

Annulation d'Écho Acoustique

Fait par :

Abdelhamied

Introduction

Dans le cadre de ce TP, nous avons implémenté un algorithme de filtrage adaptatif basé sur le LMS (**Least Mean Squares**) pour résoudre un problème d'annulation d'écho acoustique. L'algorithme LMS permet d'ajuster les coefficients du filtre pour minimiser l'erreur entre le signal désiré et le signal de sortie.

Ce TP se compose de deux principales parties : la **génération de signaux** de test et la **mise en œuvre de l'algorithme LMS**, suivies de l'application à des **signaux audio**.

Génération des signaux test

1. Algorithme LMS

Algorithm 1 LMS Filter Equations

1: **Variables:**

2: w_n : Coefficient du filtre à l'étape n

3: μ : Paramètre de taille de pas

4: $e[n]$: Signal d'erreur, calculé par :

5: $e[n] = d[n] - y[n]$

6: $x[n]$: Signal d'entrée à l'étape n

7: $y[n] = w_n^T \cdot x[n]$: Sortie du filtre, où w_n^T est la transposée du vecteur de coefficients du filtre

8: **Mise à jour des coefficients:**

9: $w_{n+1} = w_n + \mu \cdot e[n] \cdot x[n]$

2. Génération des signaux de test

Tout d'abord, nous avons généré un bruit blanc de longueur $N = 1000$ échantillons et l'avons filtré à l'aide d'un filtre à réponse impulsionnelle finie $\mathbf{h} = [1, 0.3, -0.1, 0.2]$. Le signal obtenu \mathbf{d} représente la version filtrée du bruit blanc. On utilisera par la suite ce signal d'entrée et filtré dans l'algorithme LMS.

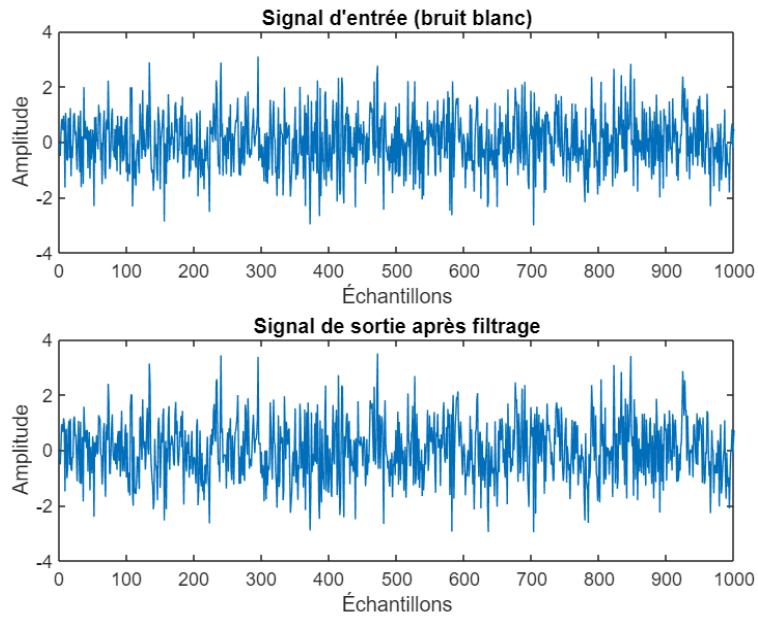


Figure 1 : Signal d'entrée et filtré

3. Mise en oeuvre de l'algorithme LMS

4. Validation de l'algorithme LMS

L'algorithme LMS est implémenté avec un filtre d'ordre $P = 4$ et un pas $\mu = 0.01$. Le filtre adaptatif est ajusté à chaque itération pour minimiser l'erreur entre le signal désiré d et la sortie estimée y .

