

## Séance 1 : Signal PDM et filtrage passe-bas

### Partie 1 – Génération d'un signal PDM à partir d'une sinusoïde

Le but de cet exercice est de mettre en lumière l'effet d'un modulateur Delta-Sigma sur un signal sinusoïdale. Ainsi, cela vous permettra d'évaluer l'effet d'une modulation PDM sur la représentation temporelle et fréquentielle d'un signal audio.

#### Exercice 1 – Génération d'un signal sinusoïdale

Générer une sinusoïde échantillonnée à 3.072 MHz avec une fréquence de 1 kHz, une amplitude de 1V et une durée de 10 ms.

#### Exercice 2 – Génération d'un signal PDM

A l'aide de la [page Wikipédia](#) de la modulation PDM, réaliser un modulateur PDM et moduler la sinusoïde préalablement générée. Pour la suite, il serait préférable de créer une fonction Matlab permettant de moduler n'importe quel signal.

#### Exercice 3 – Analyse du signal PDM

Sur un premier graphique, vous afficherez la représentation temporelle du signal d'origine ainsi que la modulation PDM correspondante. Sur un second graphique, vous afficherez la représentation fréquentielle de la sinusoïde ainsi que celle du signal PDM. Que remarquez-vous ?

### Partie 2 – Génération et analyse d'un signal PDM audio

Le but de cet exercice est d'analyser la représentation fréquentielle d'un signal audio et d'étudier l'effet d'une modulation PDM sur ce signal.

#### Exercice 1 – Lecture du fichier audio

Récupérer les échantillons du fichier audio « bond.wav » puis jouer ces échantillons sur la sortie audio de votre ordinateur pour l'écouter.

#### Exercice 2 – Analyse spectrale du signal audio

Afficher la représentation temporelle et fréquentielle du signal audio et déterminer la largeur de la bande du signal audio.

#### Exercice 3 – Modulation PDM

Rééchantillonner le signal audio à une fréquence de 3.072 MHz et réaliser une modulation PDM de ce signal à l'aide la fonction préalablement utilisé dans la partie précédente.

#### Exercice 4 – Analyse fréquentielle

Comparer la représentation fréquentielle du signal suréchantillonné et la représentation fréquentielle du signal PDM. Vous pourrez faire un graphique affichant les représentations fréquentielles complètes et les représentations fréquentielles sur la bande -24 kHz et 24 kHz. Quels sont les effets de la modulation PDM sur un signal audio.

### Partie 3 – Traitement du signal PDM audio

Le but est de modéliser le traitement réaliser sur le microcontrôleur qui correspond à une optimisation d'un filtrage passe-bas à l'aide d'une moyenne glissante sur 64 points et d'un sous-échantillonnage d'un facteur 64 (3.072 MHz/48 kHz).

Note : Le traitement que vous avez implémenté sur microcontrôleur est une optimisation du traitement décrit ci-dessus où le filtrage et le sous-échantillonnage sont réalisés simultanément.

### Exercice 1 – Etude du filtrage à moyenne glissante

Affichez le comportement fréquentiel du filtre à moyenne glissante. Plus particulièrement, vous déterminerez la fréquence de coupure (à -3 dB) du filtre. Le filtre respecte-t-il le critère de Shannon pour l'échantillonnage ? Pour vous aider, vous pourrez comparer les représentations fréquentielles.

### Exercice 2 – Traitement du signal PDM

Réaliser le traitement du signal PDM décrit ci-dessus. Plus particulièrement, il s'agit de réaliser un filtrage par moyenne glissante en utilisant les coefficients du filtre étudié préalablement et de réaliser un sous-échantillonnage du signal par un facteur 64.

### Exercice 3 – Analyse du signal traité

Vous afficherez la représentation fréquentielle du signal PDM traité et vous le comparerez avec la représentation fréquentielle du signal audio. De plus, vous écouterez le signal PDM traité pour le comparer au signal audio original.

## Partie 4 – Filtrage passe-bas du signal PDM traité

Le but de cette partie est de concevoir un filtre passe-bas permettant de supprimer les composantes fréquentielles haute-fréquence du signal.

### Exercice 1 – Conception du filtre passe-bas

A l'aide de la largeur de bande du signal audio définie dans la partie précédente, concevoir un filtre FIR permettant de supprimer les composantes fréquentielles haute-fréquence, due à la modulation PDM et à son traitement, tout en gardant intactes les composantes fréquentielles du signal audio.

Remarque : Vous pourrez utiliser l'outil Matlab **filterDesigner** (ou **fdatool**) pour concevoir le filtre et comparer différentes méthodes de conception. De plus, il est conseillé de générer une fonction vous permettant de réutiliser le filtre plus simplement.

### Exercice 2 – Filtrage du signal PDM traité

A l'aide du filtre préalablement conçu, réaliser un filtrage passe-bas du signal PDM traité.

### Exercice 3 – Analyse du résultat du filtrage

Afficher la représentation fréquentielle du signal PDM filtré et comparer le au signal audio original. Vous pourrez écouter le signal filtré et le comparer au signal original. Est-ce que le signal filtré correspond au signal original ? Argumenter.

## Pour aller plus loin – Filtrage anti-repliement

Préalablement, nous avons considéré le filtre à moyenne glissante comme un filtre anti-repliement efficace. Cependant, on voit quand même des phénomènes de repliement malgré le traitement par moyenne glissante sur 64 points.

### Exercice 1 – Conception du filtre anti-repliement et filtrage anti-repliement

Concevoir un filtre anti-repliement en prenant en compte la fréquence d'échantillonnage finale ainsi que de la représentation fréquentielle du signal PDM. Ensuite, filtré le signal PDM.

### Exercice 2 – Analyse du signal filtré

Afficher la représentation fréquentielle du signal filtré à l'aide du filtre anti-repliement ainsi que celle signal filtré par moyenne glissante. De plus, vous pourrez écouter le signal filtré à l'aide du filtre anti-repliement. Est-ce que le signal filtré à l'aide du filtre anti-repliement correspond au signal original ?

### Exercice 3 – Filtre anti-repliement et filtre passe-bas

Tout d'abord, réaliser un filtrage anti-repliement puis un filtrage passe-bas sur le signal PDM.