de bruit des avions [8].

Tableau III.1. Une classification des sources de bruit à bord des avions.

Type d'aéronef		Les principales sources de bruit	
		Unité de puissance	La cellule
Avions ordinaire Décollage et l'atterrissage	turboréacteur	tuyère d'éjection, la soufflante, bruit de combustion.	becs au bord d'attaque des ailes, volets au bord de fuite, train d'atterrissage, fuselage et les turbulentes des couches limites
	turbopropulseur	Hélice, l'arbre d'hélice, tuyère d'éjection.	
Avions court Décollage et l'atterrissage	turboréacteur	la soufflante, tuyère d'éjection.	Interférence de jet avec les volets
	turbopropulseur	Hélice	
Avion supersonique (Ex : concorde, F16)		tuyère d'éjection	Interférence de flux avec La carcasse de Moteur
Hélicoptères		Les pales du rotor principal, l'échappement du moteur	N'est pas important
Les aéronefs de l'aviation générale (petits avions)	turboréacteur	tuyère d'éjection, la soufflante	N'est pas important
	turbopropulseur	Hélice, tuyère d'éjection.	

En approche, c'est le bruit de cellule qui domine car les moteurs sont ralentis, alors que les dispositifs hypersustentateurs sont sortis (becs au bord d'attaque des ailes et volets au bord de fuite), ainsi que les trains d'atterrissage. L'émission globale des moteurs est cependant peu inférieure.

Dans les deux autres conditions de certification (décollage et survol), c'est le bruit des moteurs qui dominent [9].

III.3. Principales sources de bruit des avions :

On classe les bruits selon deux grandes Catégories :

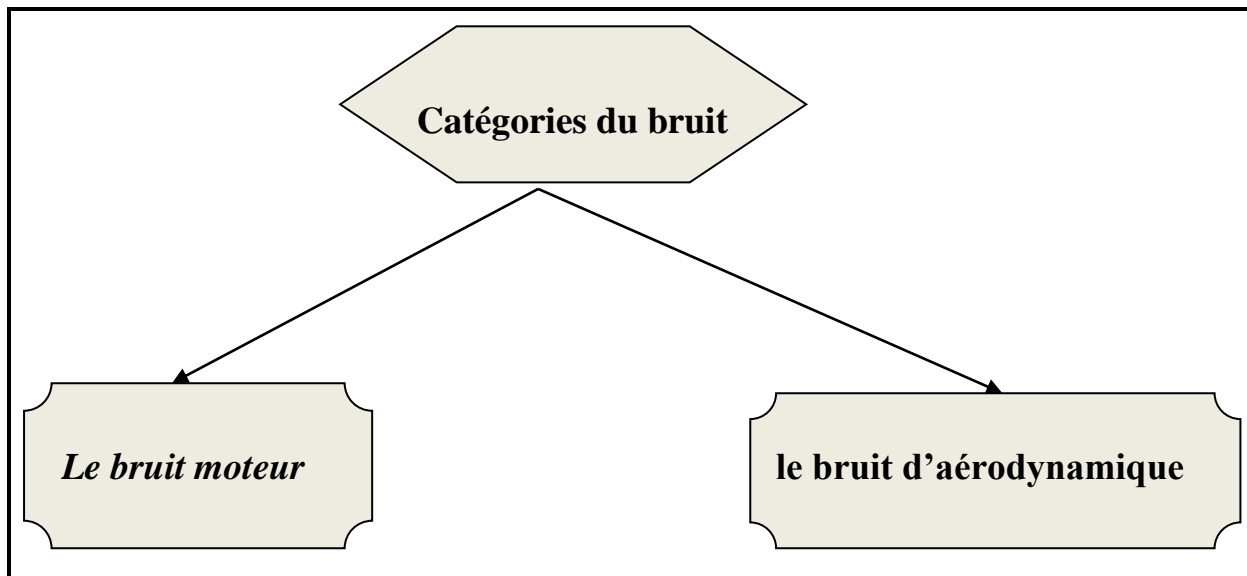


Figure III. 1 : schéma de catégories du bruit

➤ Le bruit moteur :

Aux turboréacteurs (ou moteurs) qui sont à l'origine du sourd mugissement lors du décollage quand ils tournent à plein régime. Mais les différentes parties composant les moteurs ne sont pas toutes causes de bruit. On observe, en effet, cinq sources principales de vacarmes dans les turboréacteurs actuels dont deux particulièrement bruyantes, la soufflante, hélice de deux à trois mètres à plusieurs dizaines d'aubes qui tourne comme un ventilateur accélérant une partie de l'air. Ce qui provoque la poussée du moteur. La deuxième principale source de bruit est le jet de gaz brûlants éjectés de la tuyère, qui en se mélangeant à l'air ambiant, provoquent un bruit basse fréquence (de 50 à 500Hz).

➤ Le bruit aérodynamique :

Les bruits générés par les frottements de l'air sur l'avion, dits « aérodynamiques », prennent une grande ampleur pendant les phases d'approche et d'atterrissage. Lors de l'approche, pour maintenir l'avion en l'air à une basse vitesse, on déploie les volets et les bords de l'aéronef. Ajoutés au bruit causé par le train d'atterrissage et les aérofreins, tous ces éléments provoquent des flux d'air turbulents et produisent un ronflement puissant et gênant.

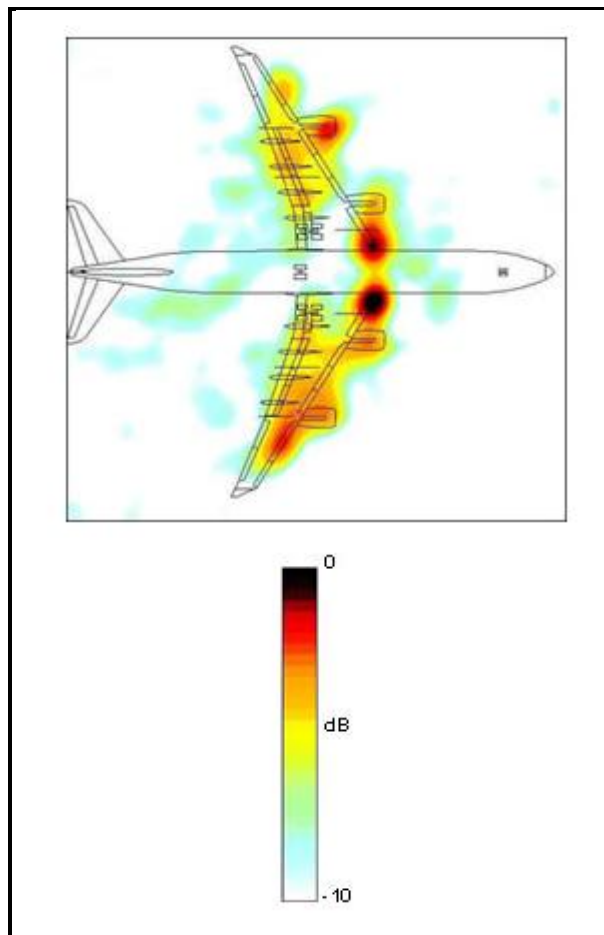


Figure III. 2 : le bruit aérodynamique

III.3.1. Bruit de jet :

Le bruit de jet est dû à la génération de fortes turbulences dans la zone où les gaz chauds à haute pression éjectés de la tuyère du moteur se mélangent à l'air ambiant.

Le bruit de jet est un bruit à large bande, sa directivité est maximale à l'arrière et il est fonction $D_e D^2 V^B$, D étant le diamètre de la tuyère et V la vitesse d'écoulement du jet.

Le bruit de Jet a été fortement réduit dans les moteurs modernes à double flux, de grand diamètre et à Basse vitesse d'éjection [8].

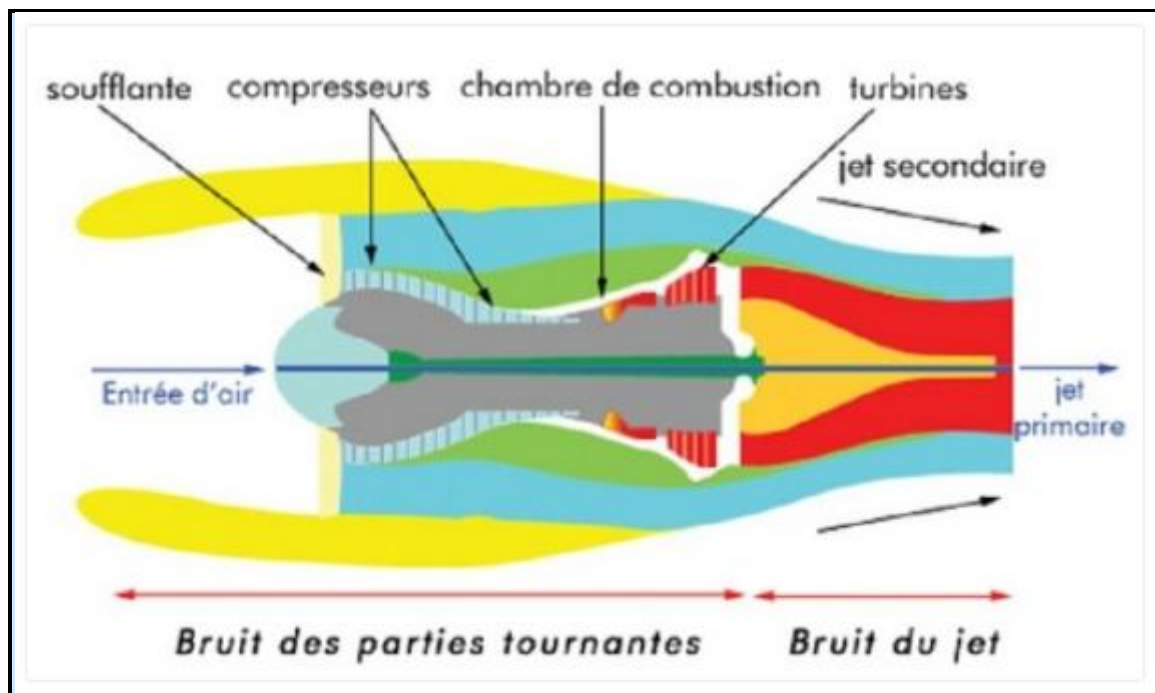


Figure III. 3 : Évolution du bruit de jet.

III.3.2. Bruit de la soufflante et la turbine :

La soufflante, le compresseur et la turbine d'un moteur d'avion génèrent du bruit tonal et à large bande. Résultats de bruit large bande est à cause de l'interaction de pression non homogène avec un écoulement turbulent. La tonalité de lame de passage et ses harmoniques pour des nombres de Mach subsonique résultant de l'interaction des champs de pression produite par l'écoulement dans les rangées d'aubes du rotor/stator.

Il y a plusieurs sons purs supplémentaires –bruit «buzz-saw» - qui accompagne le nombre de Mach supersonique associés à l'écoulement supersonique sur les pales et la formation d'ondes de choc. Ce dernier phénomène est typique pendant le décollage.

Pour déterminer les caractéristiques acoustiques de la soufflante, du compresseur et de la turbine, il est nécessaire de tenir compte de la génération de bruit, la propagation du bruit dans la conduite et le rayonnement acoustique de l'avant, le rayonnement vers l'arrière à partir de la conduite de dérivation et le noyau du moteur [8].

III.3.3. Bruit de la chambre de combustion :

Le bruit est créé lors de la combustion de carburant dans la chambre de combustion du moteur. Les composantes de basse fréquence du bruit de combustion se propagent à travers les zones avec des fluctuations de température, par le saut de pression à la turbine, puis rayonnent à travers la tuyère d'échappement (bruit de base). (Par exemple, lors de l'approche de l'avion) [8].

III.3.4. Bruit hélice :

L'hélice est la source principale de bruit sur un turbopropulseur. Le bruit se fait par le déplacement périodique de volume d'air par la lame d'hélice qui tourne.

Un spectre de bruit de l'hélice contient à la fois le bruit à large bande et harmonique. Le bruit harmonique a des composantes à des fréquences indiquées par :

$$f_k = n \cdot z k \text{ (où } k = 1, 2, \dots, n \text{ est la vitesse de rotation et } z \text{ est le nombre de pales).}$$

S'il n'y a qu'un petit nombre de pales et de vitesses de section de pale subsoniques, alors que le bruit est principalement déterminé par les deux ou trois premières harmoniques.

Pour un tel propulseur, le niveau de bruit à large bande est inférieur au premier harmonique niveau d'environ 10 dB [8].

III.3.5. Bruit de la cellule :

Le bruit de la cellule est le résultat de bruit de plusieurs sources génératrices aérodynamiques sur l'aile, l'empennage horizontal et vertical, les volets, les becs, les trains d'atterrissage (**Figure III.3** et **Figure III.4**) [8].

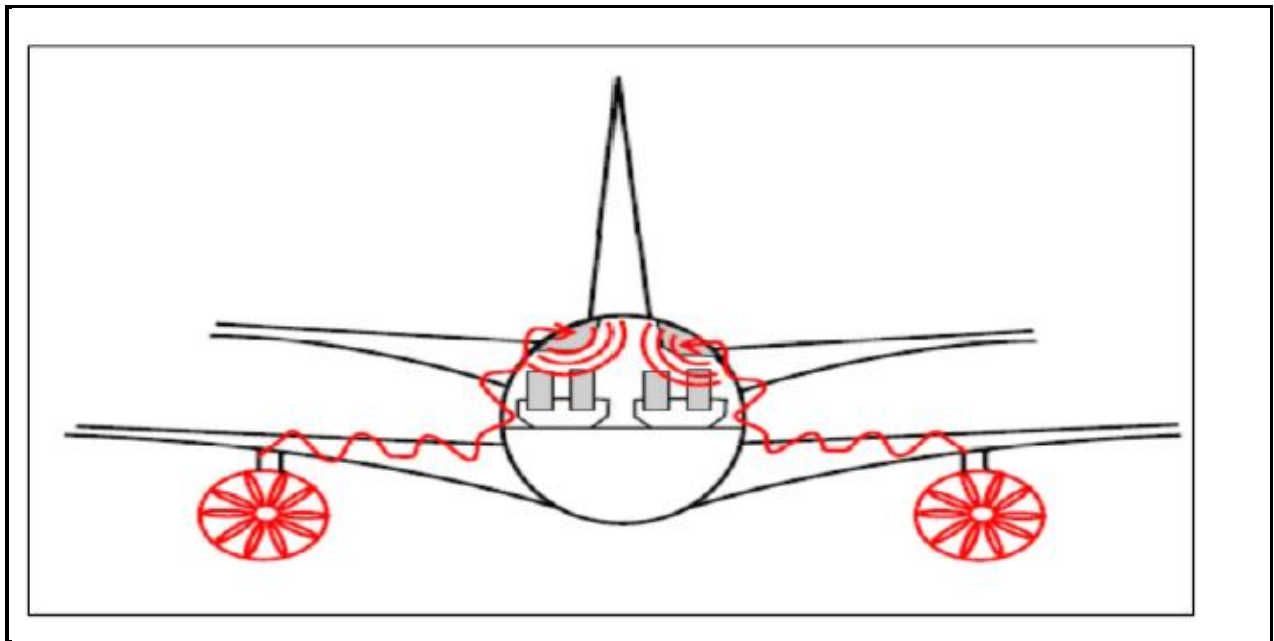


Figure III. 4 : Vibrations de la structure provoquées par de moteur.

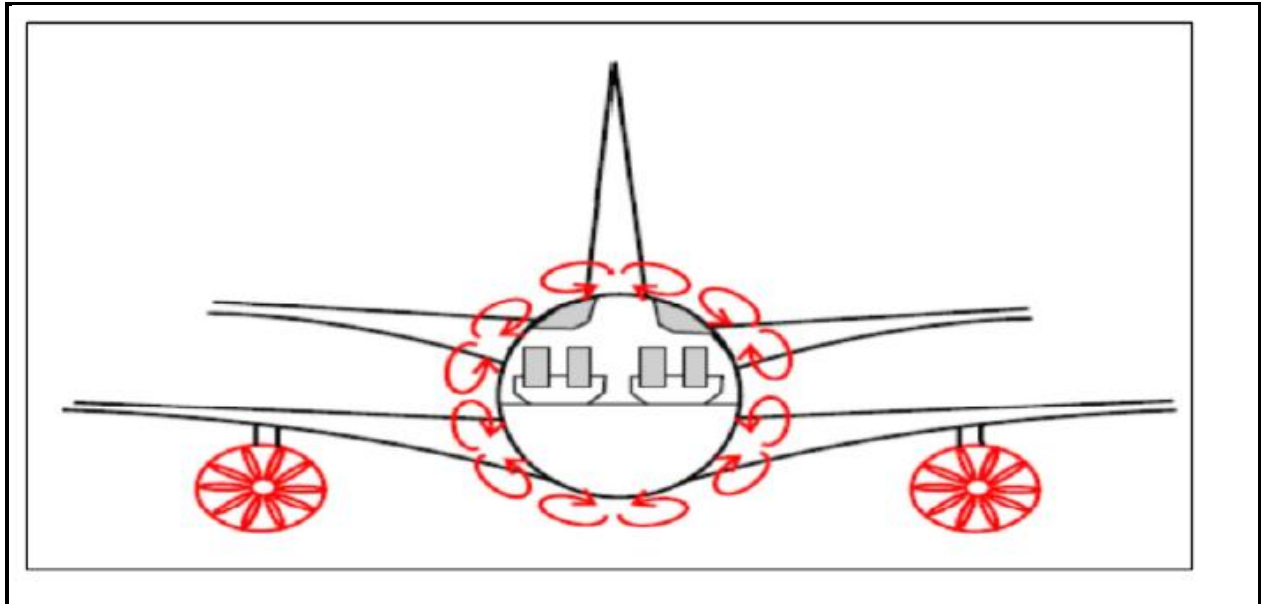


Figure III. 5 : Bruit de la turbulence aérodynamique.

III.4. Propagation de bruit dans l'avion :

Une analyse antérieure basée en particulier sur les techniques d'imagerie acoustique de Metravib RDS avait démontré que la principale source de bruit était la transmission au fuselage des vibrations des deux moteurs et de son harmonique d'ordre 02, via les attaches des moteurs et les pylônes dans ce cas très courts (**figure III .6**) [10].

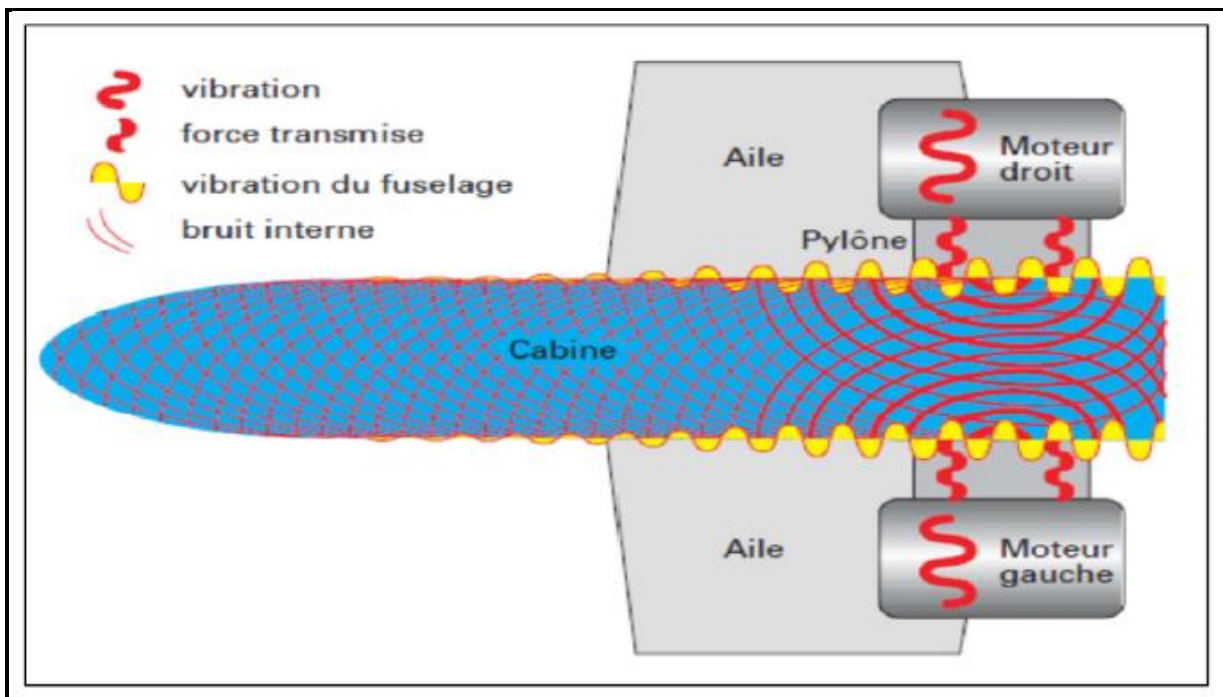


Figure III. 6 : Voies de transfert du bruit du moteur dans la cabine.