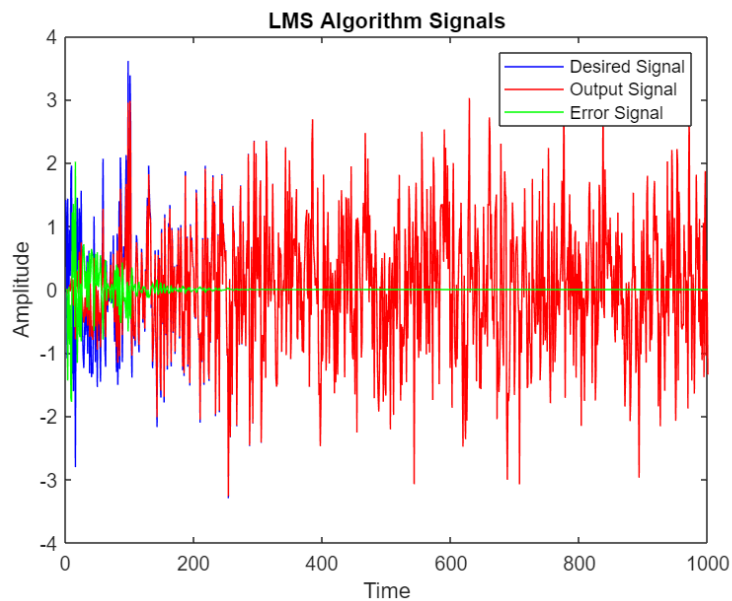


Figure 2 : Signal de sortie et désiré avec le signal d'erreur superposé

Commentaire :

On observe que le signal d'erreur tend significativement vers zéro à partir d'un certain moment. Cela indique que l'algorithme a correctement ajusté les coefficients du filtre, de manière à ce que l'erreur

$e = d - y$ devienne presque nulle. Ce phénomène est confirmé par la superposition des signaux de sortie et désiré, qui survient lorsque l'erreur est proche de zéro.

Estimation des coefficients du filtre

L'un des objectifs est de comparer les **coefficients estimés** du filtre avec les **coefficients réels** h . Le graphique suivant montre que les coefficients estimés par l'algorithme LMS convergent vers les valeurs réelles du filtre.

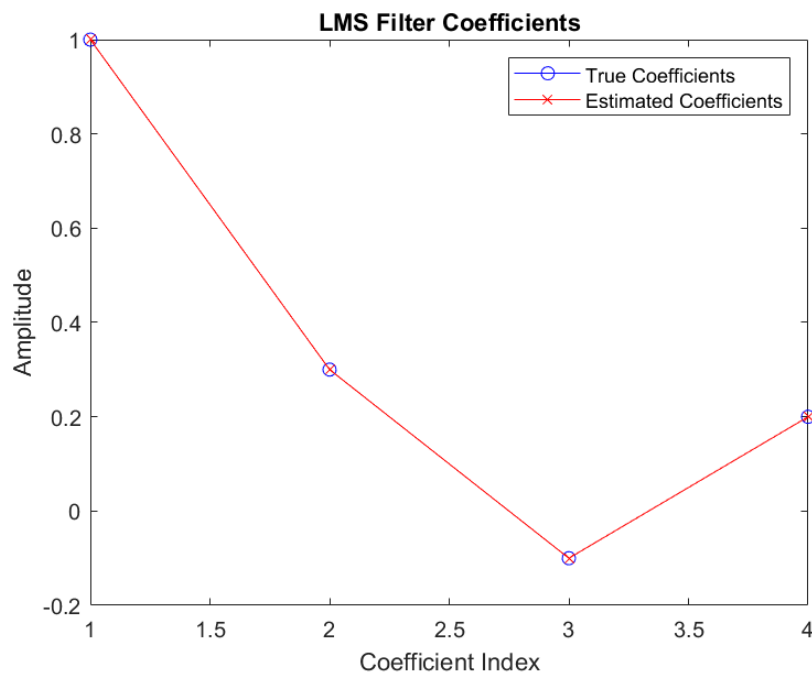


Figure 3 : Superposition des coefficient du filtre h et w

Commentaire :

Comme dit précédemment c'est bien ce qu'on trouve. En effet, les coefficient du filtre h et w sont **égaux**. C'est bien le **filtre optimal** w_{opt} .

