

Rapport projet Console de Mixage

Son : acquisition et traitements



Corentin LANGE 28610075
Antoine CARREE 3803826

Table des matières :

Partie 1 : Câblage et caractérisation d'un microphone	2
Partie 2 : Acquisition, restitution et traitement élémentaire d'un signal audio	2
Acquisition d'un signal audio	2
Restitution d'un signal audio	4
Analyse en fréquence	4
Partie 3 : Réalisation d'une console de mixage	5
Première partie : Equalizer	5
Caractérisation d'un filtre numérique :	5
Etude du bloc retard	5
Filtre élémentaire : le moyennneur	8
Synthèse filtre passe-bas	11
Réalisation de l'equalizer :	13
Seconde partie: Effets audio	14
Un premier effet : l'écho	14
Un peu plus avancé: la Réverbération	16
Autres effets	19

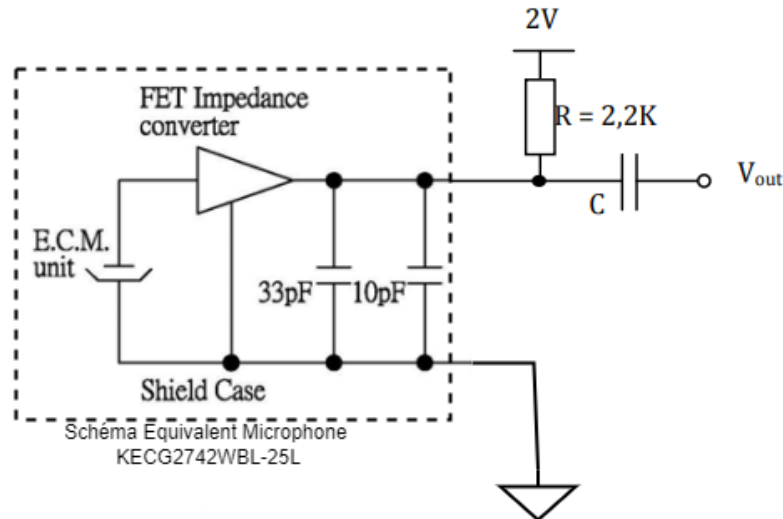
Partie 1 : Câblage et caractérisation d'un microphone

On rappelle que cette partie avait pour but de récupérer un signal sonore.

Nous nous intéresserons uniquement aux fréquences audibles de l'oreille humaine. Nous avons fait un système composé d'un passe bas qui permet de filtrer les hautes fréquences car l'oreille humaine ne perçoit les signaux sonores qu'entre 20Hz et 20KHz environ.

Les fréquences inférieures à 20Hz n'étaient pas filtrées car il y a peu d'avantages à le faire, elles sont inaudibles et occupent qu'une faible partie du spectre.

Le schéma équivalent, sans amplification était le suivant :



Nous avons par la suite fait un amplificateur non inverseur car la tension de sortie de base du microphone était trop faible.

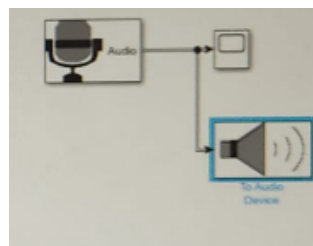
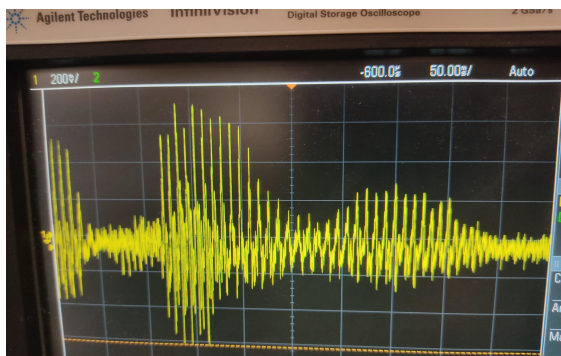
Partie 2 : Acquisition, restitution et traitement élémentaire d'un signal audio

Notre objectif ici sera de faire l'acquisition d'un signal analogique et de le numériser afin de pouvoir par la suite traiter et restituer ce signal.

Nous en ferons également l'analyse dans le but de pouvoir en qualifier les propriétés du signal ainsi que son bruit.

Acquisition d'un signal audio

Question 2 :



Notre microphone enregistre bien notre son qui est directement amplifié par la suite.