Dans le cas d'un avion à hélices tel que les avions turbopropulsés, le mode principal de génération de bruit dans la cabine est plus immatériel puisqu'il s'agit de la pression dynamique fluctuante du sillage de chaque pale d'hélice sur la tranche voisine du fuselage, qui se propage ensuite à la fois sous forme vibratoire et sous forme de bruit interne

(**Figure III.7**). S'y ajoutent les contributions solidiennes par les ailes, ainsi que les vibrations des ailes et de la queue créées par le sillage direct des hélices. La majeure partie de l'énergie sonore indésirable est concentrée sur les trois ou quatre premières harmoniques du passage de pale [10].

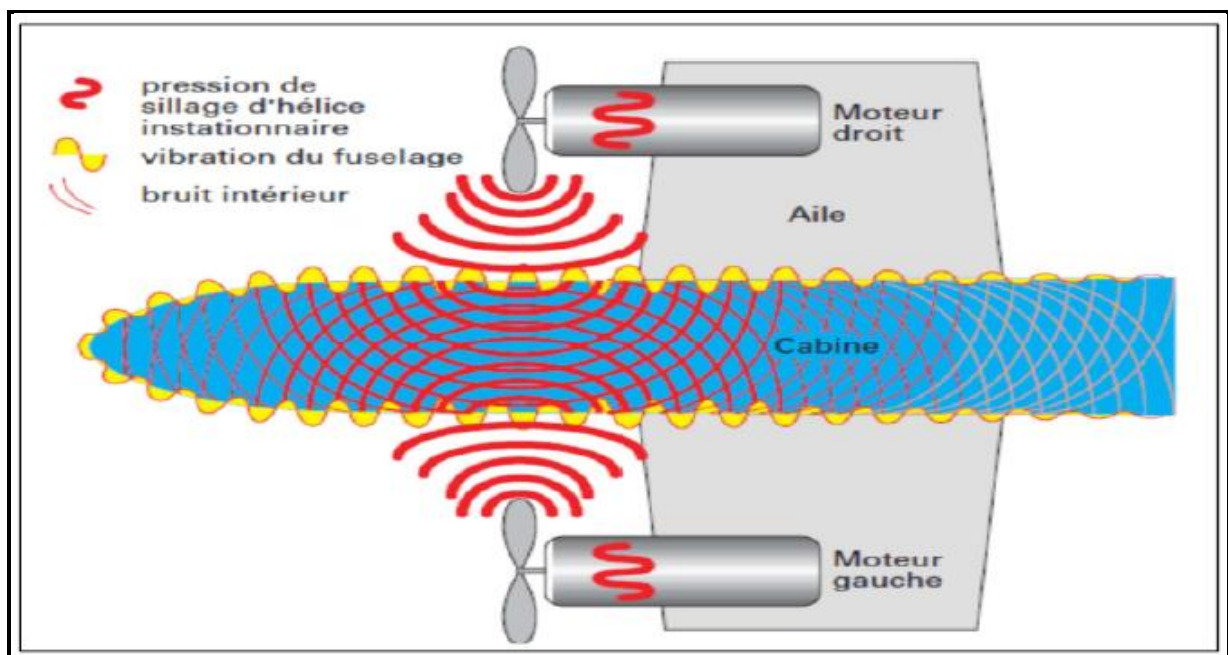


Figure III. 7: Voies de transfert du bruit des hélices dans la cabine.

III.5. Contrôle passif :

On entend généralement par contrôle passif des vibrations la stratégie qui consiste à introduire des dispositions constructives et des matériaux particuliers permettant de minimiser la transmission des bruits et des vibrations à l'environnement [10].

Il y a principalement deux types de contrôle passif (**figure III.7**) :

- Le découplage (**figure III.7 b**), ou isolation vibratoire, qui consiste à désorganiser la propagation des vibrations en alternant des milieux d'impédance mécanique très contrastée (d'où l'emploi fréquent d'élastomères qui constituent des interfaces molles relativement aux structures mécaniques traditionnelles).
- L'amortissement (**figure III.7 c**), qui consiste à dissiper en chaleur, du fait d'une forte hystérésis du matériau, les ondes vibratoires qui le sollicitent. On utilise fréquemment des revêtements de matériaux dits viscoélastiques (là aussi, il s'agit le plus souvent

d'élastomères) pour accroître sensiblement les capacités de dissipation intrinsèquement faibles des matériaux usuels.

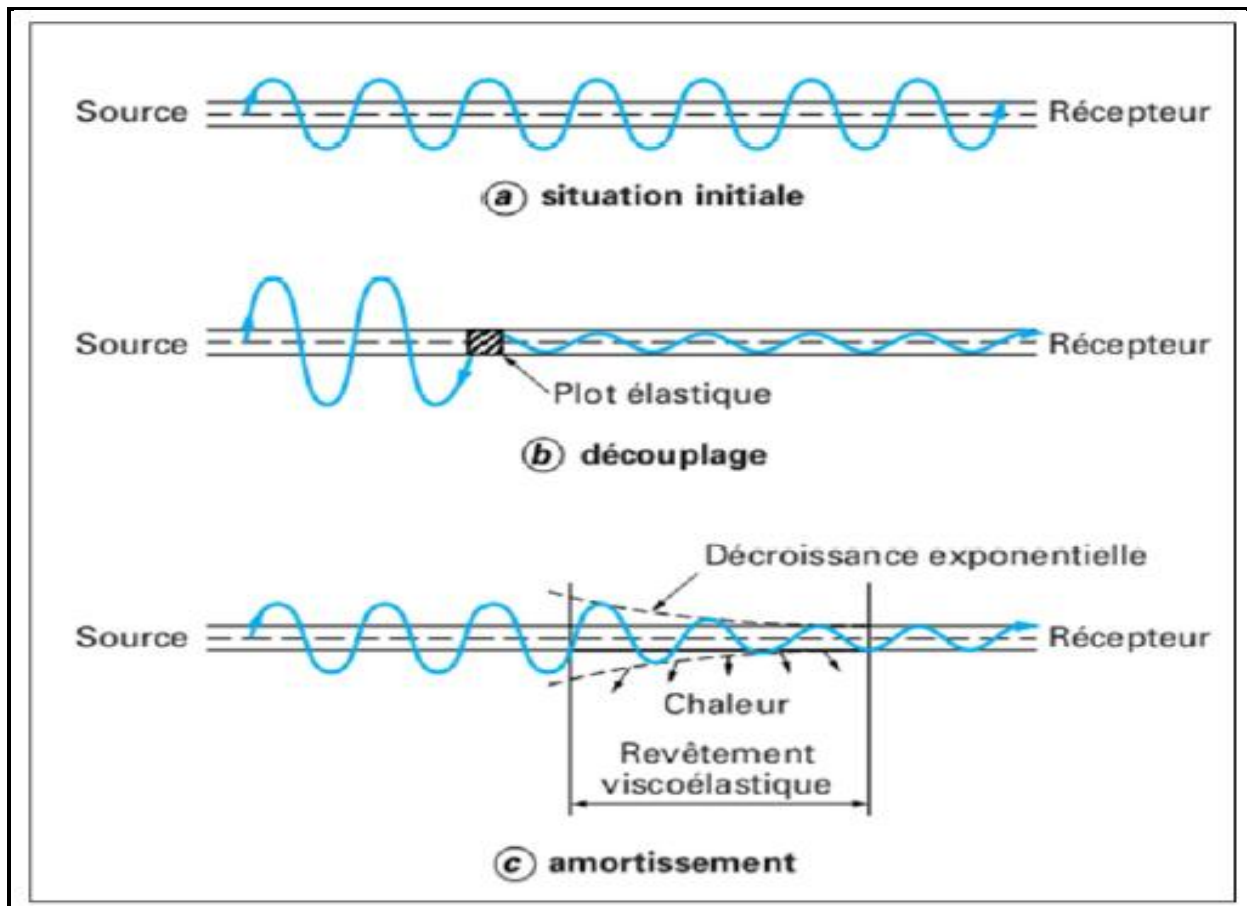


Figure III. 8 : Contrôle passif des vibrations.

III.6. Contrôle actif :

Le concept de contrôle actif des vibrations est l'idée de bloquer la vibration en exerçant une vibration antagoniste créée artificiellement avec des propriétés en miroir, à tout instant, relativement à la vibration indésirable, pour rendre nulle leur somme vectorielle.

L'espérance de performance est donc illimitée, puisqu'en théorie, la vibration initiale pourrait être totalement annulée. Cette performance a un coût puisqu'il faut cette fois fournir de l'énergie pour contrôler les vibrations initiales du système que l'on contrôle activement.

On accroît dès lors l'énergie vibratoire de la structure en amont du contrôle, en principe du double : $1 - 1 = 0$ en aval implique $1 + 1 = 2$ en amont dans un schéma d'ondes progressives (figure III.8) [10].

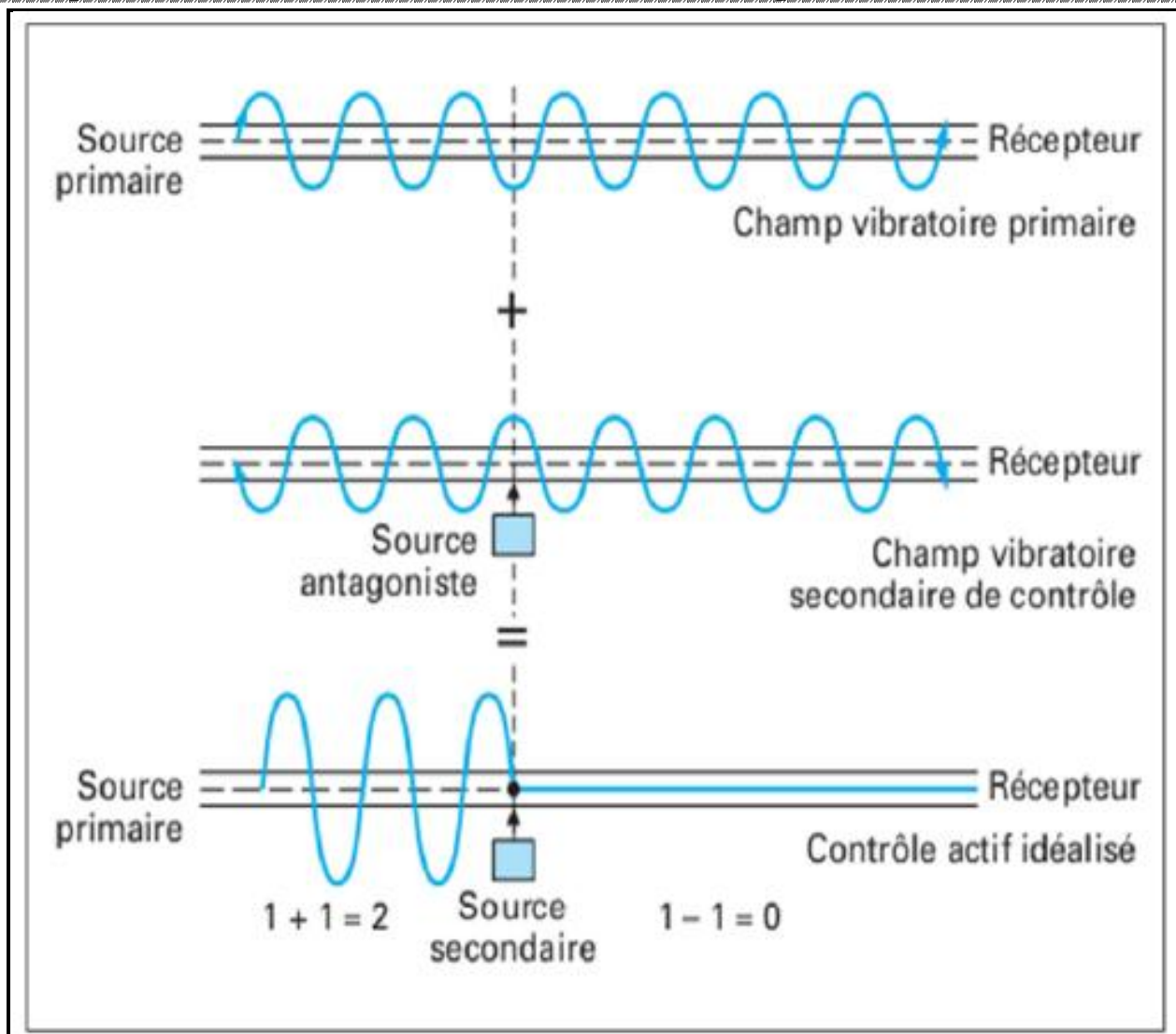


Figure III. 9 : Le contrôle actif des vibrations.

Les applications du contrôle actif sont nombreuses dans l'industrie aéronautique et peuvent être classées selon divers critères :

- Le type de contrôle actif, qui peut être acoustique, vibro-acoustique ou vibratoire.
- Le type d'avion concerné, à hélice ou à réaction.
- Le but du contrôle : réduction du bruit dans la cabine (localement, au niveau des passagers, ou dans toute la cabine) ou du bruit émis par l'avion dans l'environnement [11].

III.7. Conclusion :

Le but de notre étude est de réduire l'émission sonore des différentes parties d'un avion. Alors un silencieux de jet diminue certainement le bruit émis mais aussi la poussée du réacteur (typiquement, perte de 1 % de rendement par gain de 2 dB). Des solutions pour retrouver les performances initiales consisteraient soit à embarquer moins de passagers ou de fret (ce qui est exclu par les compagnies aériennes), soit à augmenter la puissance fournie aux moteurs (la consommation de kérosène serait supérieure). Donc on a pensé à une technique de rehaussement de la parole qui permet de filtrer le bruit et d'envoyer le message de communication entre pilote-contrôleur et pilote-passagers, et c'est ce que nous allons présenter dans les deux chapitres suivants.

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous discuterons une approche symétrique basée sur le principe de décorrélation et ceci pour deux structures appelées Forward et Backward. On peut montrer que le critère des moindres carrés est équivalent à une décorrélation de l'estimation du signal avec référence bruit seule. Si la référence de bruit contient une partie du signal désiré, un tel critère semble être raisonnable et il serait meilleur si une estimation libre du bruit était disponible. Pour obtenir une estimation libre du bruit, un filtre symétrique est ajouté et qui est représenté dans la figure (IV.3).

Le fonctionnement des systèmes basés sur un filtrage adaptatif dépend fortement de la qualité de la référence de bruit seul. D'une part, le bruit dans la voie de référence et la voie primaire doit être suffisamment pour obtenir la réduction de bruit substantielle. D'autre part, n'importe quelle interférence du signal primaire dans la référence de bruit doit être évitée.

Les méthodes les plus utilisées dans le rehaussement du signal de parole sont les méthodes mono-capteur, bi-capteur et multiplicateurs, dans notre travail nous allons utiliser les applications bi-capteur.

IV.2. Mélange convolutif des signaux :

La classe générale des mélanges convolutifs tient compte de la déformation du signal propagé et la modélise par un filtrage entre la source et l'observation, ce qui s'écrit mathématiquement sous la forme d'une convolution.

On prend par exemple le cas le plus simple, deux microphones, une source de parole (locuteur) se situe près du 1^{er} microphone, l'autre source de perturbation (un bruit) est près du 2^{ème} microphone. A la sortie des microphones, on observe une superposition des signaux primitifs inconnus selon un mélange inconnu Figure (IV.1).

En général, c'est un mélange convolutif des signaux à large bande, qui dépend de la propagation des signaux dans le milieu, de la position des microphones, des sources, et des caractéristiques de la salle. Les équations du mélange s'écrivent donc :

$$p_1(n) = s(n) * h_{11}(n) + b(n) * h_{21}(n) \quad (4.1)$$

$$p_2(n) = b(n) * h_{22}(n) + s(n) * h_{12}(n) \quad (4.2)$$

Ou :

- h_{11} et h_{22} représentent les réponses impulsionnelles des canaux directs de couplage.
- h_{21} et h_{12} représentent les effets du couplage mutuel entre les signaux.
- $s(n)$ est le signal parole.

- $b(n)$ est le signal de bruit.
- $p_1(n)$ et $p_2(n)$ représentent les deux signaux de la sortie du mélange.

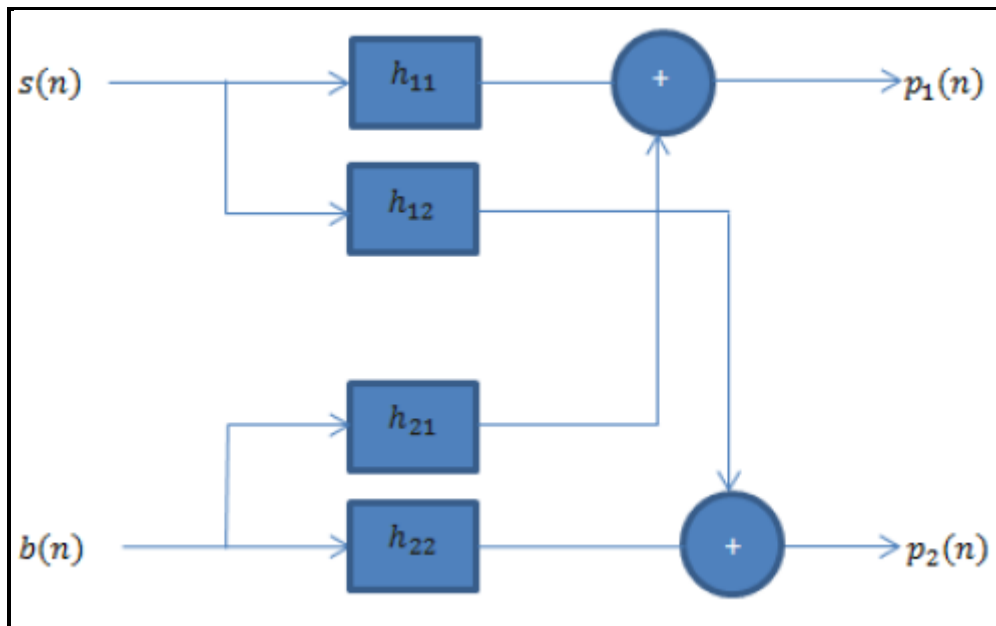


Figure IV. 1. Structure du mélange convolutif complète

On suppose que la $s(n)$ plus proche de la sortie $p_2(n)$ c.à.d que h_{11} n'existe pas (h_{11} c'est une impulsion $\delta(n)$), pour h_{12} c'est la même chose ($h_{22} = h_{11} = \delta(n)$) donc la

- structure devient comme suit **figure (IV.2).**

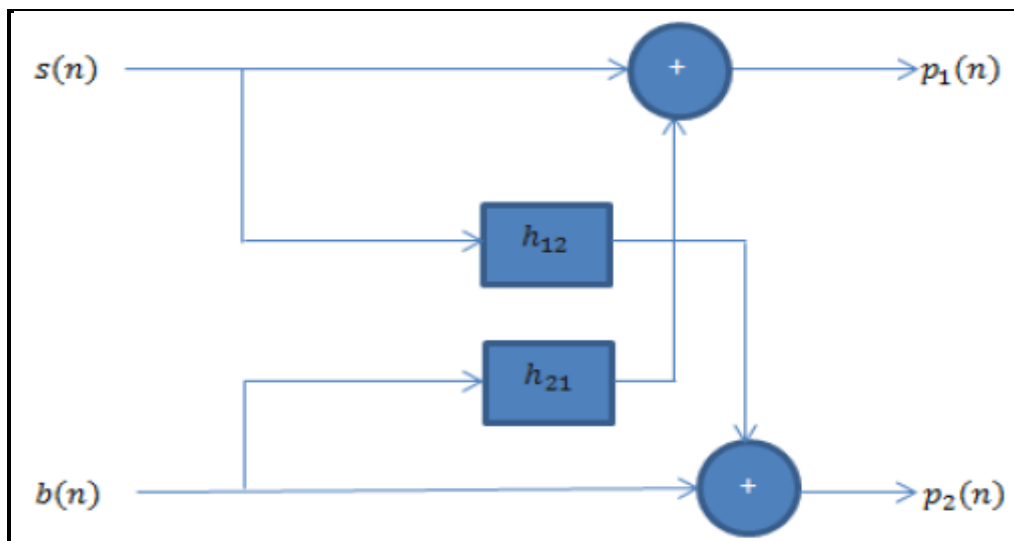


Figure IV. 2. Structure du mélange convolutif

IV.2.1. Séparation aveugle de sources :

La séparation aveugle de mélanges convolutifs est un domaine de recherche récent et très prometteur. Elle étudie la séparation des mélanges linéaires généraux, les mélanges linéaires instantanés et à atténuations et retards étant des cas particuliers réalistes pour certaines applications uniquement. En effet, le temps de propagation entre une source et un capteur n'est jamais parfaitement nul, même s'il peut parfois être négligé.