5. Test de l'algorithme LMS avec un signal simulé

6. Le but de cette partie est de comparer l'influence de l'ordre du filtre P et le pas μ sur le signal d'erreur. On a alors pris $P = 5, 10, 20$. et $\mu = 0.01, 0.1, 0.5$.

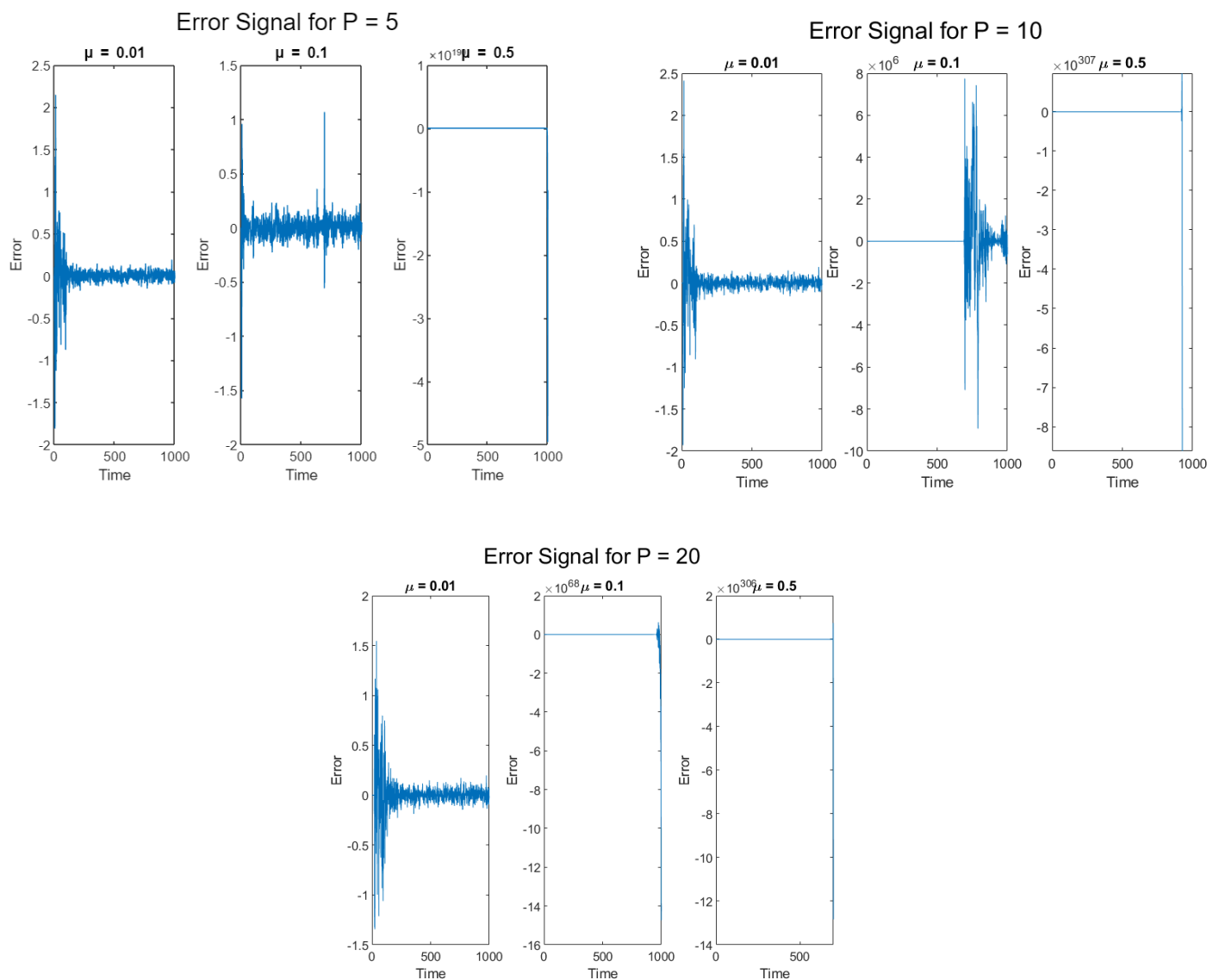


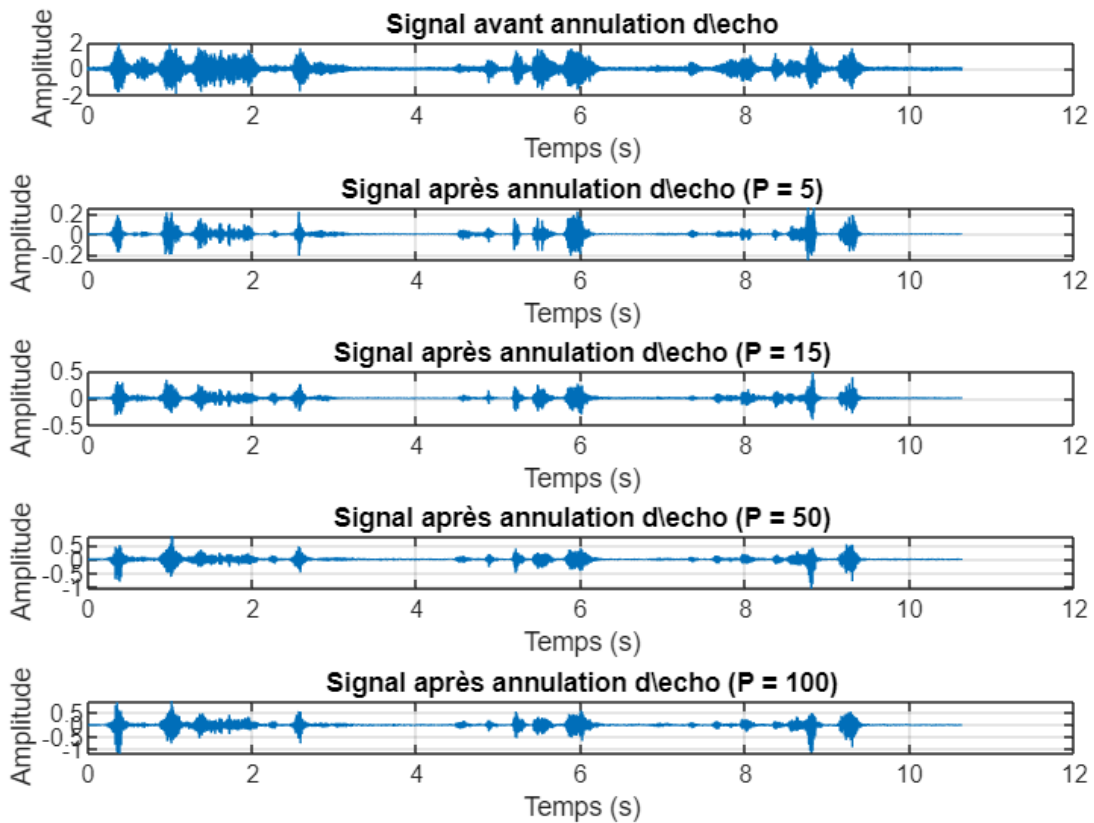
Figure 4 : Signal désiré pour $P = 5, 10, 20$. et $\mu = 0.01, 0.1, 0.5$.