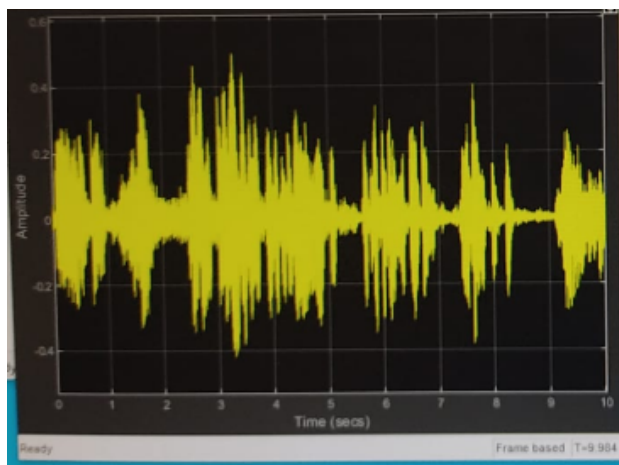
Question 7 :

<div>Parameters</div> <div>Device: Default</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> Use default mapping between Device Input Channels and Data</div> <div>Number of channels: 2</div> <div>Sample rate (Hz): A_COMPLETER</div> <div>Device data type: Determine from output data type</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> Automatically determine buffer size</div> <div>Queue duration (seconds): 1.0</div> <div>Outputs</div> <div><input type="checkbox"/> Output number of samples by which the queue was overrun</div> <div>Frame size (samples): 1024</div> <div>Output data type: double</div>	<p>Choix du périphérique servant de microphone.</p> <p>Son Stéréo (2) ou Mono(1)</p> <p>Fréquence d'échantillonnage du signal</p> <p>Buffer, la mémoire tampon. Une seconde de délai entre l'entrée et la restitution du bloc.</p> <p>Paramètres de la numérisation du signal, avec le nombre et type d'échantillons.</p>
---	---

Question 8 :

D'après la datasheet de notre microphone, ce dernier est capable d'enregistrer jusqu'à 20kHz. Ce qui d'après le théorème de Shannon nous donne une fréquence d'échantillonnage de 40kHz. La qualité la plus proche est donc la CD avec 44 100 Hz. Cependant ici, nous désirons enregistrer avec une bonne qualité la voix humaine, afin d'éviter une charge de travail trop conséquente pour matlab une bande passante de 5512,5 Hz du signal vocal est suffisante ce qui nous donne une fréquence de 11 025 Hz.

Question 10 :



On peut ici observer l'amplitude amplifiée de notre voix en quasi temps réel, en effet des buffers sont présents dans les blocs Simulink, un dans le 'from audio to device' que nous percevons dans notre time scope, et l'autre dans notre bloc de restitution du signal to Audio device. Ses buffers sont réglables. On remarque également que notre signal est bruité, en effet en amplifiant notre son on amplifie également le bruit qui accompagne ce dernier.

Restitution d'un signal audio

Question 3 :

On observe un phénomène de décalage entre l'acquisition et la restitution du signal audio, principalement dû à la conversion analogique numérique notamment à cause du buffer micro et du buffer (Queue) simulink qui sont réglables.

On peut aussi entendre du bruit lors de la restitution du signal, ces bruits vont dépendre directement de la sensibilité du micro utilisé (si on ne prend pas en compte l'ajout d'éventuels bruits parasites lors du transfert du signal dans les câbles).

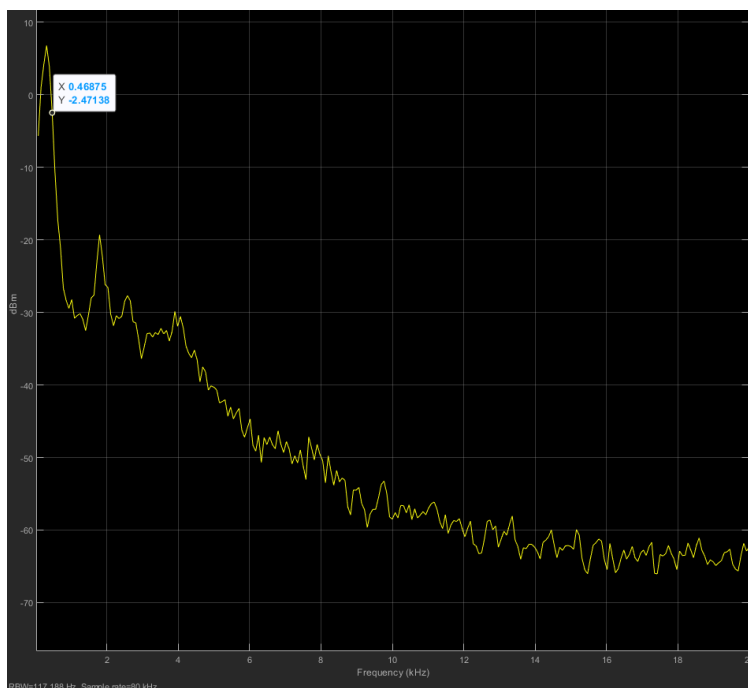
Les bruits proviennent également de notre environnement bruyant, du bruit thermique et électronique dans le microphone.

Question 4 :

Lors de la restitution du signal audio on remarque une baisse de qualité du son, engendré d'une part par l'amplification des bruits, la sensibilité du micro mais aussi la qualité de l'enceinte qui restitue le signal audio.