La sous-classe des mélanges atténuations et retards modélise ces retards de propagation mais suppose que le signal n'est pas déformé par le milieu, ce qui ne peut pas être conforme à la réalité.

La séparation aveugle des sources cherche à estimer les sources $p_j(n)$. Dans le cas d'un mélange convolutif, cette estimation n'est possible qu'à une indétermination de filtrage près. En fait, il est parfois suffisant d'estimer un jeu de filtres de séparation $w(n)$ qui suppriment les interférences des autres sources introduites par le processus de mélange.

Ces filtres peuvent être à réponse impulsionnelle finies (RIF) ou à réponse impulsionnelle infinies (RII) [12].

Le système de séparation devra réaliser une combinaison linéaire convolutive à partir de deux structures bien connues se représentant respectivement dans les **Figures (IV.3)** et **(IV.4)**.

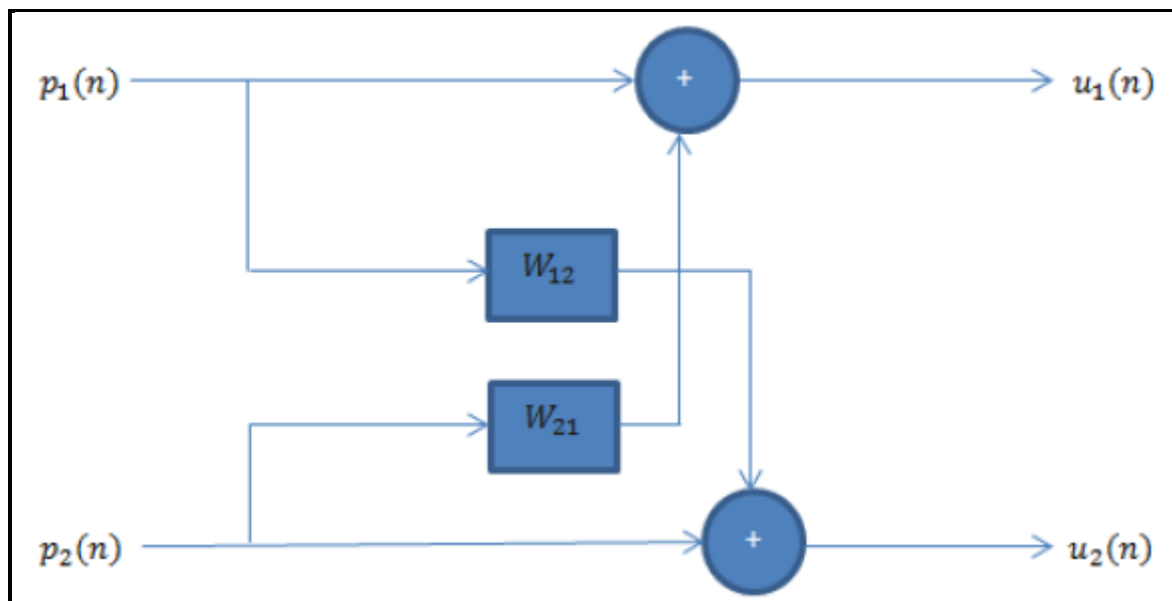


Figure IV. 3. Structure symétrique directe « Forward »

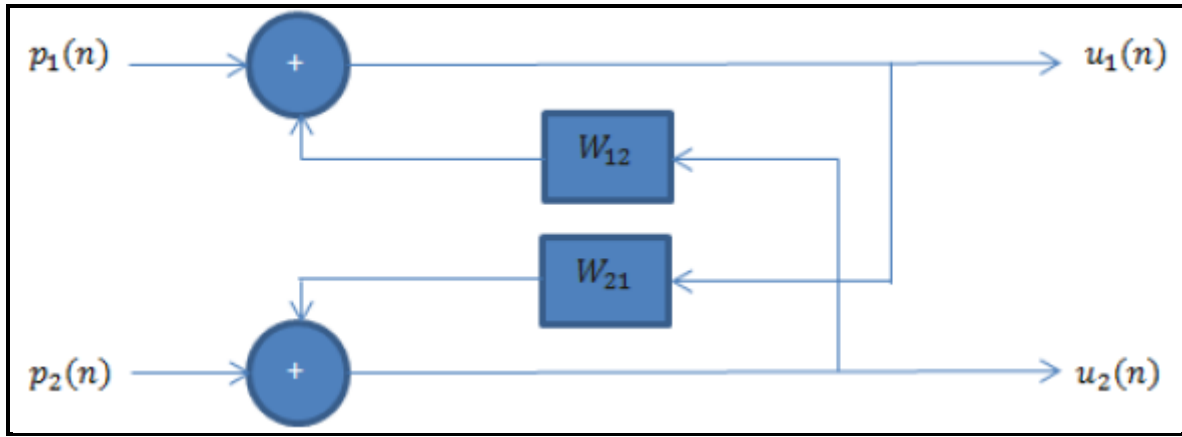


Figure IV. 4. Structure symétrique récursive « Backward »

Les sorties de la structure du mélange direct de la figure (IV.2)

$$p_1(n) = s(n) + b(n) * h_{21}(n) \quad (4.3)$$

$$p_2(n) = b(n) + s(n) * h_{12}(n) \quad (4.4)$$

Et les sorties $u_1(n)$ et $u_2(n)$ de la structure de séparation des sources directe qui s'est présenté par la figure (IV.3) sont données par les équations (4.5) et (4.6) :

$$u_1(n) = p_1(n) + p_2(n) * w_{21}(n) \quad (4.5)$$

$$u_2(n) = p_2(n) + p_1(n) * w_{12}(n) \quad (4.6)$$

En remplaçant les expressions $p_1(n)$ et $p_2(n)$ dans les expressions de $u_1(n)$ et $u_2(n)$, nous trouvons :

$$u_1(n) = b(n) * [h_{21}(n) - w_{21}(n)] + s(n) * [\delta(n) - h_{12}(n) * w_{21}(n)] \quad (4.7)$$

$$u_2(n) = b(n) * [h_{12}(n) - w_{12}(n)] + b(n) * [\delta(n) - h_{21}(n) * w_{12}(n)] \quad (4.8)$$

En utilisant l'hypothèse d'optimalité pour les deux filtres adaptatifs

($w_{21}^{opt} = h_{21}$ et $w_{12}^{opt} = h_{12}$), On obtient les sorties $u_1(n)$ et $u_2(n)$ selon les deux expressions suivantes :

$$u_1(n) = s(n) * [\delta(n) - h_{12}(n) * h_{21}(n)] \quad (4.9)$$

$$u_2(n) = s(n) * [\delta(n) - h_{21}(n) * h_{12}(n)] \quad (4.10)$$

Nous notons que les solutions optimales des filtres adaptatifs sont obtenues en utilisant les critères du minimum de l'erreur quadratique moyenne (MMSE ou bien EQMM).

IV.3. Algorithme utilisé dans la simulation :

[Décorrélation symétrique adaptative (Symétrique Adaptive Decorrelation- SAD)]

Pour illustrer le problème, un modèle de signal avec et sans interférence est donné dans l'annuleur adaptatif à simple face de bruit (**Figures (IV.5) et (IV.6)**). Le modèle de Widrow est représenté sur la **figure (IV.7)** [13].

La décorrélation se fait entre une estimation du signal et une estimation du bruit. Le critère des moindres carrés est remplacé par le critère de décorrélation et en raison de sa symétrie complète, l'algorithme est un séparateur de signal plutôt qu'un annuleur de bruit. Il est désigné sous le nom de l'algorithme de décorrélation symétrique adaptative (SAD) [13].

Son principe est illustré sur la **figure (IV.8)**. Nous nous limiterons au problème à deux voies comme présenté dans la **figure (IV.8)**. L'algorithme SAD a été développé pour la séparation des signaux à bande large tels que la parole (300 hz– 3500hz) dans un mélange convolutif.

Dans une formulation plus générale du problème de séparation de signaux, les chemins directs ne seront pas des identités et alors les solutions seront indéterminées jusqu'à la formation d'un filtre.

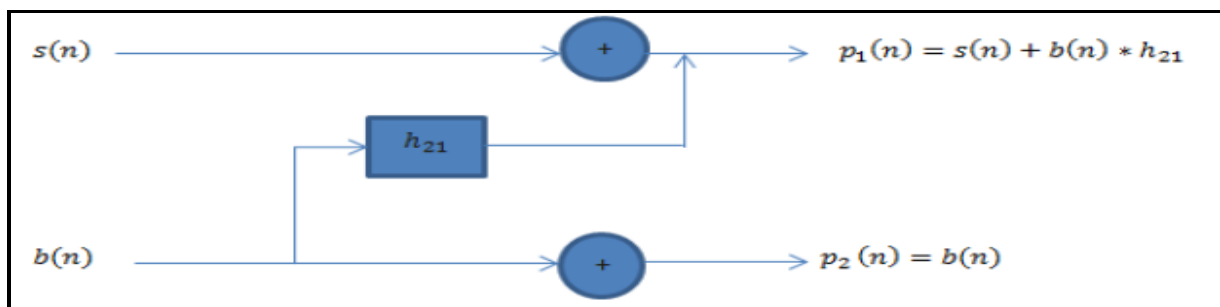


Figure IV. 5. Modèle de mélange simple (entre le signal de la parole et le bruit)

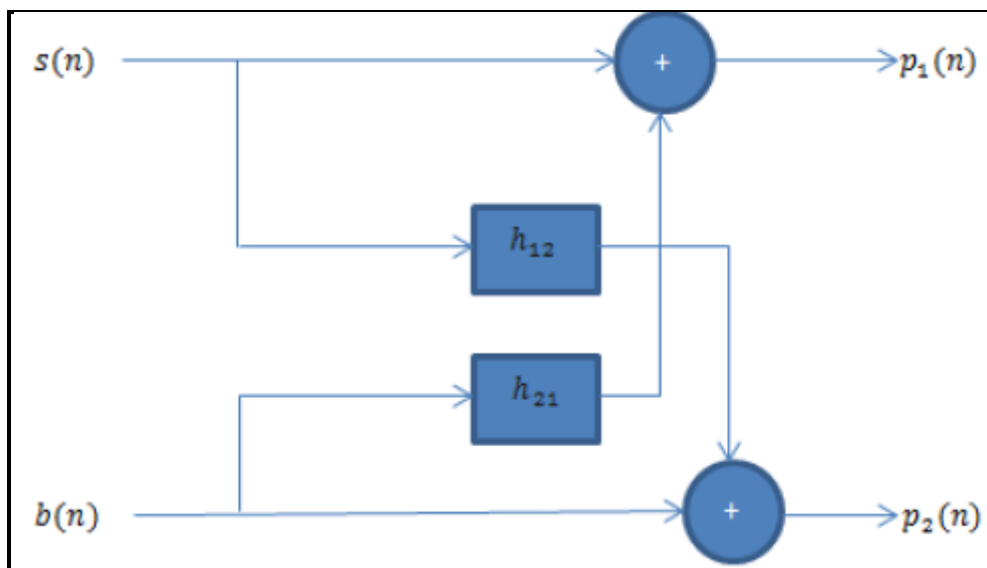


Figure IV. 6. Modèle de mélange complexe (entre le signal de la parole et le bruit)

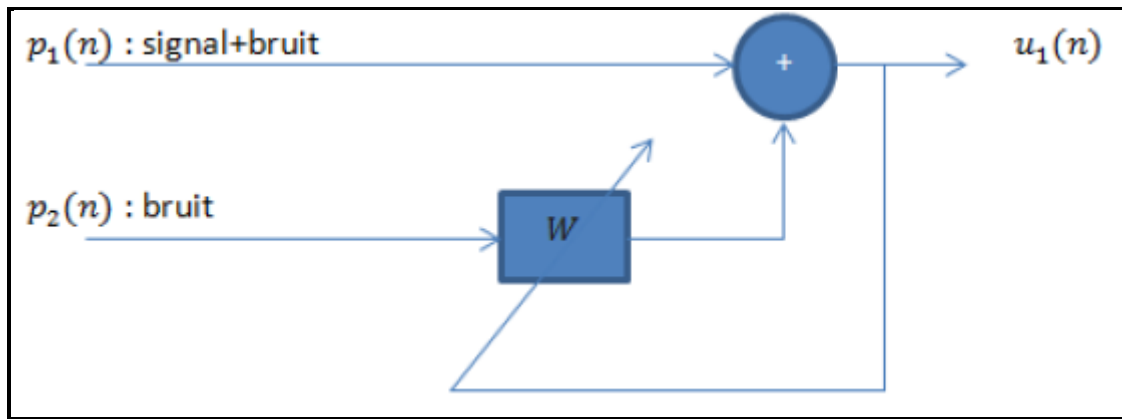


Figure IV. 7. L'annuleur adaptatif classique de bruit

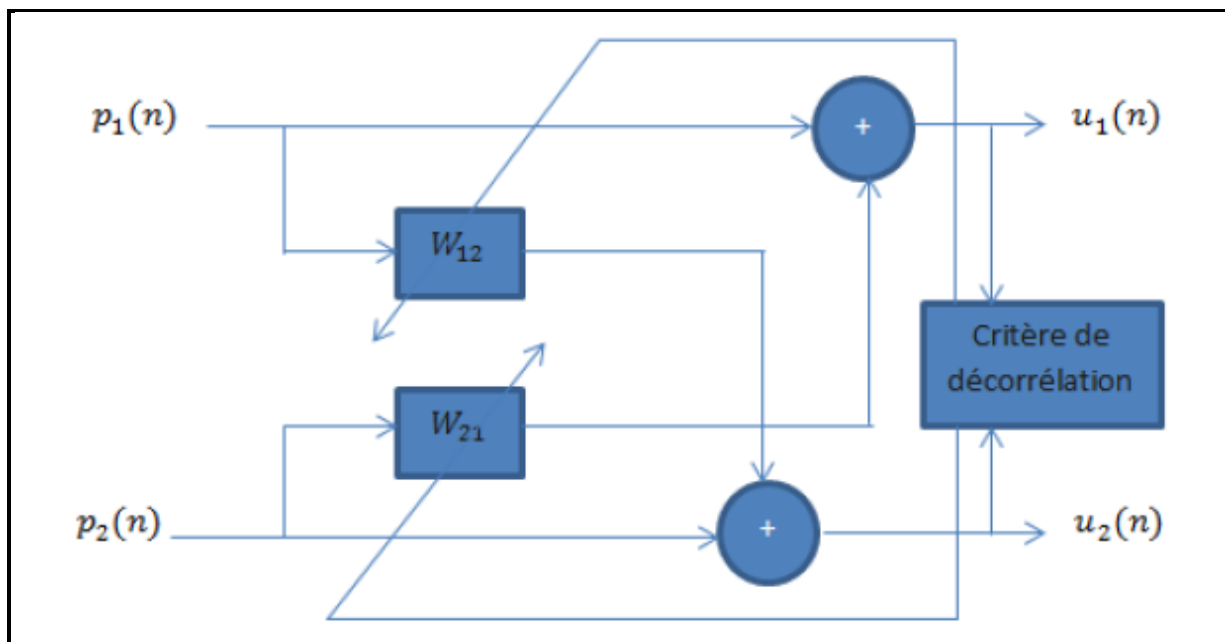


Figure IV. 8. La structure de decorrelation symetrique adaptative (SAD)

IV.3.1. Séparation de sources par l'algorithme SAD :

IV.3.1.1. Notations :

Les notations nécessaires pour l'étude théorique de l'algorithme SAD sont les suivantes :

-Surface d'erreur quadratique :

$$\epsilon_i(n) = E[u_i^2(n)] \tag{4.11}$$

-Vecteur des coefficients filtre :

$$w_i^{(n)} = [w_i^{(n)}(0) w_i^{(n)}(1) \dots w_i^{(n)}(L)]^\tau \tag{4.12}$$

-Equation d'intercorrelation entre deux signaux :

$$c_{up} = E[u(n) \cdot p(n - m)] \tag{4.13}$$

-Vecteur d'intercorrelation :

$$c_{up} = [c_{up}(0) c_{up}(1) \dots c_{up}(L)]^\tau \tag{4.14}$$

-Densité d'interspectrale :

$$\Phi_{up}(z) = z[c_{up}] \tag{4.15}$$

Nous supposons que les deux signaux $s(n)$ et $b(n)$ sont indépendants, donc les vecteurs du produit de l'intercorrelation entre les deux sont nulles, ce dernier exigé pour le fonctionnement de l'algorithme SAD.

$$c_{sb}(m) = E[s(n).b(n - m)] \forall m \in Z \tag{4.16}$$

Les variances des signaux parole et bruit sont σ_1^2 et σ_2^2 respectivement

IV.3.2. Annulation du bruit par la séparation de signaux :

Le fonctionnement de l'algorithme SAD basé sur la minimisation de l'énergie d'erreur, cette minimisation d'erreur est équivalente à l'intercorrelation entre le signal estimé $u_1(n)$ et le signal du mélange $p_2(n)$.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon_1(n)}{\partial w_{21}(m)} &= -2c_{u_1 p_2}(m) & m=0 \dots l_1 \\ \frac{\partial \varepsilon_1(n)}{\partial w_{21}(m)} &= 0 \\ \implies c_{u_1 p_2}(m) &= 0 & m=0 \dots l_1 \end{aligned} \tag{4.17}$$

l_1 : La taille du filtre.

Il est important de noter que les équations ci-dessus sont valides pour tous les types des signaux. L'intercorrelation entre les deux signaux $u_1(n)$ et $p_2(n)$ est :

$$\begin{aligned} c_{u_1 p_2}(m) &= (h_{21}(m) - w_{21}(m))\sigma_2^2 \\ \nabla_m &= \frac{\partial c_{u_1 p_2}(m)}{\partial w_{21}(m)} = -\sigma_2^2 \\ w_{21}^{(n+1)}(m) &= w_{21}^{(n)}(m) - \gamma \frac{c_{u_1 p_2}(m)}{\nabla_m} \end{aligned} \tag{4.18}$$

L'idée de cet algorithme est de remplacer le terme de l'intercorrelation par ses valeurs instantanées et par un choix approprié de γ ($0 < \gamma < 2$ $0 < \gamma / \sigma_2^2$) on obtient la relation suivante :

$$w_{21}^{(n+1)}(m) = w_{21}^{(n)}(m) + \mu(u_1(n)p_2(n - m)) \tag{4.19}$$

μ : Pas d'adaptation

IV.3.2.1. Structure Forward :

La structure Backward est très importante dans le domaine de séparation aveugle de sources. Dans notre travail, nous étudions l'algorithme SAD avec la structure Forward (voir la figure (IV.9)), la décorrelation se fait entre les deux sorties $u_1(n)$ et $u_2(n)$

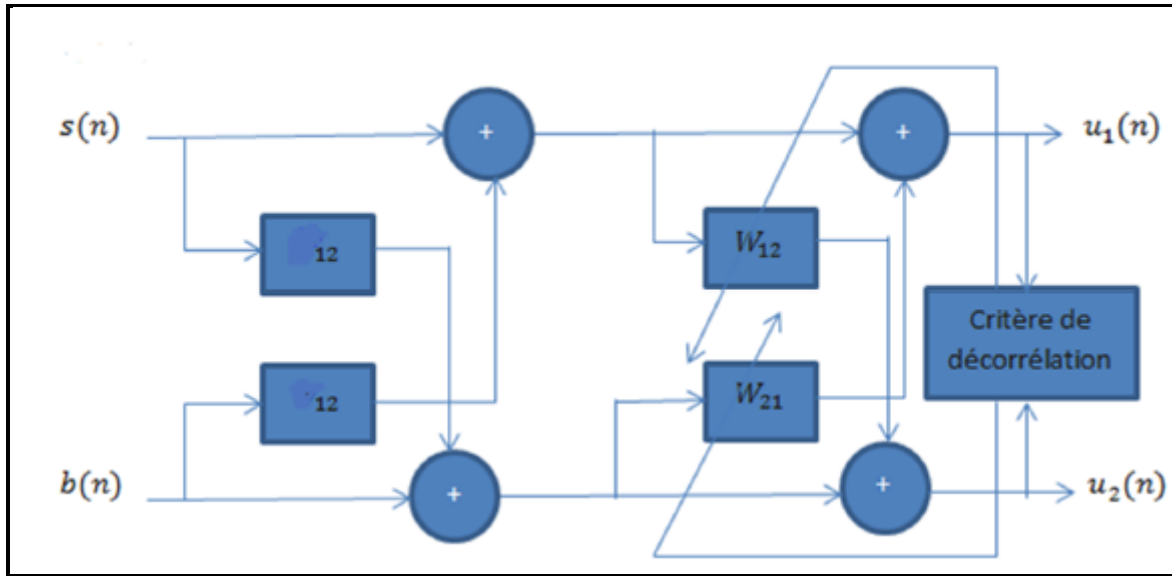


Figure IV. 9. Implémentation de la structure Forward

En adaptant l'équation de mise à jour de l'algorithme SAD à la structure Forward, nous obtenons les deux équations de mise à jours de deux filtres $w_{12}(n)$ et $w_{21}(n)$ qui sont données comme suit :

$$w_{21}^{(n+1)}(m) = w_{21}^{(n)}(m) + \mu_1(u_1(n)u_2(n - m)) \quad m=0, 1 \dots l_1 \quad (4.20)$$

$$w_{12}^{(n+1)}(k) = w_{12}^{(n)}(k) + \mu_2(u_2(n)u_1(n - k)) \quad k=0, 1 \dots l_2 \quad (4.21)$$

Si les valeurs de l'intercorrélation sont nulles, les équations de mise à jours (4.20) et (4.21) convergent, les deux signaux $u_1(n)$ et $u_2(n)$ seront decorrelés.

$$c_{u_1 u_2}(m) = E[u_1(n)u_2(n - m)] = 0 \quad m=0, 1 \dots l_2 \quad (4.22)$$

$$c_{u_2 u_1}(k) = E[u_2(n)u_1(n - k)] = 0 \quad k=0, 1 \dots l_1 \quad (4.23)$$

Quand les deux réponses impulsionnelles $h_{12}(n)$ et $h_{21}(n)$ égalent respectivement les deux filtres $w_{12}(n)$ et $w_{21}(n)$ on obtient une solution correcte pour la séparation de sources.