Commentaire :

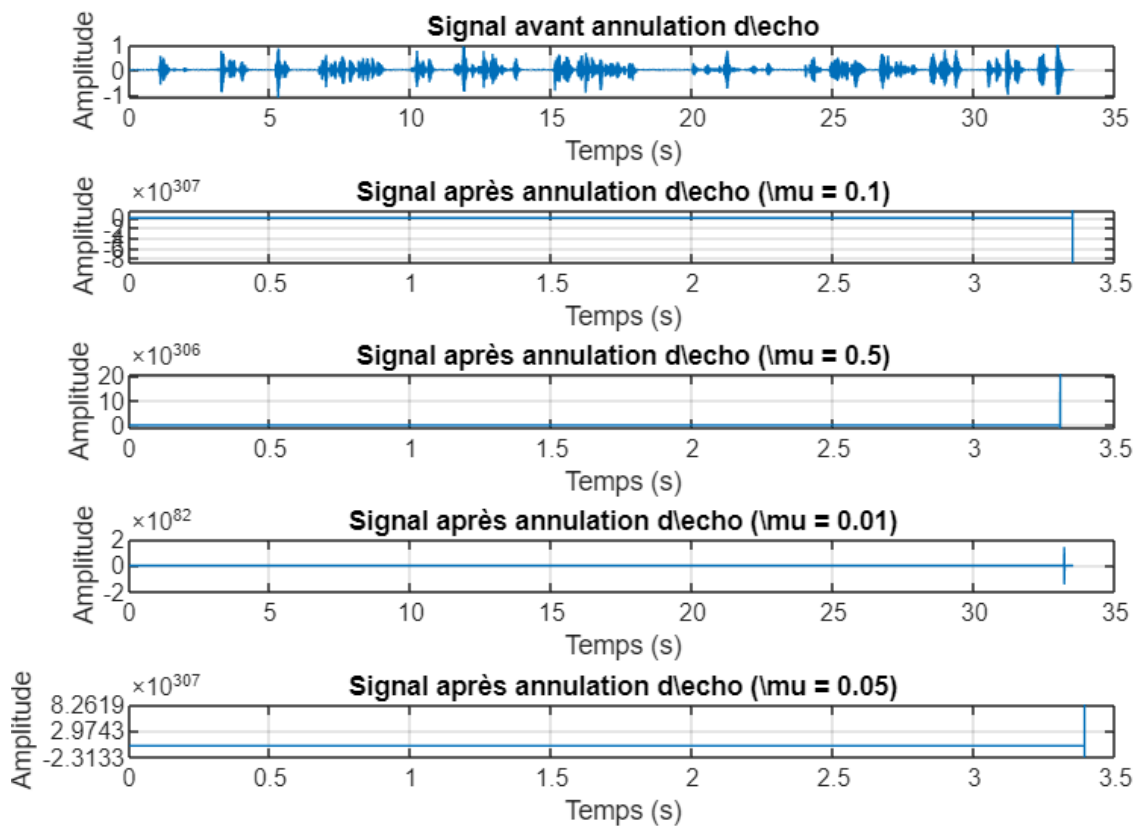
Pour P fixé, le signal d'erreur rapidement vers 0 pour $\mu = 0.5$, cela est vérifié pour tous les P ici. Cependant, on constate qu'il y a un saut vers la fin pour $\mu = 0.5$ de l'erreur vers les derniers échantillons.

Application :

Signal audio avec une voix :



Signal audio avec deux voix :



L'amplitude du signal à la sortie de l'algorithme LMS montre une légère atténuation, bien que l'écho soit globalement bien supprimé. Lorsqu'on modifie la valeur de P , qui représente l'ordre du filtre, on observe des effets différents sur le signal. Pour des valeurs modérées de P , l'annulation de l'écho est efficace et le signal conserve une amplitude raisonnable. Cependant, si P devient trop élevé, le filtre semble surcorriger, ce qui conduit à une forte diminution de l'amplitude du signal de sortie, voire à un signal presque nul. Cela suggère que l'ordre du filtre doit être choisi avec soin pour éviter une suppression excessive du signal utile.