Analyse en fréquence

Question 3 :



Via le spectre de notre signal, on remarque que la majorité de notre signal utile se situe avant les 450 Hz. Cela est logique car ici nous faisons une analyse spectrale d'une voix humaine, et donc généralement comprise entre 70 à 500 Hz.

Notre signal est très vite atténué hors de cette plage de fréquence.

Question 4 :

En dehors de la bande de fréquence de la voix humaine nous ne devrions pas avoir de signal, ce qui n'est pas le cas.

Ici on voit la bande de fréquence générée par la voix est comprise entre 70 Hz et 500 Hz, car l'amplitude de cette bande augmente de façon significative quand on parle, de plus on sait que la voix humaine atteint rarement des fréquences au dessus des 800 Hz, on peut donc considérer que les pics d'amplitude situés au delà de cette bande de fréquence sont du bruit, on en remarque à 2 kHz, ce bruit peut être dû à un bruit électronique, bruit thermique, ou juste du brouhaha ambiant.

Partie 3 : Réalisation d'une console de mixage

Première partie : Equalizer

Un equaliseur est un outil permettant d'amplifier ou d'atténuer avec une certaine précision des bandes de fréquences choisies, en pratique nous allons découper en plusieurs bandes la bande de fréquence audible par l'oreille humaine soit celle qui se situe de 20Hz à 20KHz. Ici nous nous intéressons à la restitution de signaux audibles par l'oreille humaine.

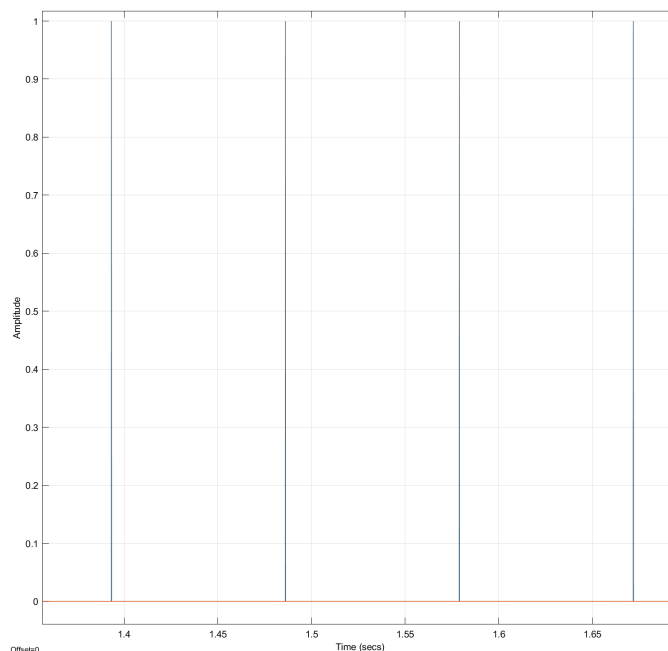
Pour cela il faudra prendre en compte la sensibilité de l'oreille pour différentes fréquences.

Nous verrons par la suite le traitement du signal notamment via l'ajout de filtres, et de différents effets. Tous les filtres numériques linéaires et invariants peuvent être réalisés grâce à : l'amplification, l'addition et le retard.

Caractérisation d'un filtre numérique :

Etude du bloc retard

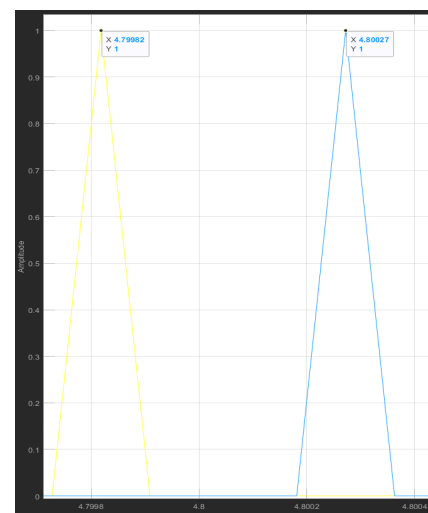
Question 1 :



Ici nous choisissons une impulsion, ce type de signal va permettre de repérer facilement un retard car idéalement une impulsion étant de largeur quasi nulle le motif à repérer sera un "traits" plutôt qu'un motif pouvant être parfois complexe. Cela assure une bonne visibilité.

Question 2 :

On remarque que notre signal de sortie(bleu) possède bien un retard comparé au signal en entrée (jaune).