On peut reconstruit les deux signaux $s(n)$ et $b(n)$ originaux une étape de post-traitement additionnel .

$$p(n) = \frac{1}{1 - w_{21}(n)w_{12}(n)} \quad (4.24)$$

IV.3.2.2. Structure Backward :

La structure Backward est très importante dans le domaine de séparation aveugle de sources. Dans ce cas la décorrélation se fait entre le signal estimé $v_1(n)$ et le bruit estimé $v_2(n)$ cette structure est mieux que la structure Forward, mais l’analyse de cette structure est complexe.(voir **figure (IV.10)**).

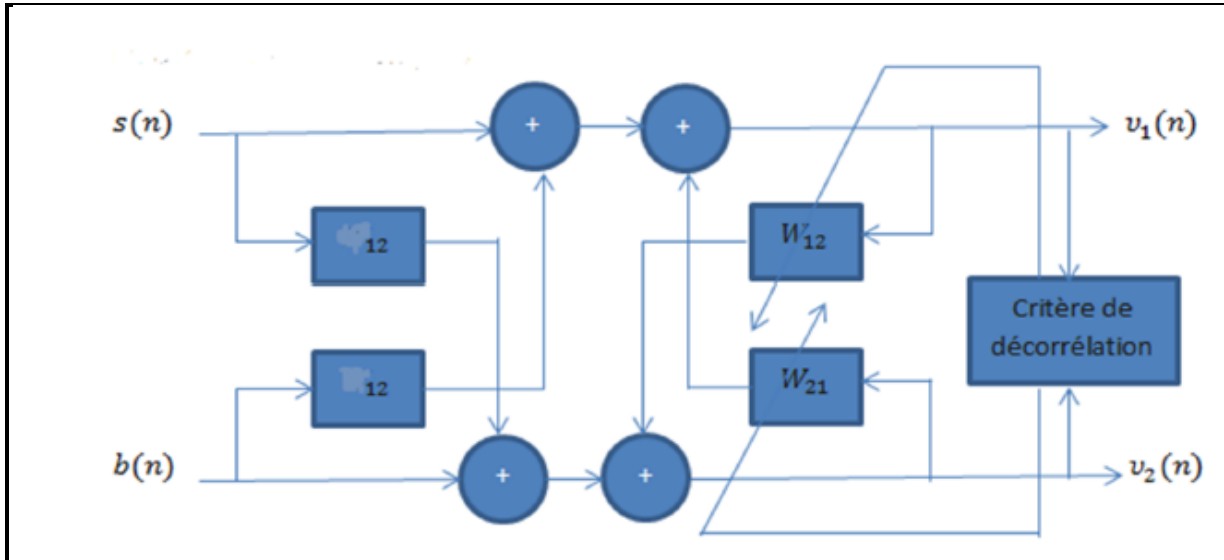


Figure IV. 10. Implémentation de la structure Backward

Les signaux estimés sont données par :

$$v_1(n) = p_1(n) - v_2(n) * w_{21}(n) \tag{4.25}$$

$$v_2(n) = p_2(n) - v_1(n) * w_{12}(n) \tag{4.26}$$

Les équations de mise à jour sont identiques aux équations (4.20) et (4.21) sauf que $u_i(n)$ apparait au lieu de $u_i(n)$:

$$w_{21}^{(n+1)}(m) = w_{21}^{(n)}(m) + \mu_1(v_1(n)v_2(n - m)) \quad m=0, 1...l_1 \tag{4.27}$$

$$w_{12}^{(n+1)}(k) = w_{12}^{(n)}(k) + \mu_2(V_2(n)V_1(n - k)) \quad k=0, 1...l_2 \tag{4.28}$$

IV.3.3. Condition de causalité :

La causalité est un facteur important dans les filtres adaptatifs. La condition nécessaire pour le fonctionnement correct de cet algorithme est :

$$w_{21}(0) = h_{21}(0)=0 \quad \text{ou} \quad w_{12}(0)=h_{12}(0) = 0$$

Dans les équations (4.20) et (4.21), on mesure la valeur instantanée

$c_{u_1u_2}(0)(u_1(n).u_2(n))$ pour mettre à jour les deux filtres $w_{21}(0)$ et $w_{12}(0)$.

- Dans le fonctionnement de la structure Forward, si la condition $w_{21}(0)w_{12}(0) \neq 1$ est vraie, le post-filtre $p(n)$ doit être réalisable. On place au moins un coefficient à zéro pour vérifier la condition précédente.
- Dans le fonctionnement de la structure Backward, le calcul devient impossible si le produit $w_{21}(0)w_{12}(0) = 1$, et il est plus facile si le produit $w_{21}(0)w_{12}(0) = 0$

Toute la raison ci-dessus mène à la même conclusion : au moins un des filtres doit être causal.

Donc, les équations (4.20) et (4.21) sont valides pour $m=0, 1 \dots l_1$ et $k=0, 1 \dots l_2$ respectivement.

IV.3.4. Stabilité de SAD :

La stabilité est un problème fondamental à tous les algorithmes de séparation de signaux convolutifs. Pour résoudre ce problème, il faut étudier la stabilité du filtre:

$$\mathbf{P}(n) = \frac{1}{1 - H_{21}(n)H_{12}(n)} \quad (4.29)$$

IV.3.5. Convergence de l'algorithme SAD :

La convergence de l'algorithme SAD vers la solution souhaitée n'est pas une question triviale. Pour les filtres causaux avec $|H_1(z)H_2(z)| < 1 \forall z, z = e^{jw}$ et en commençant les conditions initiales à zéro, l'algorithme convergera très probablement à la solution souhaitée.

En général, la solution souhaitée est $w_{21}(z) = h_{21}(z)$ et $w_{12}(z) = h_{12}(z)$. On peut distinguer deux séries obtenues analytiquement.

La première série est une solution inverse :

$$\mathbf{w}_1(\mathbf{z}) = \mathbf{1} / \mathbf{H}_1(\mathbf{z}) \quad (4.30)$$

$$\mathbf{w}_2(\mathbf{z}) = \mathbf{1} / \mathbf{H}_2(\mathbf{z}) \quad (4.31)$$

La deuxième série est une série de phantom :

$$\mathbf{w}_1(\mathbf{z}) = \frac{1}{\mathbf{H}_1(\mathbf{z}^{-1})} \frac{\phi_{s1s1} + \mathbf{H}_1(\mathbf{z})\mathbf{H}_1(\mathbf{z}^{-1})\phi_{s2s2}}{\phi_{s2s2} + \mathbf{H}_2(\mathbf{z})\mathbf{H}_2(\mathbf{z}^{-1})\phi_{s1s1}} \quad (4.32)$$

$$\mathbf{w}_2(\mathbf{z}) = \frac{1}{\mathbf{H}_2(\mathbf{z}^{-1})} \frac{\phi_{s2s2} + \mathbf{H}_2(\mathbf{z})\mathbf{H}_2(\mathbf{z}^{-1})\phi_{s1s1}}{\phi_{s1s1} + \mathbf{H}_1(\mathbf{z})\mathbf{H}_1(\mathbf{z}^{-1})\phi_{s2s2}} \quad (4.33)$$

Chapitre IV Rehaussement de la communication bruit dans un avion

Nous pouvons en déduire qu'une contrainte suffisante pour satisfaire à la condition de stabilité ci-dessus est donné par :

$$|H_1(z)H_2(z)| < 1 \forall z, z=e^{j\omega} \quad (4.34)$$

En général, toutes les propriétés de convergence et de stabilité peuvent être intégrées dans un concept unique. Les valeurs théoriques de toutes les intercorrélations peuvent être calculées.

Alors, les équations de mise à jour peuvent être réécrites avec les estimations remplacées par leurs valeurs attendues. Cela conduit à :

$$\mathbf{w}^{(n+1)} = \mathbf{w}^n + \mu c_{u_1 u_2}(\mathbf{k}) \quad (4.35)$$

Le terme $\mu c_{u_1 u_2}(k)$ représente l'étape d'adaptation prévue au point w^n , qui peut être visualisé dans l'espace des paramètres autant que vecteur de petite taille.

IV.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la théorie de l'algorithme de décorrélation symétrique adaptative (SAD) pour la réduction du bruit et la séparation des sources, comme nous avons vu les deux techniques qui sont utilisées dans le (SAD) Forward et Backward. Dans le chapitre suivant, nous présenterons les résultats de simulation du (SAD) pour la technique du Forward.

V.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats de la réduction du bruit acoustiques dans les avions en utilisant l'algorithme de décorrélation avec la structure Forward.

Nous commencerons par la présentation de la structure du mélange convolutif, les différentes sources des signaux (parole et bruit) qui sont utilisées dans les simulations, et les réponses Impulsionnelles, puis nous présenterons les résultats de la simulation de la structure Forward. Nous présenterons également l'influence des paramètres (la taille du filtre L, le pas d'adaptation μ et le rapport signal à bruit RSB) sur la structure que nous avons réalisée.

V.2. Modèle expérimental de mélange convolutif :

Dans cette partie, nous utilisons une implémentation spécifique du modèle de mélange convolutif ((**Figure IV.2**) du chapitre précédent). L'idée que nous poursuivons vise à utiliser un modèle conforme à la physique du problème.

V.3. Simulation de réponses impulsionnelles :

La figure ci-après (**Figure V.1**) représente un exemple typique de réponses impulsionnelles acoustiques. La majeure partie de l'énergie contenue dans une réponse impulsionnelle correspond à un support temporel d'environ $L = 64$ échantillons à la fréquence d'échantillonnage $f_e = 16$ khz.

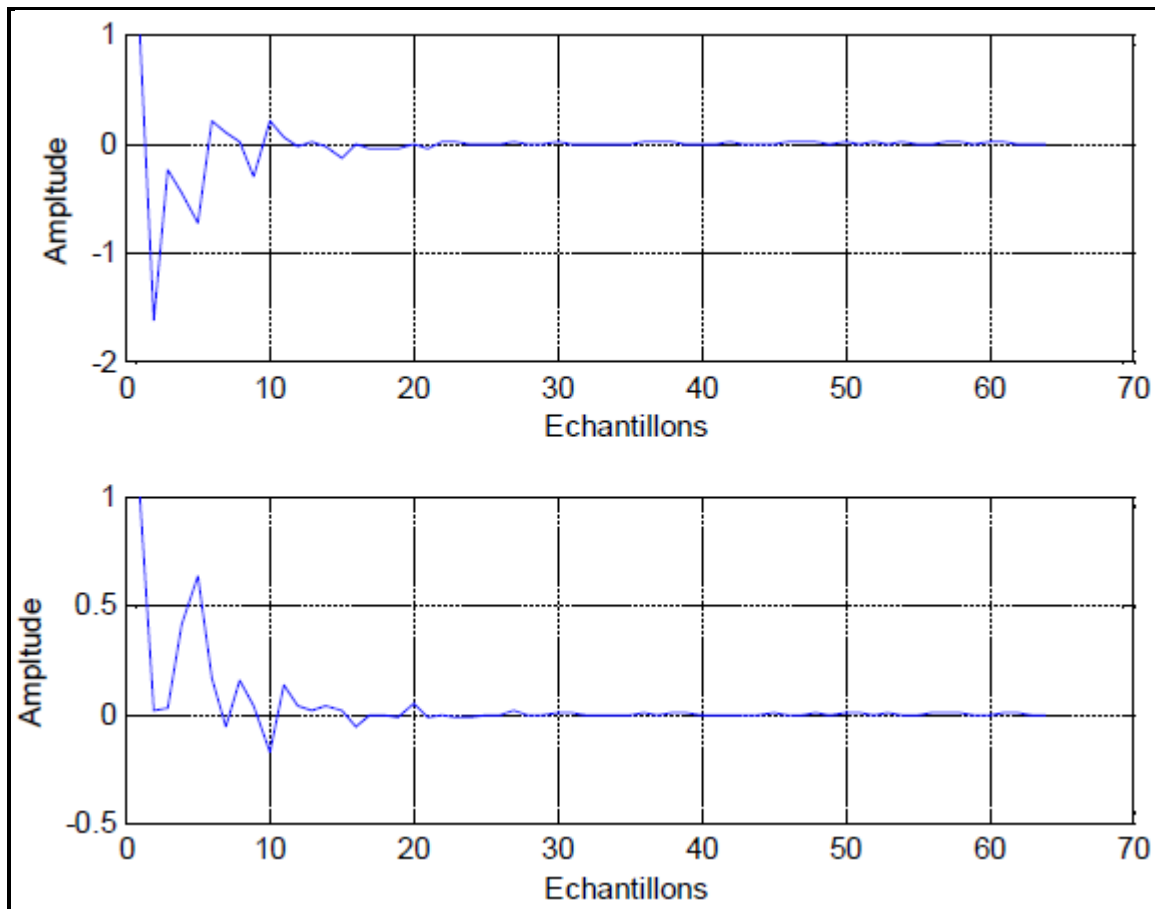


Figure V. 1 : Les deux réponses impulsionnelles simulées h_{12} et h_{21} respectivement

V.4. Signaux utilisés en simulations :

Notons tout d'abord qu'une fréquence d'échantillonnage de 8 khz été utilisée pour obtenir l'ensemble des simulations présentées dans ce chapitre. De plus, les résultats présentés sont obtenus à partir du signal de parole de durée 10 secondes (locuteur masculin) représenté ci dessous.

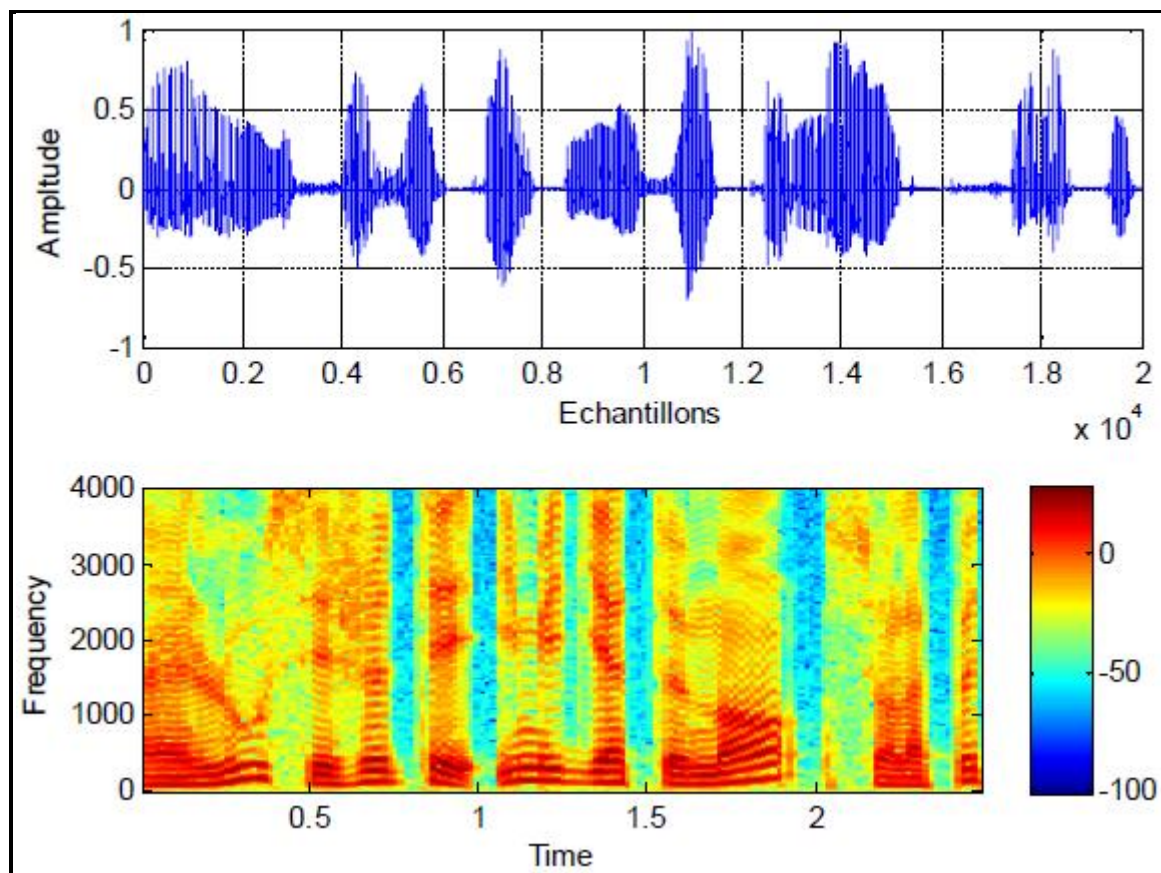


Figure V. 2 : Signal de parole utilisé (original) et son spectre respectivement ($F_e=8\text{KHz}$)

En ce qui concerne la seconde source, elle correspond à un bruit stationnaire. Un bruit blanc gaussien qui est une réalisation d'un processus aléatoire dans lequel la densité spectrale de puissance est la même pour toutes les fréquences et sert surtout à vérifier la stabilité numérique de l'algorithme utilisé.

Aussi, nous avons utilisé trois (03) types de bruits d'avions (ces bruits sont pris dans des conditions réelles dans les habitacles de ces avions) :

- Bruit d'avion A320, **figure (V.4)**.
- Bruit d'avion Cessna 172, **figure (V.5)**.
- Bruit d'avion B737, **figure (V.6)**.

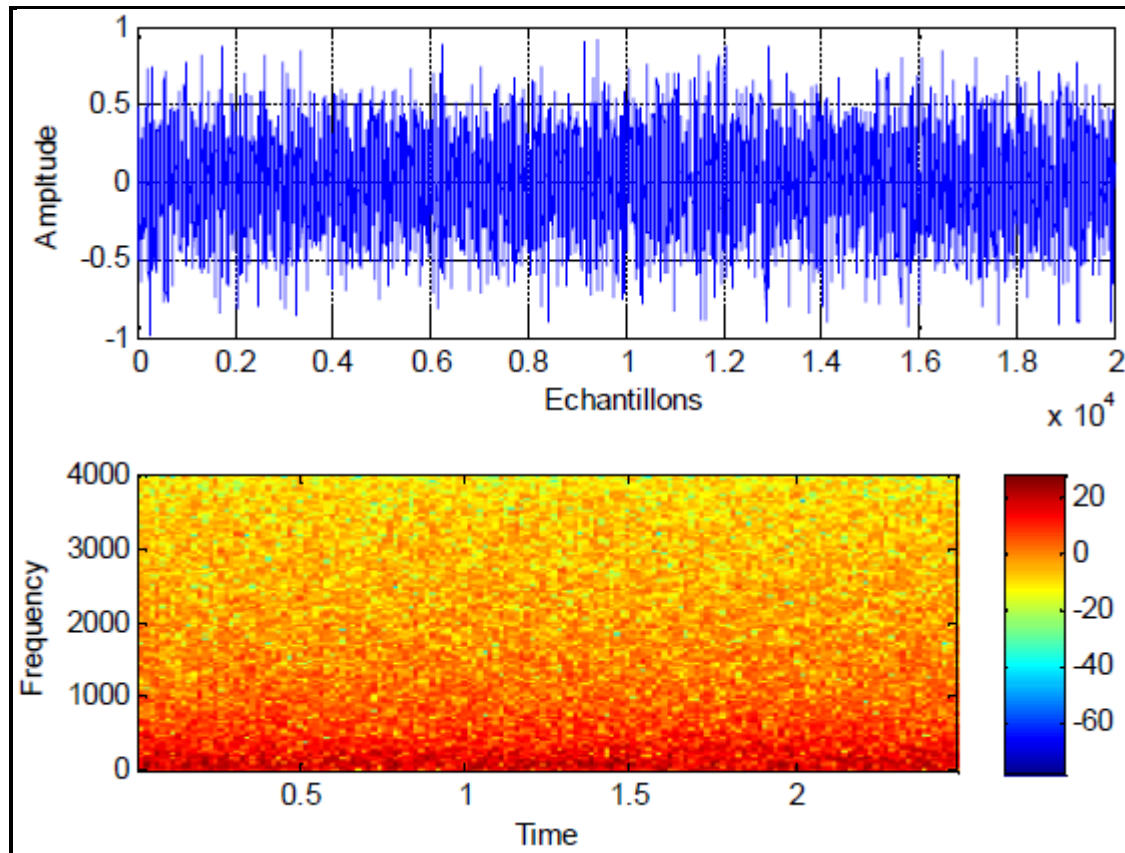


Figure V. 3 : Bruit blanc et son spectrogramme respectivement

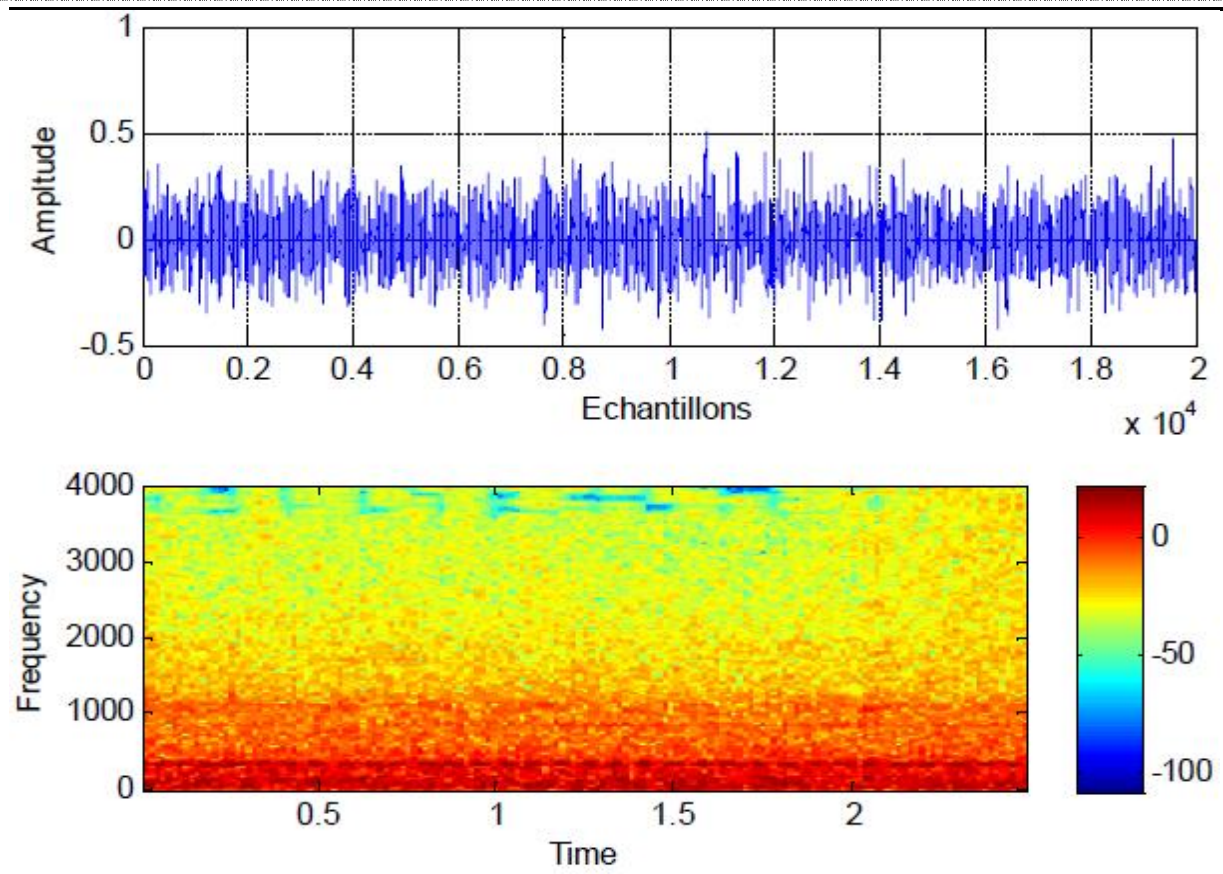


Figure V. 4. Bruit avion A320 et son spectrogramme respectivement

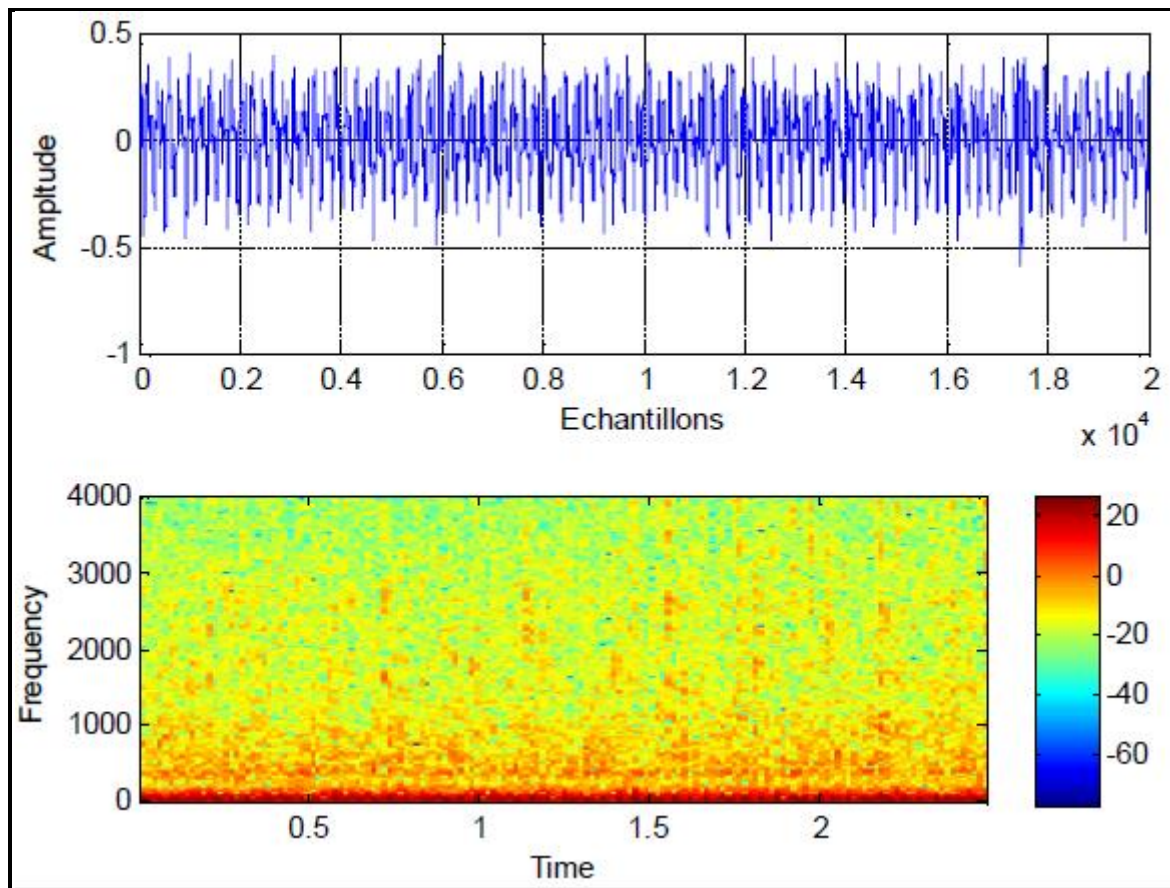


Figure V. 5. Bruit avion Cessna 172 et son spectrogramme respectivement

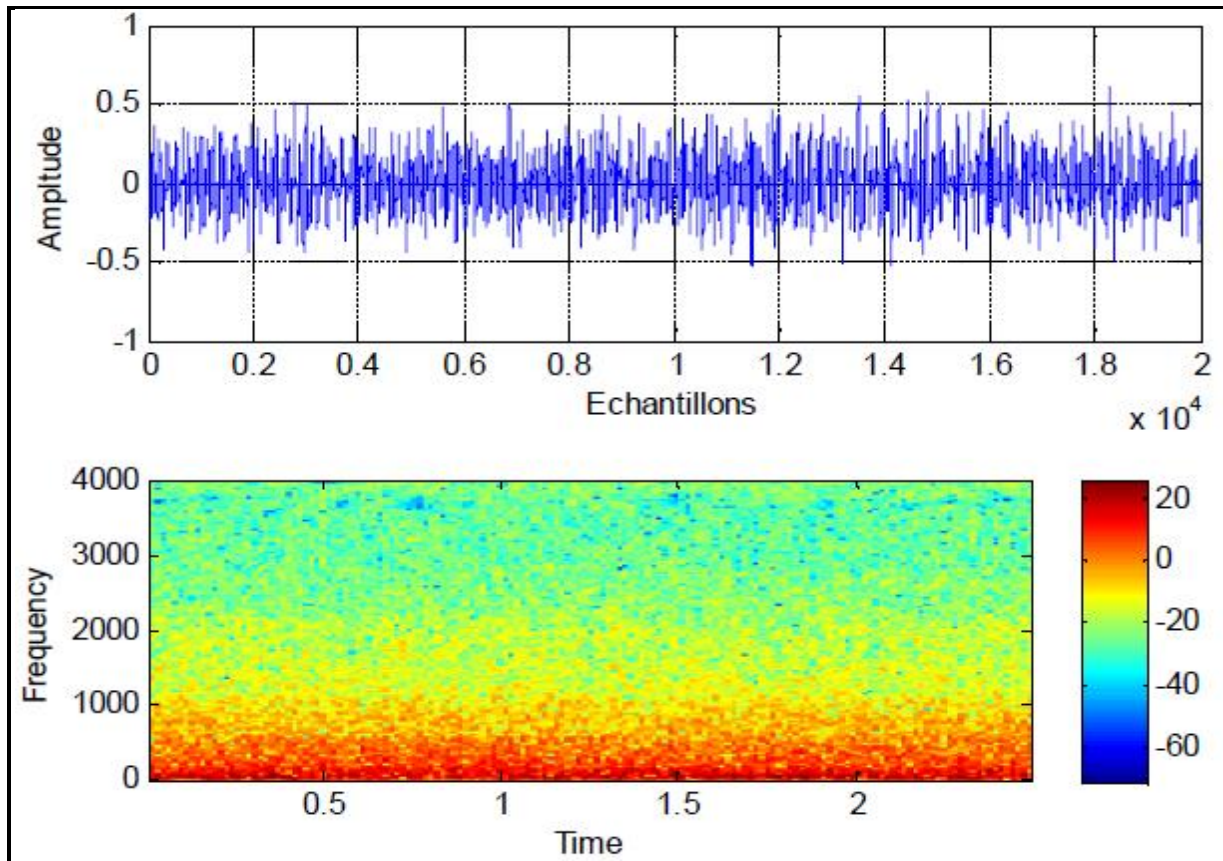


Figure V. 6. Bruit avion B737 et son spectrogramme respectivement

V.5. Détection d'activité vocale (DAV) :

Il a déjà été noté que les signaux en sortie de la structure de séparation symétrique de sources de type Forward sont obtenus à partir d'un système d'aiguillage (c'est-à-dire que selon la configuration souhaitée par l'utilisateur, il est possible de maîtriser le fait que l'estimée d'un signal source soit disponible sur la sortie primaire ou secondaire de cette structure).

Nous utilisons dans la structure de séparation de source avec l'algorithme (SAD) un mécanisme de Détection d'Activité Vocale (DAV) manuel pour contrôler l'adaptation des filtres w_{21} et w_{12} .

Cette adaptation est contrôlée de la manière suivante : le filtre w_{21} est adapté uniquement en période de bruit seule, alors que le filtre w_{12} est adapté uniquement pendant les périodes d'activité vocale (période de présence du signal de parole utile). La **figure (V.7)** présente un exemple de DAV manuelle sur le même signal de parole que celui décrit précédemment.

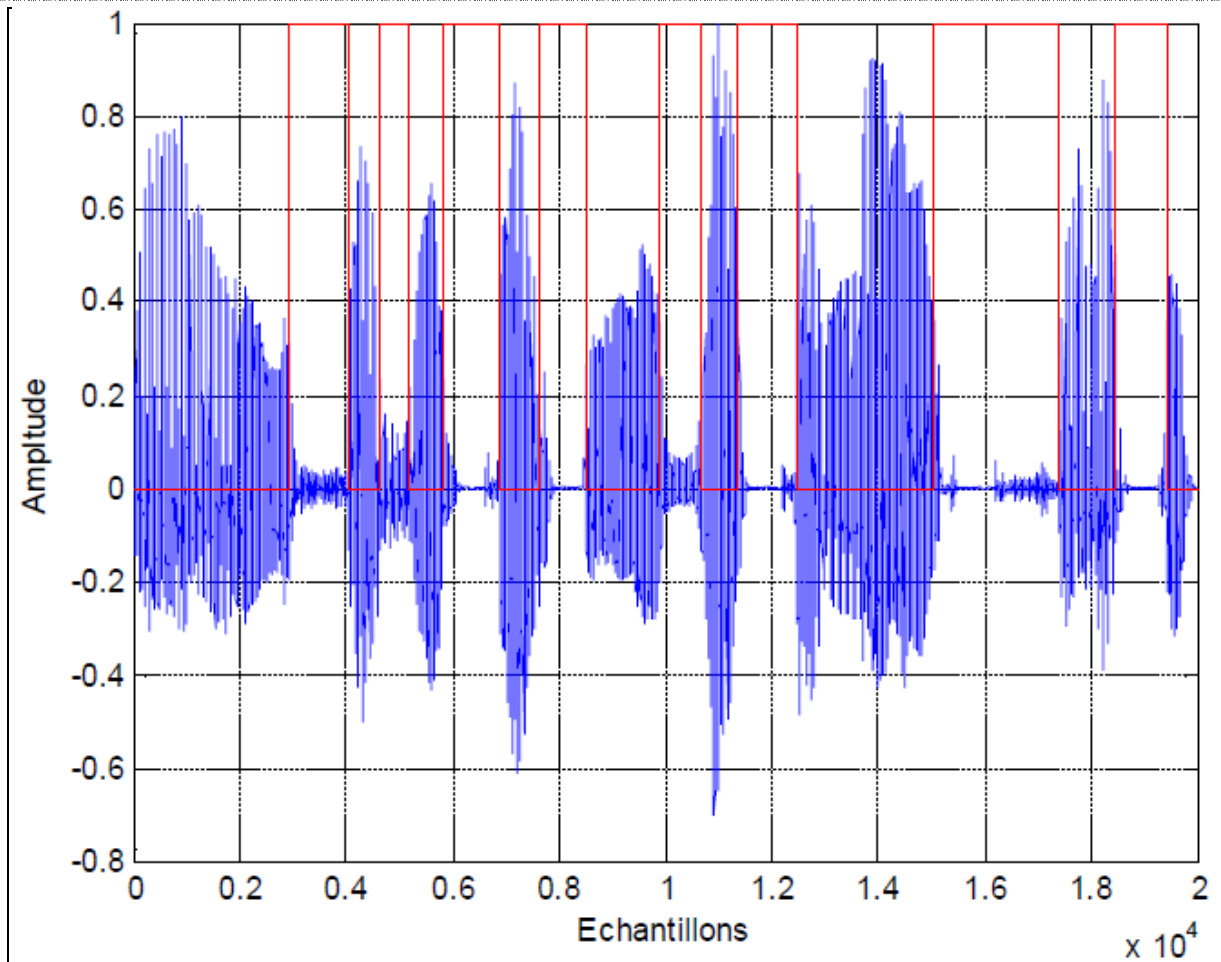


Figure V. 7. Signal de parole utilisé avec la segmentation manuelle.

V.6. Critère du désajustement :

Ce critère est noté SM pour « System Mismatch » est défini par l'expression suivant

$$(\text{SM}) \text{ dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{\|\hat{w}_{ij} - h_{ij}\|^2}{\|h_{ij}\|^2} \right) \quad \text{Où } i \neq j \in [1,2] \quad (5.1)$$

Où h_{ij} représente les coefficients du filtre réel (utilisé dans la convolution), et \hat{w}_{ij} représente la valeur moyenne des coefficients estimés (coefficient du filtre adaptatif).

La vitesse de convergence du SM nous permet d'évaluer la vitesse de convergence de notre algorithme.

V.7. Rapport signal à bruit (RSB) :

Le rapport signal à bruit de sortie calculé pour l'algorithme SAD S se calcule avec la relation

ci-dessous :

$$(\text{RSB})_{\text{dB}} = 10 * \log \left(\frac{E_s}{E_b} \right)$$

Tel que :

E_b : la puissance du signal utile à la sortie,

E_s : la puissance du bruit à la sortie.

V.8. Evaluation du comportement l'algorithme SAD avec un bruit théorique (Simulations faite avec un Bruit Blanc) :

Avant d'entamer la partie de test dans l'habitacle d'avions, nous avons évalué l'algorithme SAD avec des bruits théoriques tel que le bruit blanc. Pour cela, nous avons évalué les trois critères de désajustement, l'erreur quadratique moyenne et celui de la décorrélation afin de mieux voir son comportement. Dans cette simulation, nous avons utilisé les paramètres de simulations suivants :

Signal de parole source : celui de la **figure (V.2)**.

Source de bruit : un bruit blanc.

La taille des filtres (**L**) = **128**.

Le pas du filtre adaptatif : $\mu_{21} = \mu_{12} = 0.9$.