Question 3 :

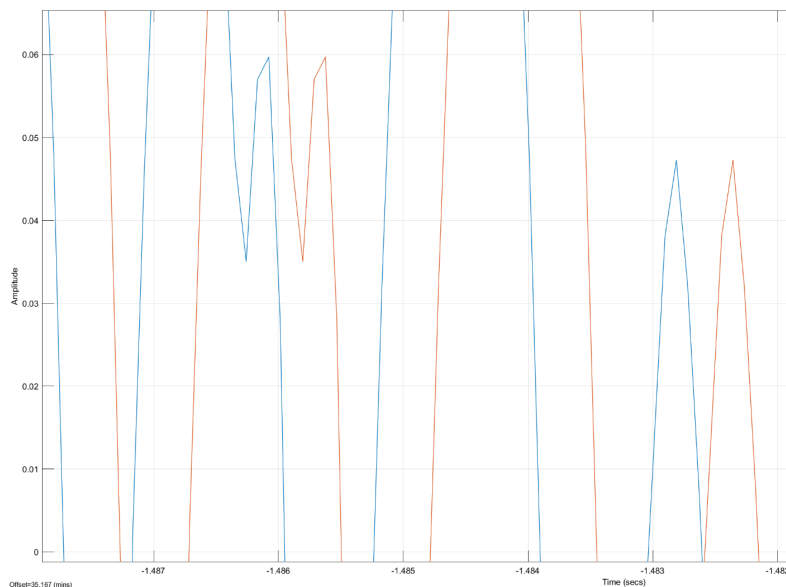
Notre générateur d'impulsion a une $f = 11025$, via les deux points sur les piques nous avons $4.80027 - 4.79982 = 0.00045$. Alors $N = 0.0045 / (1/11025) = 4.97$ donc environ 5 (incertitude point time scope). On a bien le paramètre N Delay length = 5 comme désiré.

Question 4 :

Nous cherchons à exprimer le retard de notre signal en fonction de $y[n]$, $x[n]$ et N avec $x[n]$ notre signal et $y[n]$ sa sortie ce qui donnerait :

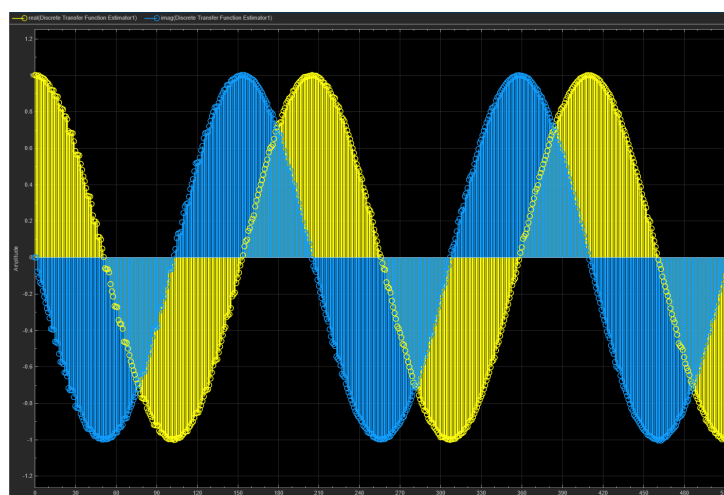
$Y[n] = X[n - N]$. Avec N correspondant au décalage.

Question 5 :



Le signal guitare.wav est plus complexe, donc nous zoomons sur une partie de ce dernier afin de différencier le signal non retardé(bleu) et retardé(orange). En modifiant N nous remarquons que si ce dernier est trop faible alors au vu de la fréquence d'échantillonnage élevées de ce dernier à l'oreille nous ne discernons pas la différence de la présence ou non d'un retard.

Question 6 :



Ici on observe le retard entre le signal d'origine et le signal décalé de 5 périodes d'échantillonnages. La courbe en jaune correspond à la partie réel de notre signal tandis que celle en bleu la partie imaginaire.

Question 7 :

Le retard d'un signal correspond au décalage d'un signal S d'une certaine période dans le temps.

Le retard sur l'analyse fréquentiel ne change rien car le décalage dans le temps du signal d'entrée conserve toutes ses fréquences, la différence est le moment d'apparition de ses fréquences sur la restitution audio.

$$TF[x[t - \tau]] = \int_{-\infty}^{\infty} x[t - \tau] \cdot e^{2j\pi ft} dt$$

$$TF[x[t - \tau]] = e^{2j\pi f\tau} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} x[t] \cdot e^{-2j\pi ft} dt$$