Les résultats de simulation en termes de l'erreur quadratique moyenne (MSE), du System Mismatch (SM) et du critère de décorrélation (Dec) sont donnés par les figures suivantes :

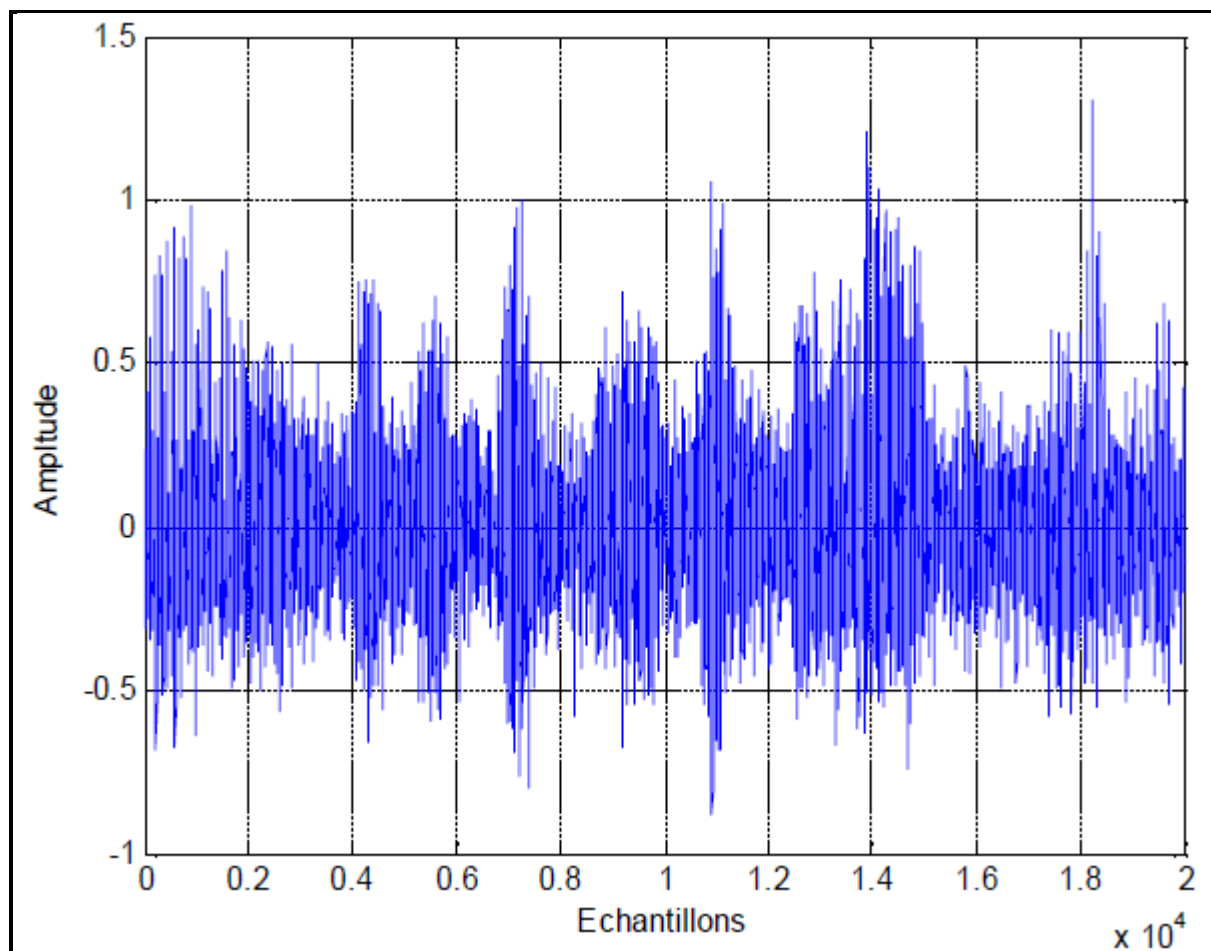


Figure V. 8. Signal du mélange (signal bruité) p1

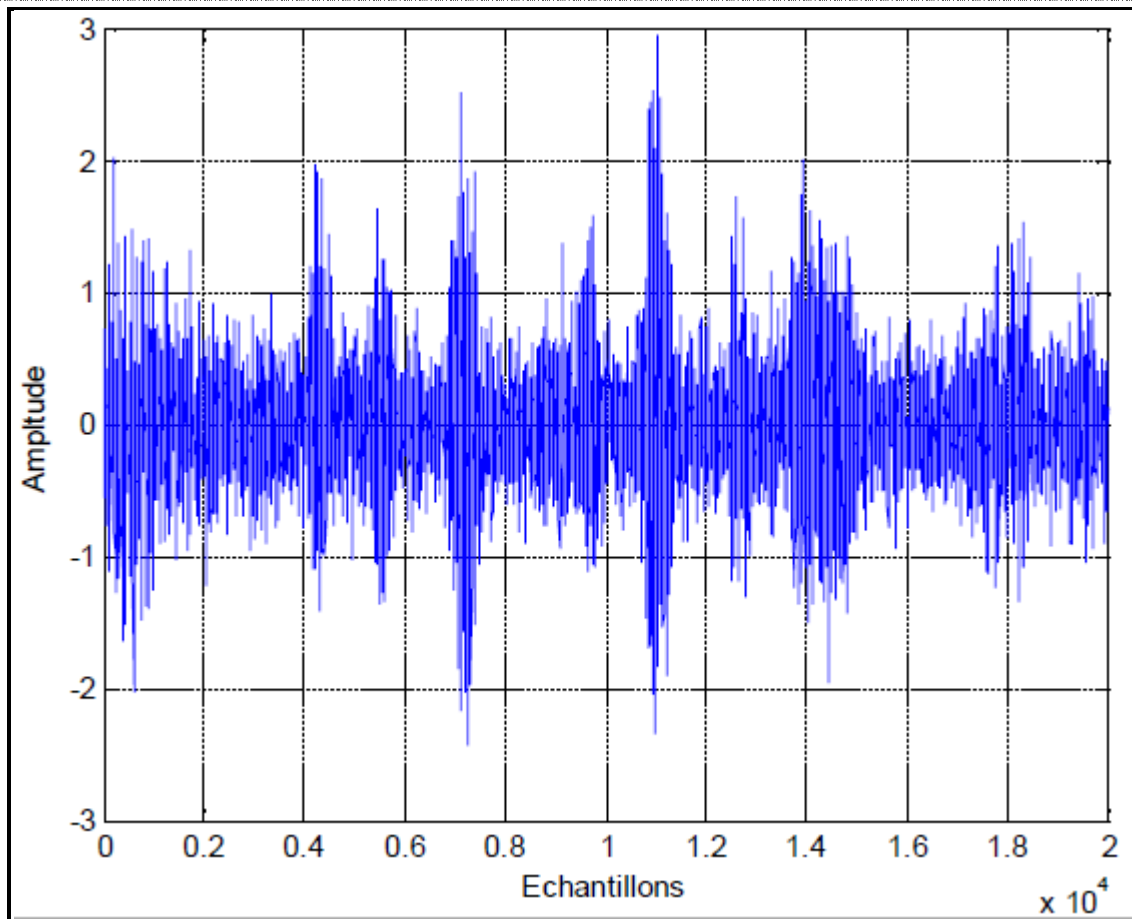


Figure V. 9. Signal du mélange (signal bruité) p2

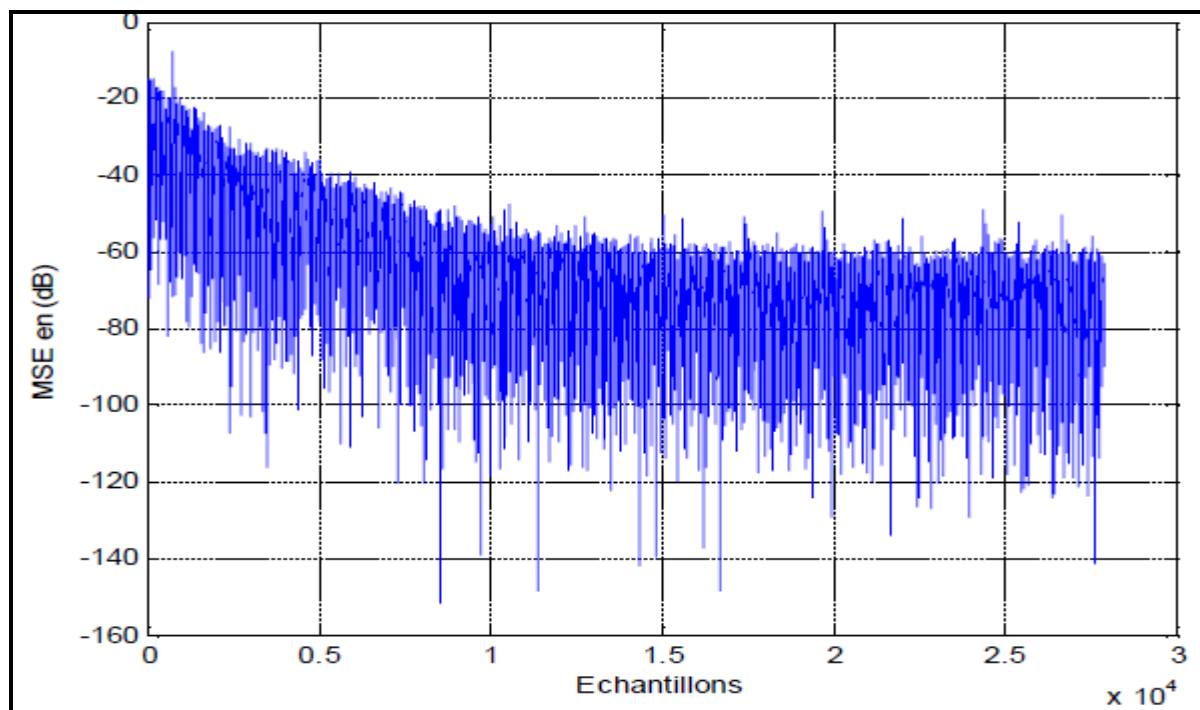


Figure V. 10. Représentation de l'erreur quadratique moyenne (MSE) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit blanc.

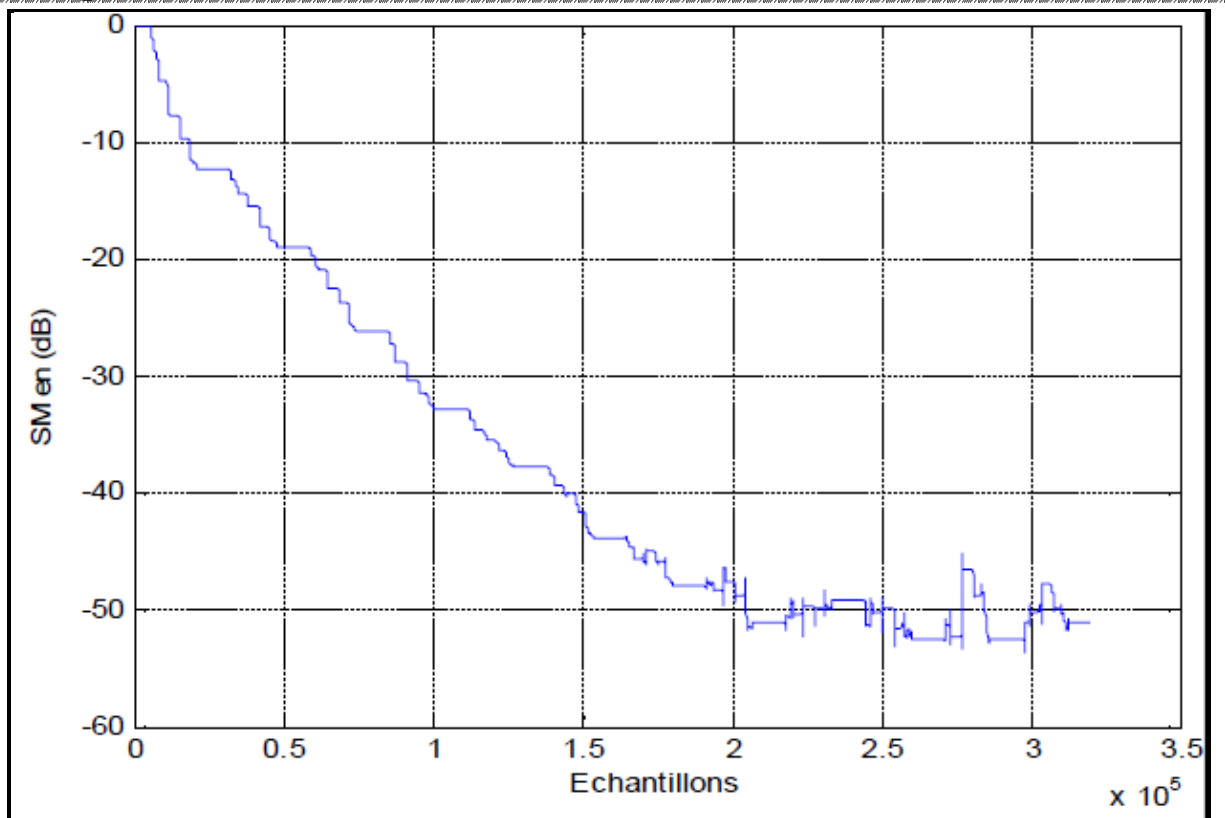


Figure V. 11. Représentation du critère de désajustement (SM) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit blanc.

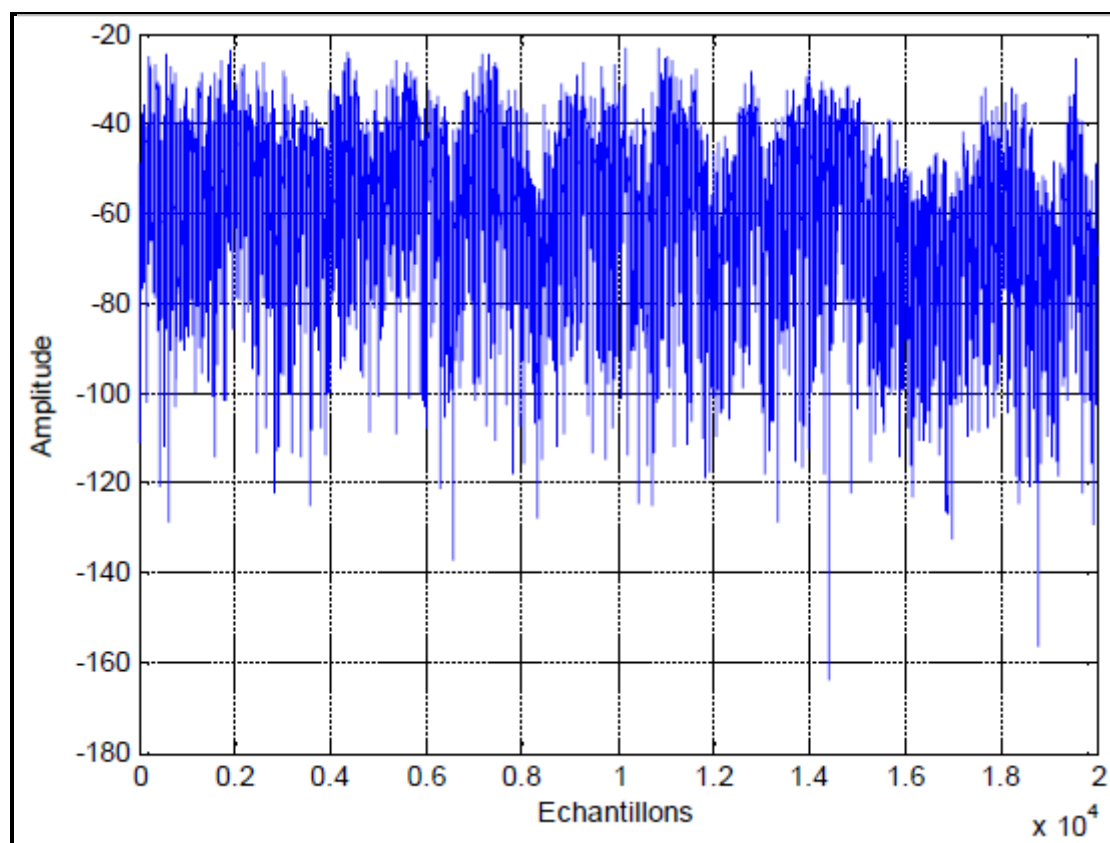


Figure V. 12. Représentation de la fonction de décorrélation employée dans le SAD.

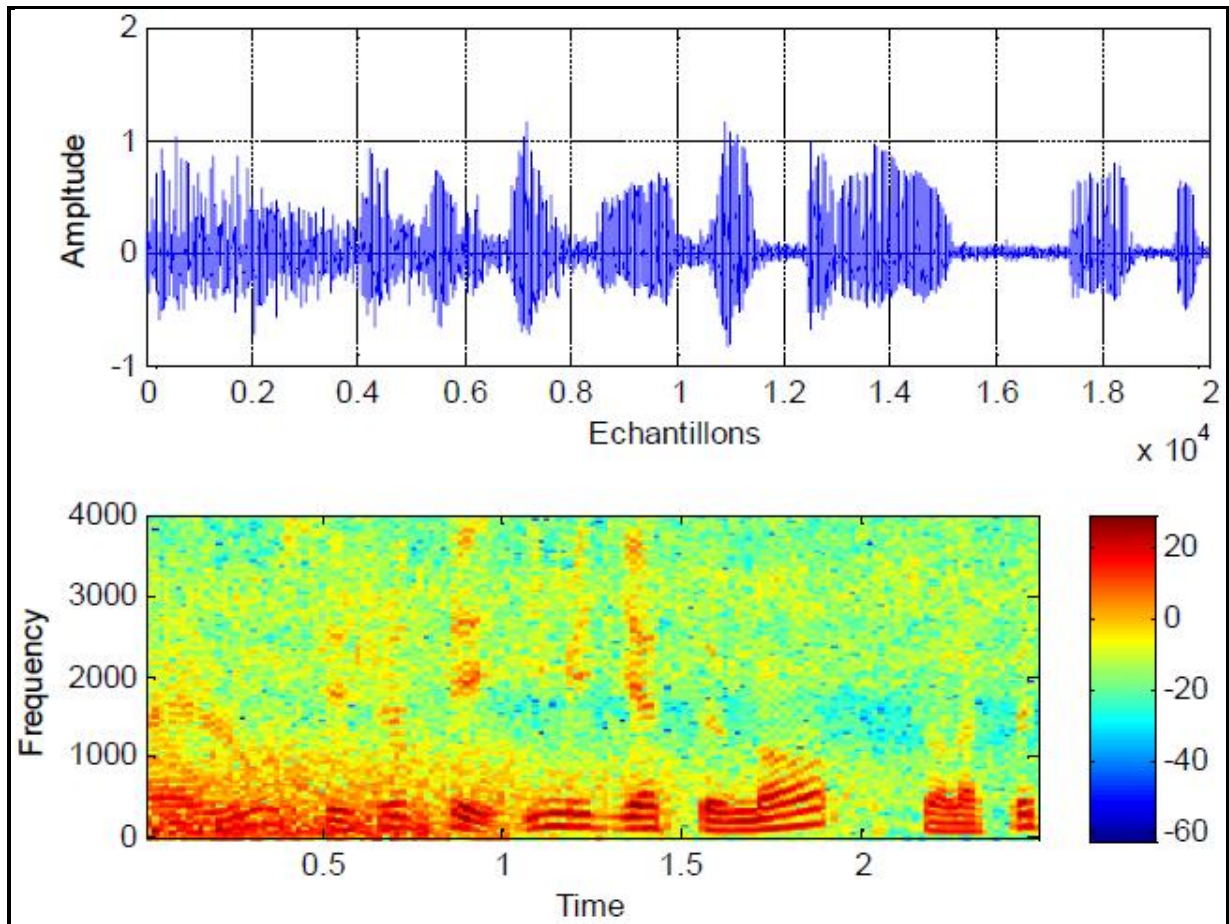


Figure V. 13. Signal rehaussé e1 (signal de sortie) et son spectre respectivement dans le cas d'un bruit blanc

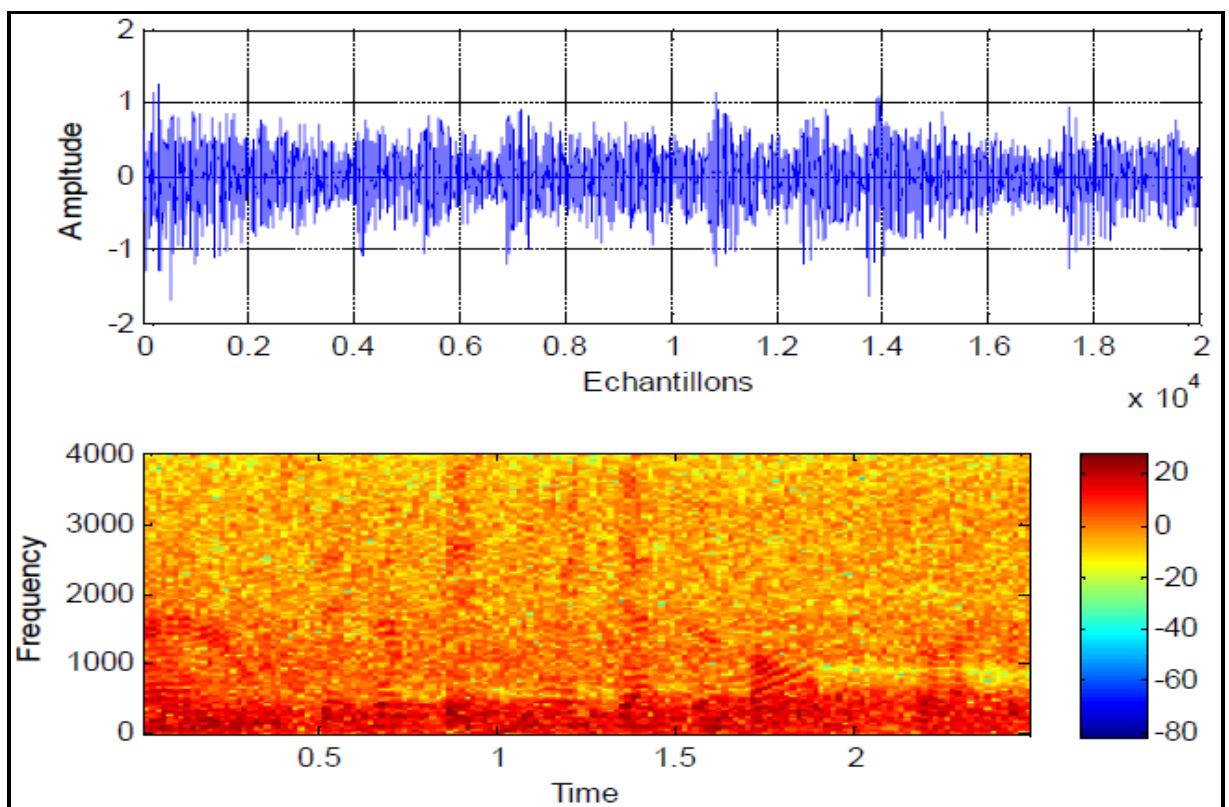


Figure V. 14. Signal rehaussé e1 (signal de sortie) et son spectre respectivement dans le cas d'un bruit blanc.

A partir de ces résultats (de **Figure V.10** à la **Figure V.14**), nous avons remarqué un bon comportement de cet algorithme SAD dans l'annulation du bruit acoustique de type blanc. Dans la prochaine étape, nous allons appliquer cet algorithme dans la réduction des bruits mesurés dans des habitacles d'avions.

V.9. Simulation de l'algorithme de décorrélation symétrique avec différents types de bruit d'avions :

Le but principal de ce projet est de tester l'algorithme de décorrélation symétrique (SAD) dans un environnement réel et très proche de la réalité et qui a un lien direct avec le domaine de l'aéronautique. Ce sont les bruits mesurés dans des habitacles d'avions que nous allons tester et évaluer la procédure de leurs suppressions avec le SAD.

V.9.1. Simulation faite avec du bruit d'avion de type A320 ;

Dans cette simulation, nous avons utilisé les paramètres de simulations suivants :

Signal de parole source : celui de la **figure (V.2)**.

Source de bruit : un bruit d'avion de type A320, celui de la **figure (V.4)**.

La taille des filtres (**L**) = **128**.

Paramètres $\mu_{21} = \mu_{12} = 0.7$.

Les résultats de simulations en termes de (MSE), du system Mismatch (SM) et du critère de décorrélation (Dec) sont donnés par les figures suivantes :

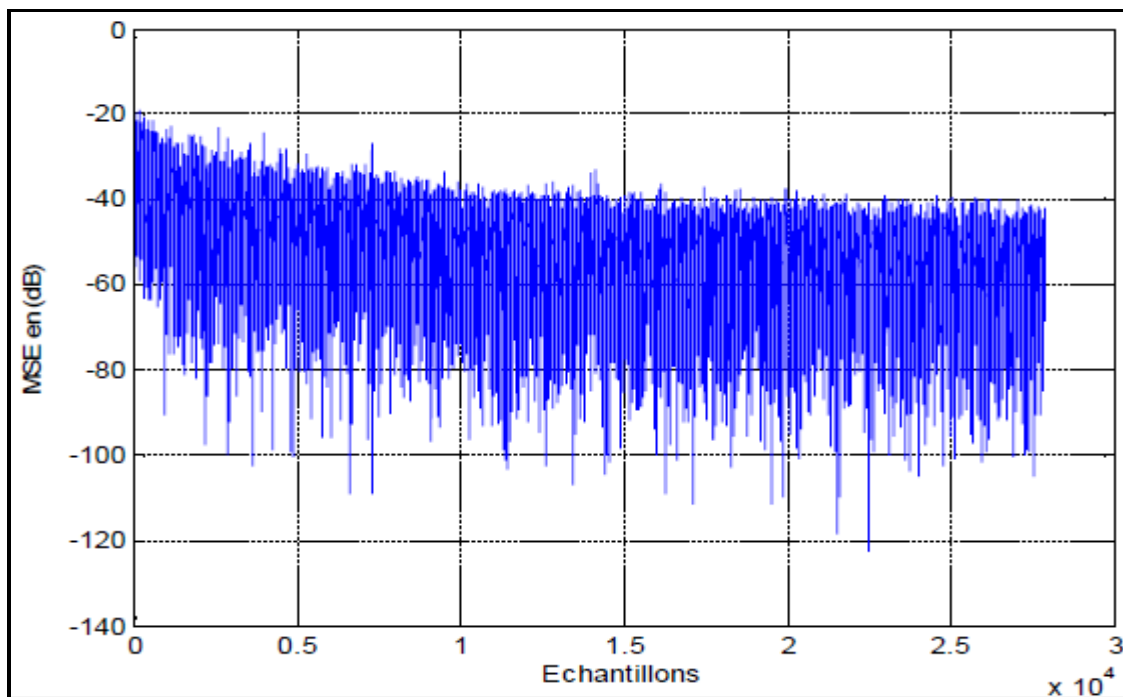


Figure V. 15. Représentation de l'erreur quadratique moyenne (MSE) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type A320.

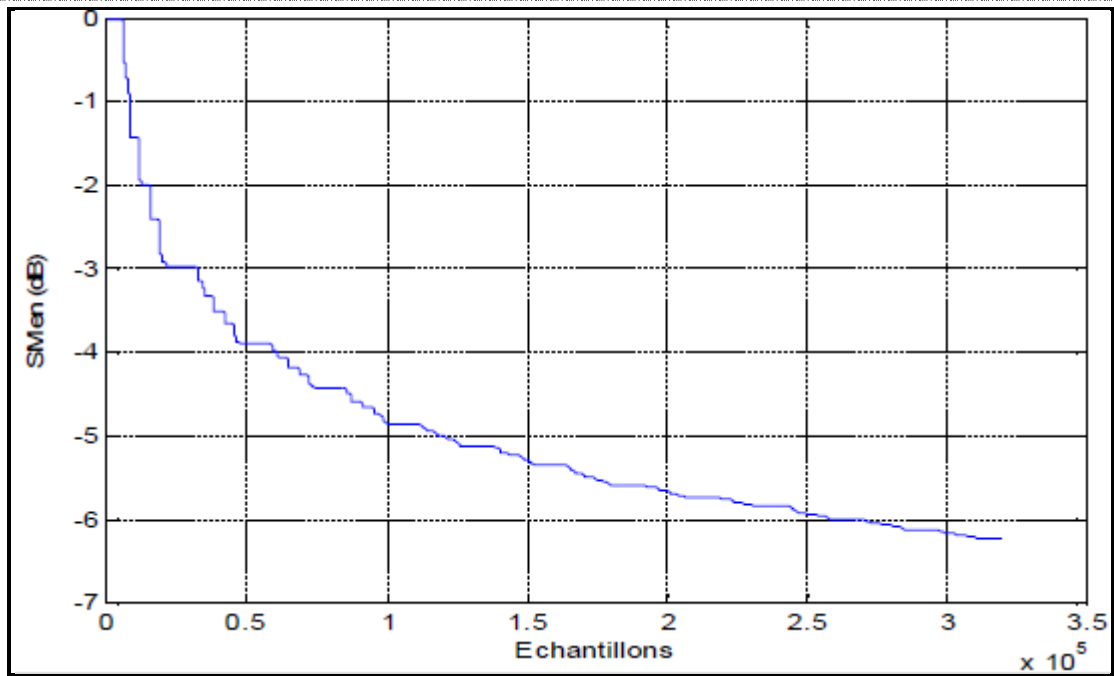


Figure V. 16. Représentation du critère de désajustement (SM) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type A320.

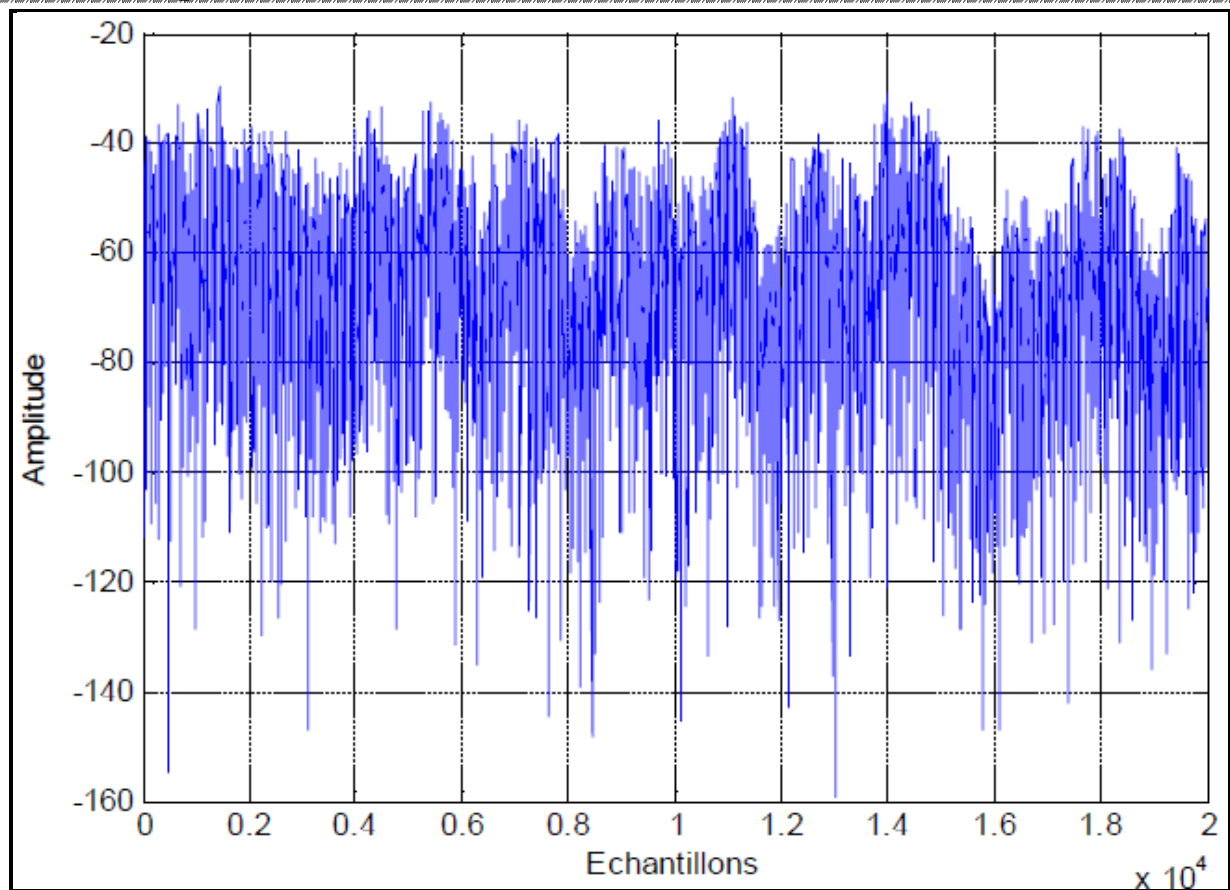


Figure V. 17. Représentation de la fonction de décorrélation employée dans la SAD.

V.9.2. Simulation faite avec du bruit d'avion de type B737 :

Dans cette simulation, nous allons utiliser les paramètres de simulations suivants :

Signal de parole source : celui de la **figure (V.2)**.

Source de bruit : un bruit d'avion de type B737, celui de la **figure (V.5)**.

La taille des filtres (**L**) = **128**.

Paramètres $\mu_{21} = \mu_{12} = \mathbf{0.65}$.

Les résultats de simulations en termes de l'erreur quadratique moyenne (MSE), du system Mismatch (SM) et du critère de décorrélation (Dec) sont donnés par les figures suivantes :

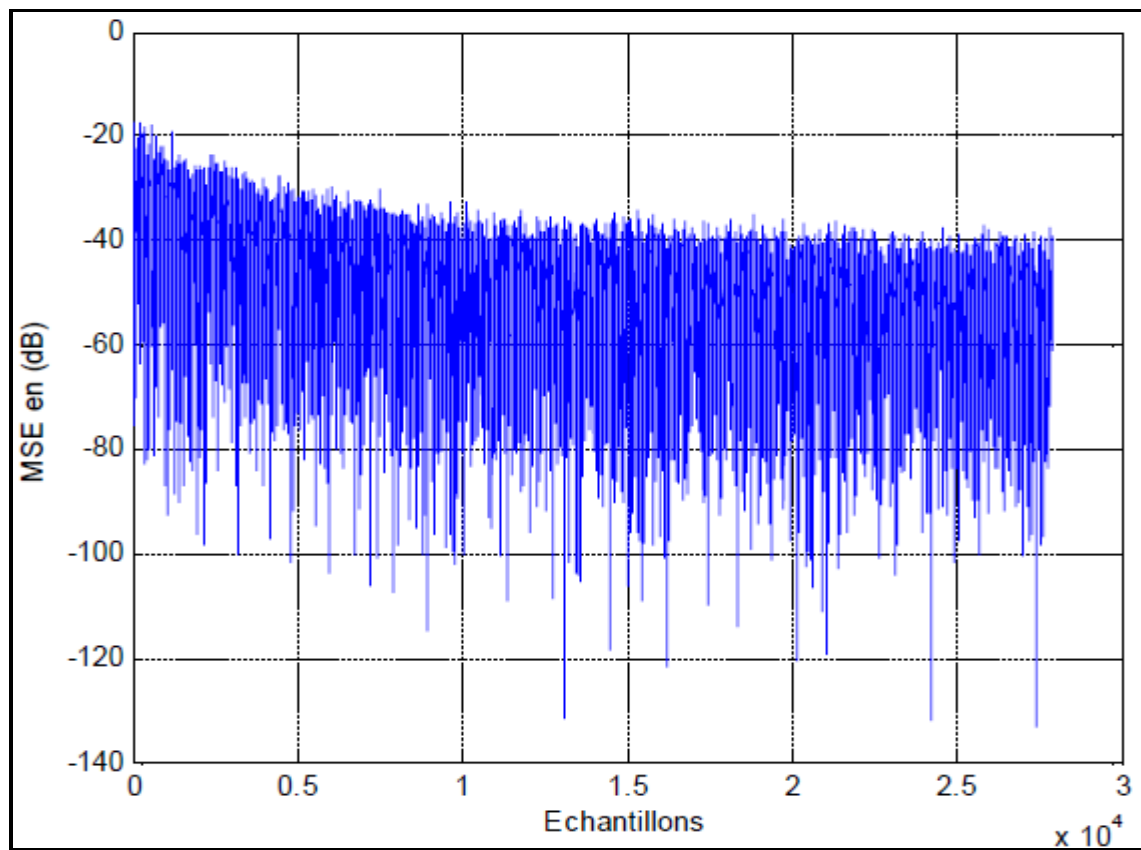


Figure V. 18. Représentation de l'erreur quadratique moyenne (MSE) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type B737.

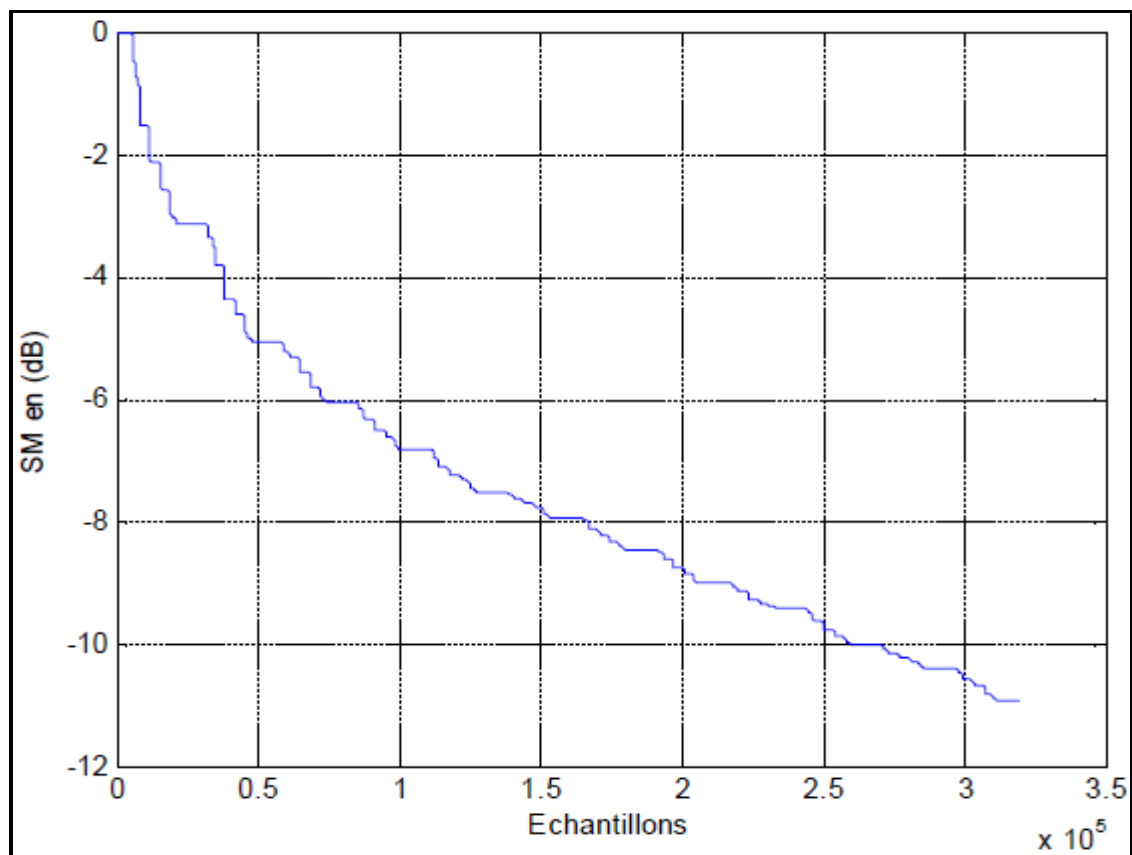


Figure V. 19. Représentation du critère de désajustement (SM) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type B737.

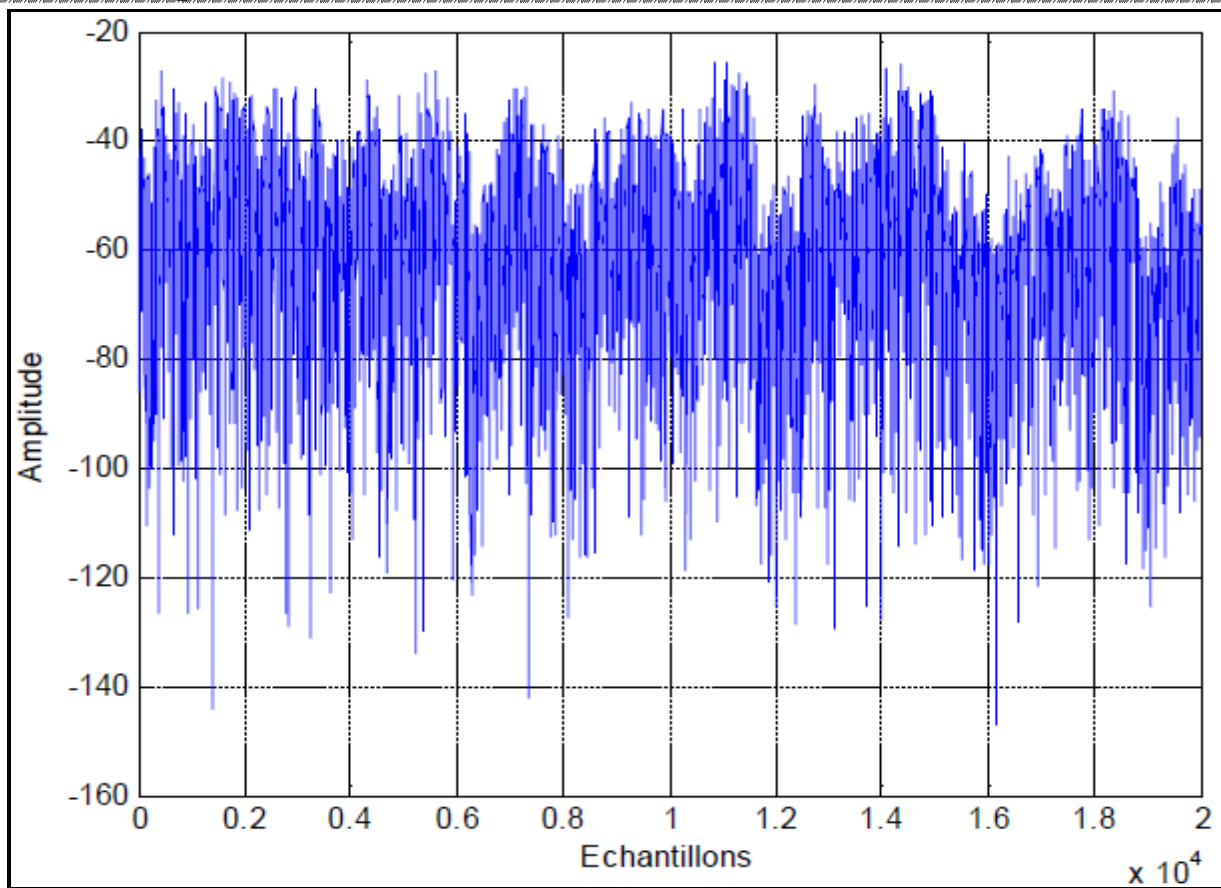


Figure V. 20. Représentation de la fonction de décorrélation employée dans la SAD.