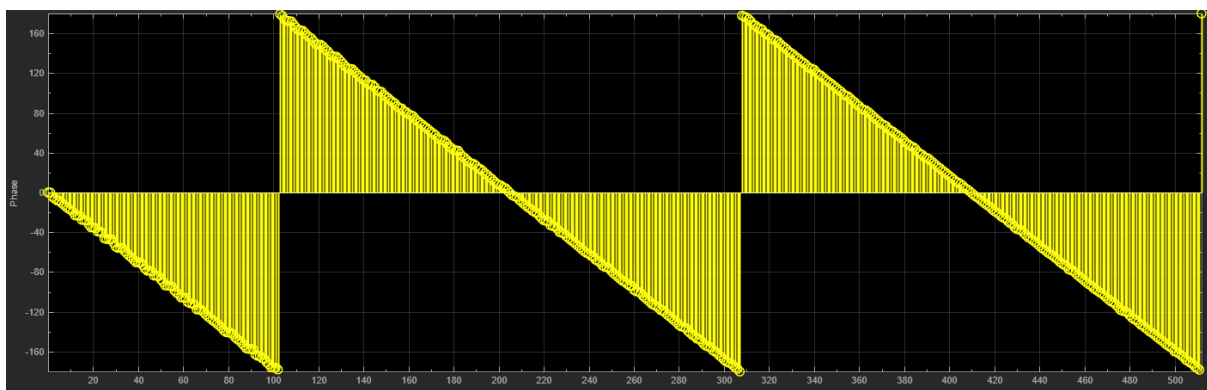
$$TF[x[t - \tau]] = e^{2j\pi f\tau} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} x[t] \cdot e^{-2j\pi ft} dt$$

$$TF[x[t - \tau]] = e^{2j\pi f\tau} \cdot TF[x[t]]$$

Ainsi on remarque que τ introduit seulement un retard sur notre signal.

(La TF génère des cosinus et sinus et en passant pas la forme d'Euler des ces derniers, on peut inclure $e^{2j\pi f\tau}$ dans le cosinus et le sinus de la TF, on observe juste un retard de τ sur notre signal de sortie).

Question 8 :



Notre buffer restitue notre signal en décalé, il va donc se déphaser par rapport au signal d'origine. Ce dernier commence en n'étant pas déphasé et fait le tour du cercle trigonométrique avant d'être nul et donc de ré-avoir un déphasage de 0. L'opération s'effectue ici 5 fois car ici notre $N = 5$, c'est donc ce dernier qui paramètre notre nombre de pics.

Question 9 :

On observe graphiquement une pente d'environ 15° tous les 10Hz par conséquent on trouve finalement 0.026 rad/Hz.

Question 10 :

Étant donné une fréquence d'échantillonnage le plus petit pas de temps correspondra donc à la "distance" en temps entre chaque échantillon donc $T_e = 1/F_e$.

τ le retard total en temps, et N le nombre d'échantillons de retards.

Donc:

$$\frac{\tau}{K} = T_e \quad \text{et} \quad N \cdot T_e = \tau$$

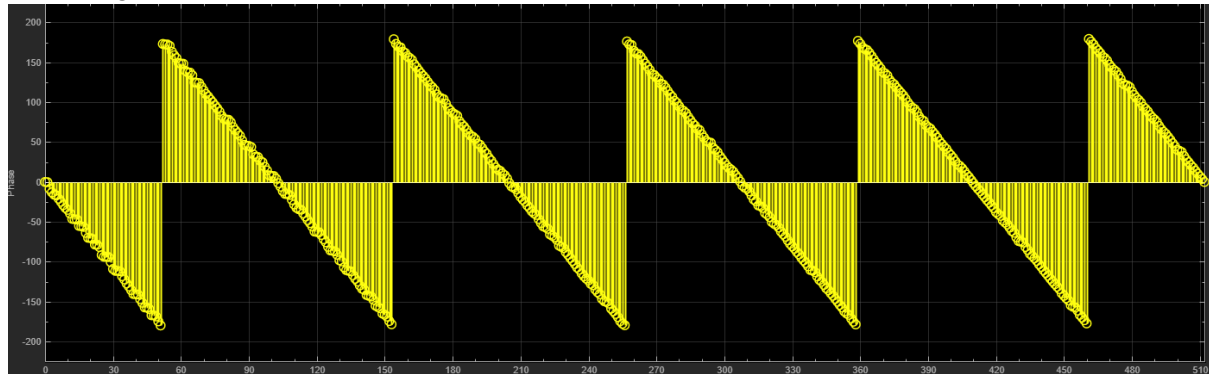
car N correspond au nombres d'échantillons de retards

$$\frac{N \cdot T_e}{K} = T_e$$

$$N = K$$

Question 11 :

On change la valeur de N pour vérifier son effet sur la phase, ici N=10 :



Ici N = 10 donc allons parcourir en tout 5 fois le cercle trigonométrique pour avoir nos périodes de buffer de retards. On peut donc conclure que le bloc retard permet de décaler le signal d'origine de N demi-période de buffers.

Filtre élémentaire : le moyeneur

Question 12 :

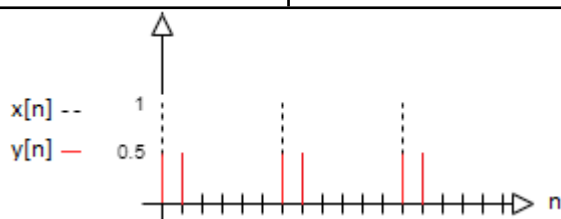
$$y[n] = \frac{x[n] + x[n-1]}{2}$$

La formule indique que la sortie $y[n]$ dépend de deux valeurs de x l'une déphasé $x[n-1]$ et l'autre sans déphasage $x[n]$ (le déphasage permet à un temps t donné d'avoir deux valeurs de x différent). $y[n]$ correspond donc bien à la moyenne de deux points de x d'après la formule.