V.9.3. Simulation faite avec du bruit d'avion de type Cessna 172 :

Dans cette simulation, nous allons utiliser les paramètres de simulations suivants :

Signal de parole source : celui de la **figure (V.2)**.

Source de bruit : un bruit d'avion de type Cessna 172, celui de la **figure (V.6)**.

La taille des **filtres (L) = 128** ;

Paramètres $\mu_{21} = \mu_{12} = 0.8$;

Les résultats de simulations en termes de l'erreur quadratique moyenne (MSE), du system Mismatch (SM) et du critère de décorrélation (Dec) sont donnés par les figures suivantes :

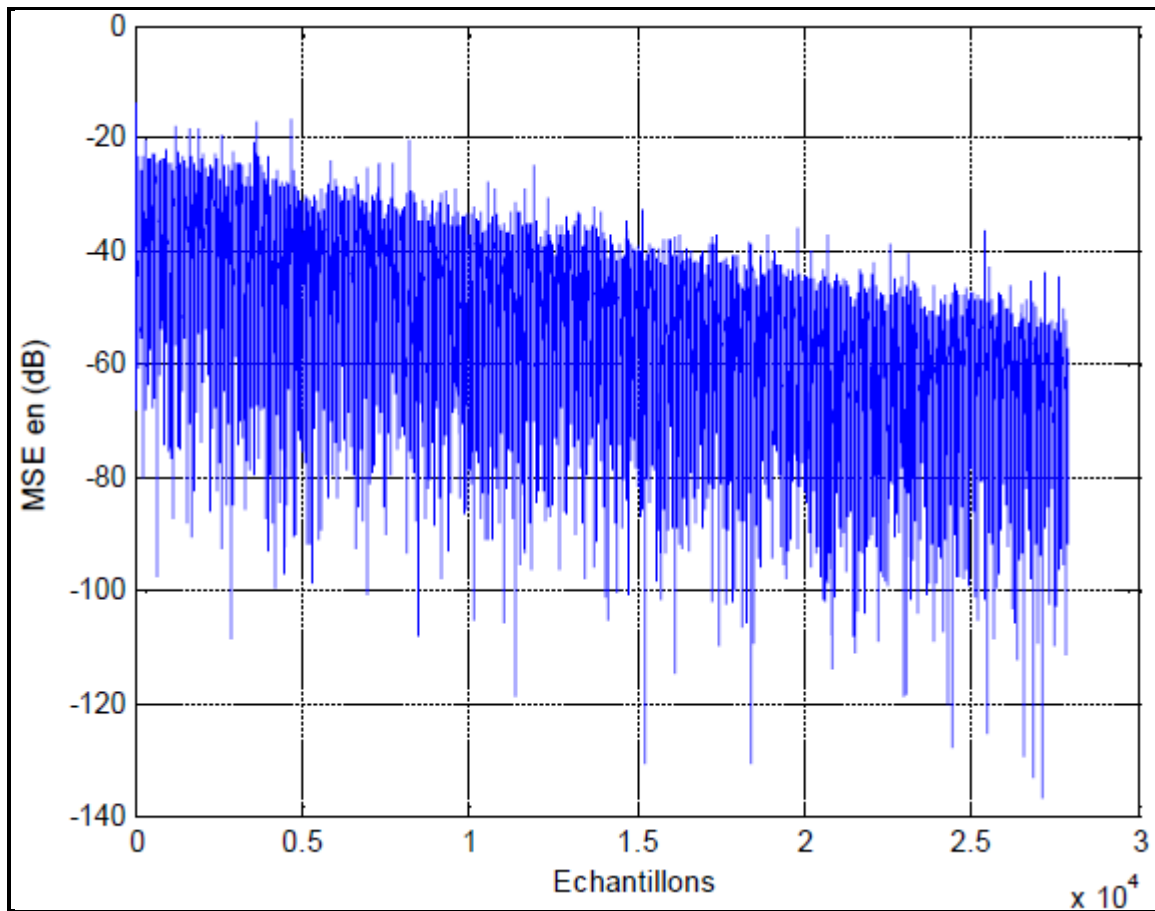


Figure V. 21. Représentation de l'erreur quadratique moyenne (MSE) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type Cessna 172.

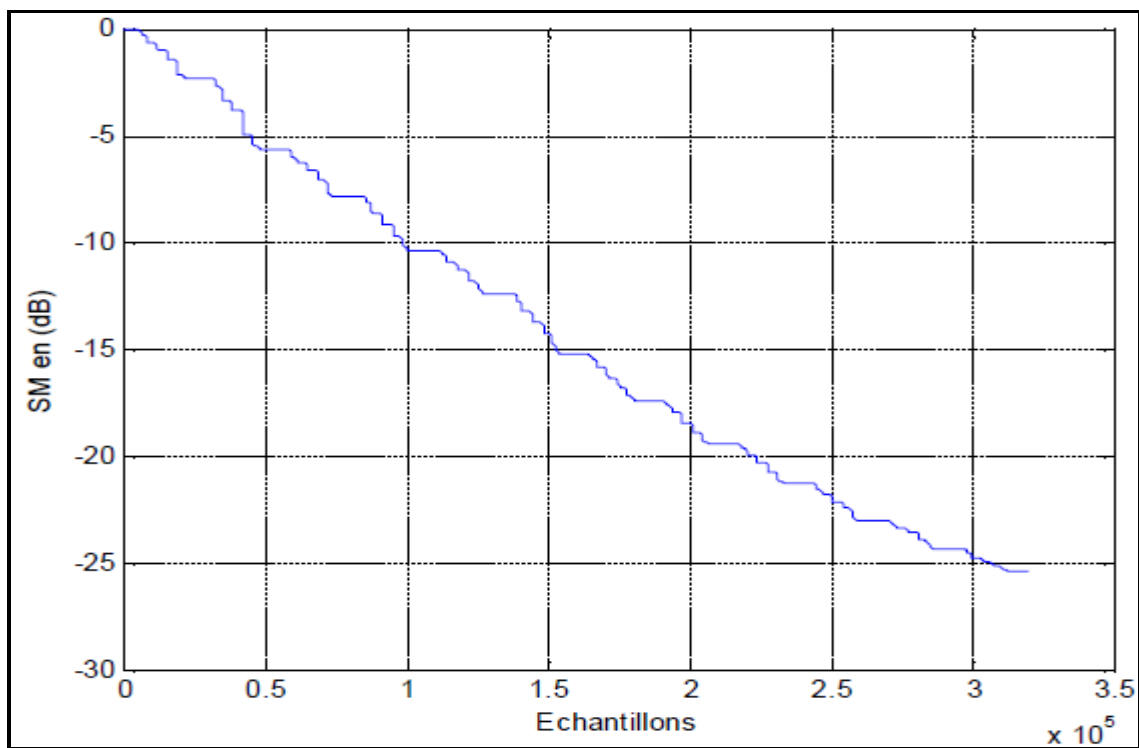


Figure V. 22. Représentation du critère de désajustement (SM) exprimée en dB obtenu dans le cas d'un bruit d'avion de type Cessna 172.

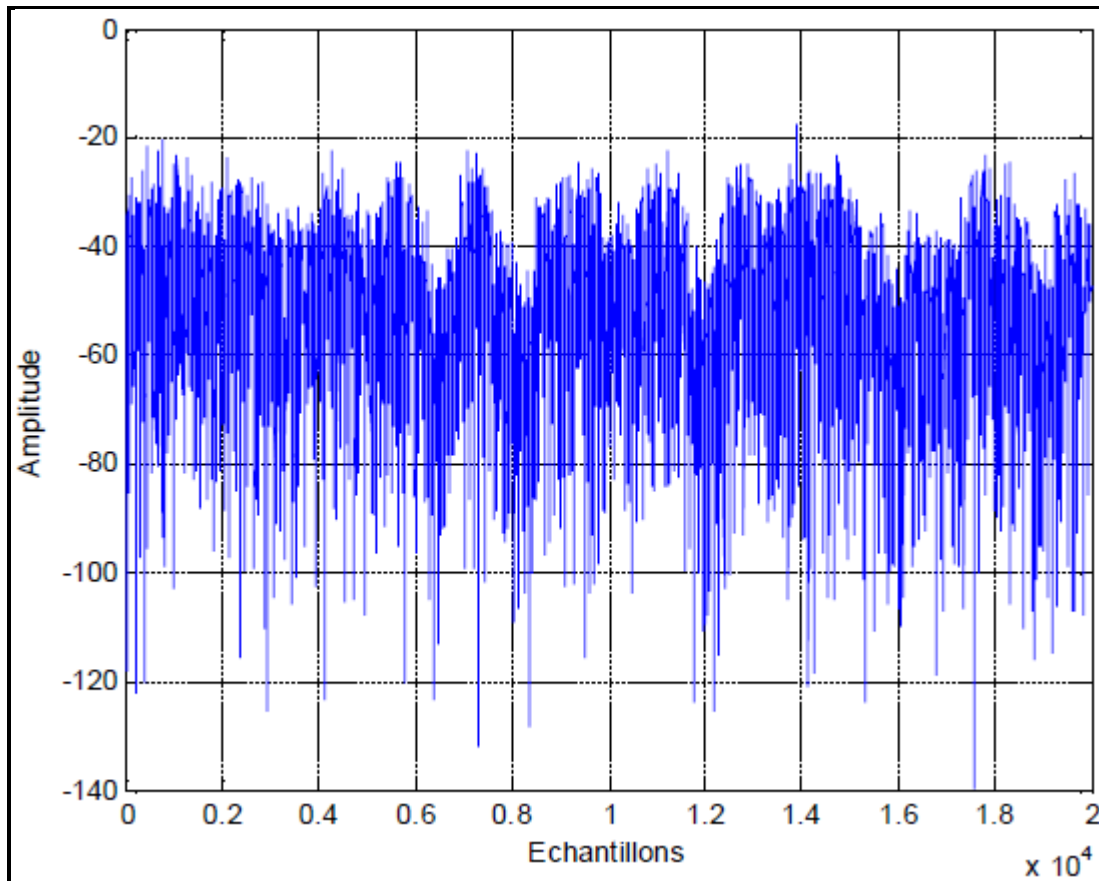


Figure V. 23. Représentation de la fonction de décorrélation employée dans la SAD.

V.10. Evaluation du rapport- signal-à-bruit segmentale (RSBseg) de l'algorithme de décorrélation symétrique (SAD) avec différents types de bruit d'avions :

Afin de bien évaluer les performances de réduction de bruit de l'algorithme de décorrélation symétrique (SAD), nous avons fait plusieurs simulations avec différents types de bruits d'avions à savoir le bruit des avions suivants : Cessena 172, A320 et celui du B737. Cette simulation est réalisée avec les paramètres suivants :

Trois tailles du filtre adaptatif (**10, 64 et 128**).

5 niveaux du RSB d'entrée (**-12 dB, -6dB, 0dB, 6dB et 12 dB**).

Trois pas d'adaptation (**0.1, 0.5 et 0.9**).

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivants :

Tableau V. 1. Les valeurs moyennes du RSB de sortie calculée avec l'algorithme SAD en utilisant le bruit d'avion Cessna 172.

La taille du filtre	Le pas μ	RSB d'entrée (dB)				
		-12	-6	0	6	12
L=10	0.1	51.2347	51.7576	52.1788	52.5171	52.7308
	0.5	45.9743	46.1128	46.2575	46.3932	46.3740
	0.9	42.7571	42.8745	43.0258	43.2291	43.4607
L=64	0.1	26.7806	31.1088	34.3416	36.4488	37.5939
	0.5	30.4916	31.2518	31.8385	32.3120	32.6891
	0.9	27.8601	28.6576	29.3620	29.9279	30.3135
L=128	0.1	14.3504	20.3122	26.1768	31.7552	36.6520
	0.5	22.0655	26.3076	30.1083	33.3315	35.7708
	0.9	14.0445	19.3711	24.1966	28.5460	32.1399

Tableau V. 2. Les valeurs moyennes du RSB de sortie calculée avec l'algorithme SAD en utilisant le bruit d'avion A320

La taille du filtre	Le pas μ	RSB d'entrée (dB)				
		-12	-6	0	6	12
L=10	0.1	25.0689	42.4615	46.1078	37.8464	49.6569
	0.5	36.1202	43.7705	42.0373	38.5526	47.4961
	0.9	37.7215	33.9446	41.0335	37.7104	42.6561
L=64	0.1	09.8638	15.8605	21.8423	27.7628	33.4628
	0.5	12.7760	18.6931	24.4258	29.6410	33.7702
	0.9	11.2135	17.0677	22.6437	27.5254	31.1503
L=128	0.1	08.7520	14.7504	20.7420	26.7049	32.5558
	0.5	16.2422	22.0777	27.5531	32.2514	35.8181
	0.9	19.1829	24.2718	28.4037	31.5100	33.7661

Tableau V. 3. Les valeurs moyennes du RSB de sortie calculée avec l'algorithme SAD en utilisant le bruit d'avion B737.

La taille du filtre	Le pas μ	RSB d'entrée (dB)				
		-12	-6	0	6	12
L=10	0.1	38.3638	40.6642	42.3320	43.3623	43.8752
	0.5	37.4942	37.7722	37.9647	38.0877	38.1953
	0.9	34.0474	34.1402	34.2167	34.2944	34.4152
L=64	0.1	07.4980	13.4941	19.4772	25.4095	31.1651
	0.5	17.3708	22.9116	25.7641	31.6185	34.3944
	0.9	22.0775	25.6010	28.4961	30.6266	32.1828
L=128	0.1	03.7350	09.7333	15.7288	21.7163	26.6768
	0.5	09.3191	15.3087	21.2718	27.1383	32.6875
	0.9	13.5926	19.5204	25.2099	30.2814	34.3419

A partir des résultats de simulations des **Tableaux V.1 à V.3**, nous pouvons clairement voir le bon comportement de l'algorithme SAD dans la suppression du bruit acoustique dans différents cockpits d'avions. Aussi, nous avons remarqué que les valeurs du RSB segmental obtenues avec l'algorithme SAD sont inversement proportionnelles à la taille du filtre adaptatif, mais en contrepartie, directement proportionnelles aux valeurs du pas μ . En conclusion, ce travail nous a permis de confirmer le bon comportement et la bonne utilisation de l'algorithme SAD dans l'annulation du bruit acoustiques à bord des avions de différents type.

V.11. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de simulation de l'algorithme SAD dans les applications de téléphonie à bord des avions de différents types. L'évaluation de la performance de suppression du bruit acoustique dans différents types d'avions a permis de mettre en exergue les bonnes capacités de cet algorithme dans la suppression du bruit acoustiques qui représente une gêne permanente aux différents types de communication verset en provenance de cockpits de différents avions.

CONCLUSION GENERALE

Dans cette mémoire, nous avons présenté un travail de recherche qui concerne la réduction du bruit acoustique et le rehaussement du signal de parole lors d'une communication dans un cockpit d'avion.

Dans ce contexte, nous avons étudié et simulé un algorithme de décorrélation symétrique adaptatif (SAD) dédié à ce type d'applications.

Nous avons testé cet algorithme dans des conditions de communications très bruitées en utilisant plusieurs types d'avions. Les résultats de réduction de bruit acoustique dans ces environnements très bruités ont montré l'efficacité de l'algorithme SAD dans ce type d'applications.

Nous souhaitons que le présent travail servira comme un support de base pour les futures élèves de promotions sortantes afin d'explorer aisément ce domaine de réduction de bruit et du rehaussement du signal de parole dans les systèmes de télécommunications utilisé dans les cockpits des avions. Et nous prévoyons dans le futur de faire l'implémentation de notre programme dans un circuit électronique ayant la capacité de le traiter correctement pour une exécution parfaites des taches.

Table Des Matières

Introduction général.....01

Chapitre I : Généralité Sur Le Traitement Du Signal

I.1. Introduction.....	02
I.2. Définitions.....	02
I.2.1. Signal.....	02
I.2.2. Théorie du signal.....	02
I.2.3. Traitement du signal.....	03
I.3. classification et types des signaux	03.
I.3.1.Classification temporelle ou phénoménologique.....	03
I.3.1.1. signaux déterministe	04
I.3.1.2. Signaux aléatoires	05
I.3.2. Classification morphologique.....	06
I.3.3. Classification énergétique.....	08
I.3.4.classification fréquentielle ou spectral.....	08
I.3.4.1. LARGEUR DE BANDE (OU LARGEUR SPECTRALE).....	09
I.3.4.2.Domains de fréquences du spectre électromagnétique.....	10
I.4. les fonctions principales du traitement de signal	12
I.4.1. Elaboration des signaux	12
I.4.2.Interprétation des signaux.....	12
I.5. Classification des systèmes du traitement.....	13
I.6. Opérateurs linéaires utilisés pour le traitement du signal.....	13
I.6.1. Opérateurs de transformation orthogonale.....	14
I.6.2. Opérateurs de convolution.....	14
I.6.3. Définition de la transformation en z.....	15

I.6.4. Définition de la fonction de corrélation.....	15
I.7. Filtrage adaptatif.....	16
I.8. Conclusion.....	16

Chapitre II : Étude De Bruit Acoustique

II.1. Introduction.....	18
II.2. Définition de Bruit.....	18
II.3. Source de bruit	18
II.3.1. Bruits externes.....	18
II.3.1. Bruits internes.....	18
II.4. Couleurs de bruit.....	19
II.4.1. bruit blanc.....	19
II.4.2. Bruit rose.....	20
II.5. LE BRUIT ACOUSTIQUE.....	21
II.5. 1 Définition du son	21
II.5.2. L'origine d'un son.....	21
II.5.3. Caractéristique du son	22
II.5.4. Paramètres du son.....	22
II.5.4.1 Niveau sonore.....	23
II.5.4.2 Fréquences.....	23
II.5.4.3. Octaves.....	23
II.5.4.4. Timbre.....	24
II.6. Différents types de bruit.....	24
II.7. Bruit dans une salle.....	25
II.7.1. Problèmes survenus à la conception.....	25
II.7.2. Différentes transmissions du bruit à travers une paroi.....	25
II.8. Conclusion.....	26

Chapitre III : Le Bruit En aéronautique

III.1. Introduction	27
III.2. Description du bruit des avions	27
III.3. Principales sources de bruit des avions.....	29
III.3.1. Bruit de jet.....	30
III.3.2. Bruit de la soufflante et la turbine.....	31
III.3.3. Bruit de la chambre de combustion.....	31
III.3.4. Bruit hélice.....	32
III.3.5. Bruit de la cellule.....	32
III.4. Propagation de bruit dans l'avion.....	33
III.5. Contrôle passif.....	34
III.6. Contrôle actif.....	35
III.7. Conclusion.....	37

Chapitre IV : Rehaussement De La Communication Bruite Dans Un Avion

IV.1. Introduction.....	38
IV.2. Mélange convolutif des signaux.....	38
IV.2.1. Séparation aveugle de sources.....	40
IV.3. Algorithme utilisé dans la simulation.....	42
IV.3.1. Séparation de sources par l'algorithme SAD.....	43
IV.3.1.1. Notations.....	43
IV.3.2. Annulation du bruit par la séparation de signaux.....	44
IV.3.2.1. Structure Forward.....	44
IV.3.2.2. Structure Backward.....	45
IV.3.3. Condition de causalité.....	46
IV.3.4. Stabilité de SAD.....	47

IV.3.5. Convergence de l'algorithme SAD.....	47
--	----

IV.4. Conclusion.....	48
-----------------------	----

Chapitre V : Résultats Des Simulations

V.1. Introduction.....	49
V.2. Modèle expérimental de mélange convolutif.....	49
V.3. Simulation de réponses impulsionnelles.....	49
V.4. Signaux utilisés en simulations.....	50
V.5. Détection d'activité vocale (DAV).....	54
V.6. Critère du désajustement.....	54
V.7. Rapport signal à bruit (RSB).....	55
V.8. Evaluation du comportement l'algorithme SAD avec un bruit théorique (Simulations faite avec un Bruit Blanc).....	55
V.9. Simulation de l'algorithme de décorrélation symétrique avec différents types de bruit d'avions.....	59
V.9.1. Simulation faite avec du bruit d'avion de type A320.....	59
V.9.2. Simulation faite avec du bruit d'avion de type B747.....	61
V.9.3. Simulation faite avec du bruit d'avion de type Cessna 172.....	63
V.10. Evaluation du rapport- signal-à-bruit segmentale (RSBseg) de l'algorithme de décorrélation symétrique (SAD) avec différents types de bruit d'avion.....	65
V.11. Conclusion.....	67
Conclusion général.....	68