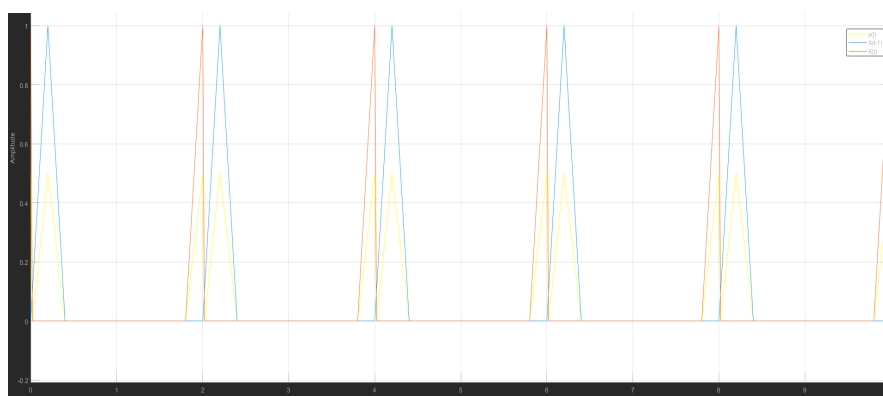
Question 13 :

Sur le diagramme :

	1er cas	2ème cas	3ème cas
$x[n-1]$	0	1	0
$x[n]$	1	0	0
$y[n]$	$(0+1)/2 = \frac{1}{2}$	$(1+0)/2 = \frac{1}{2}$	$(0+0)/2 = 0$



Question 14 :



Courbe orange: $X[n]$
Courbe bleu: $X[n-1]$
(avant le gain $\frac{1}{2}$)
Courbe jaune :
moyenne des deux
points

On observe le même phénomène sur ce graphe que sur celui du dessus.

Calcul schéma bloc

$$TZ[y[n]] = TZ\left[\frac{1}{2}x[n] + x[n+1]\right]$$

$$Y[z] = \frac{1}{2} \cdot (X[z] + Z^{-1}X[z]) \implies Y[z] = X[z] \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}Z^{-1} \right)$$

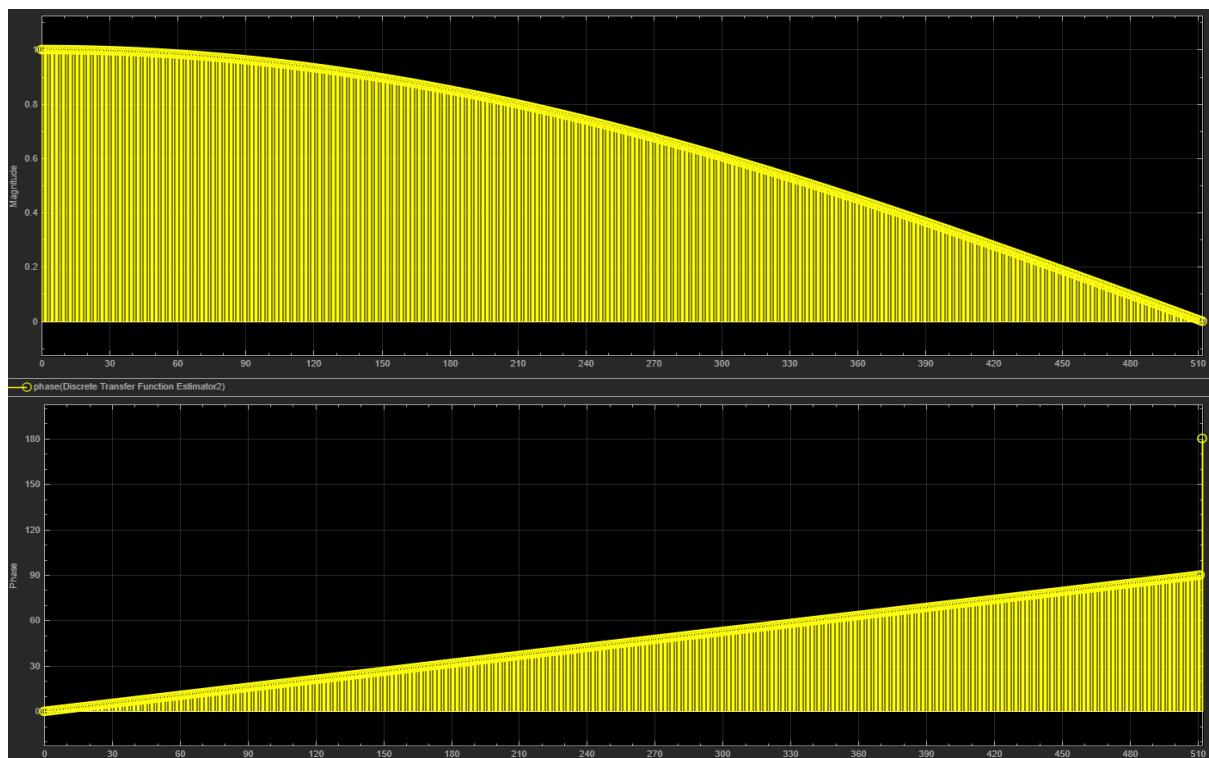
$$\frac{Y[z]}{X[z]} = \frac{1}{2} \cdot Z^{-0} + \frac{1}{2} \cdot Z^{-1}$$

Notre fonction de transfert correspondra donc à :

$$H(z) = \frac{Z^0 - Z^{-1}}{2}$$

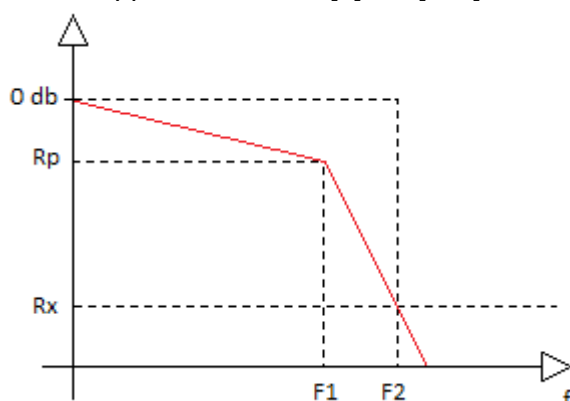
A cause du signal $x[n]$ et $x[n-1]$ la sortie $y[n]$ aura deux impulsions.

Question 15 :



On assimile le filtre moyenneur à un filtre passe bas du deuxième ordre, en effet il possède une pente (une fois convertie) de -40dB et une phase de 180° .

On peut voir que le moyenneur adoucit les pics d'amplitude (discontinuités) ce qui réduit les fréquences trop importantes car sur les hautes fréquences on voit des différences plus grandes apparaître entre $x[n]$ et $x[n-N]$.

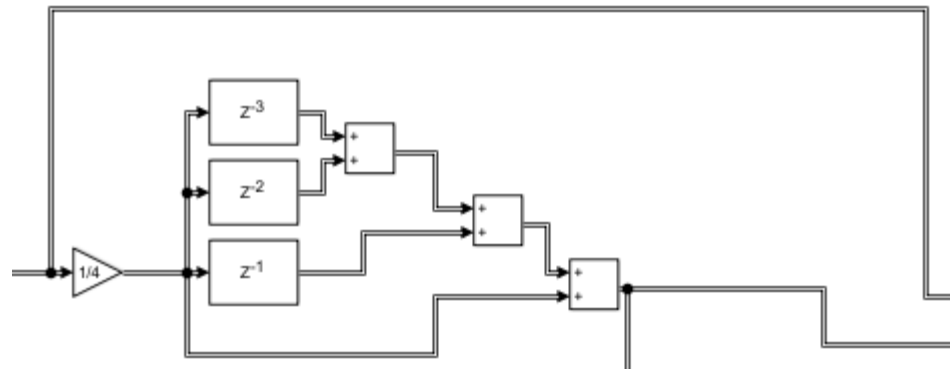


Avant $F1$ nous avons une pente de -20dB/déc puis après $F1$ -40dB/déc .

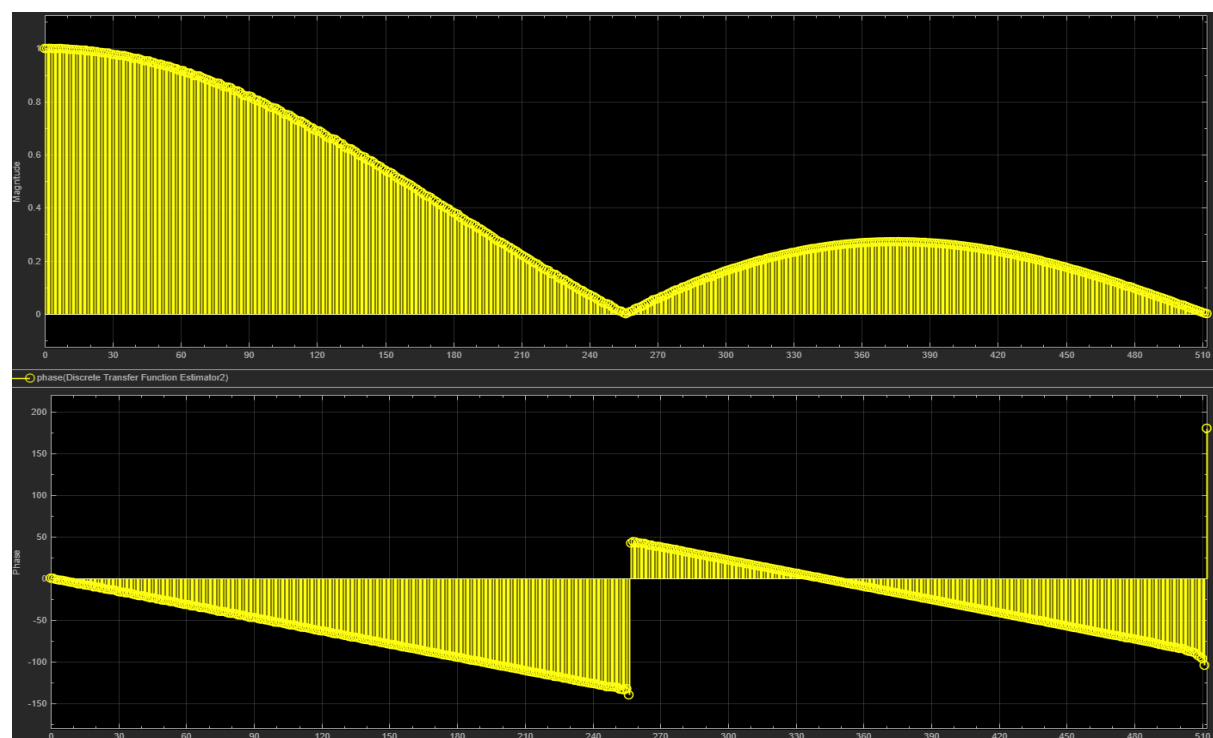
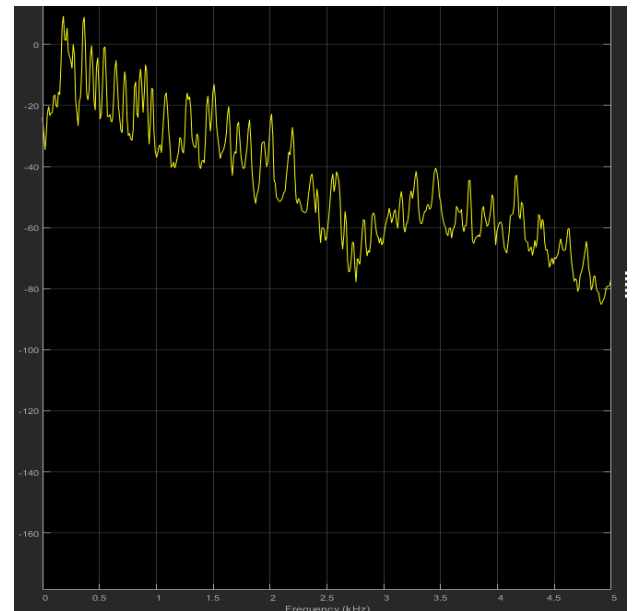
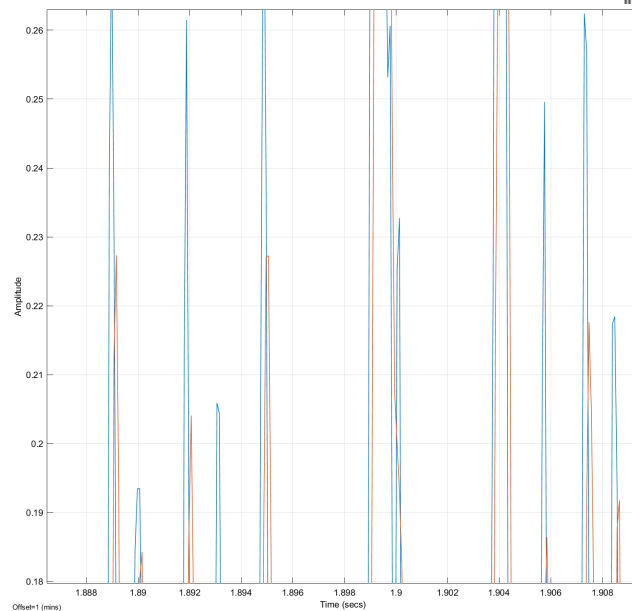
Question 16 :

Le filtre moyennneur va adoucir l'allure sonore de notre son, en cassant les discontinuités de notre signal. A l'écoute cela se caractérise par un son qui semble plus doux, moins brut sur les changements de fréquences.

Question 17 :



Nous réalisons ici un filtre moyennneur d'ordre 4, nous remarquons que ce dernier ne suit plus les pics brusque de notre son :



A son estimation de fonction on remarque que notre moyennneur est effectivement un filtre d'ordre 4. A l'écoute cela se caractérise par un son très doux, sans changement brusque qui peut s'écouter en arrière plan en travaillant. Cela change définitivement la manière dont le son nous impacte, on perd du "punch".

Synthèse filtre passe-bas

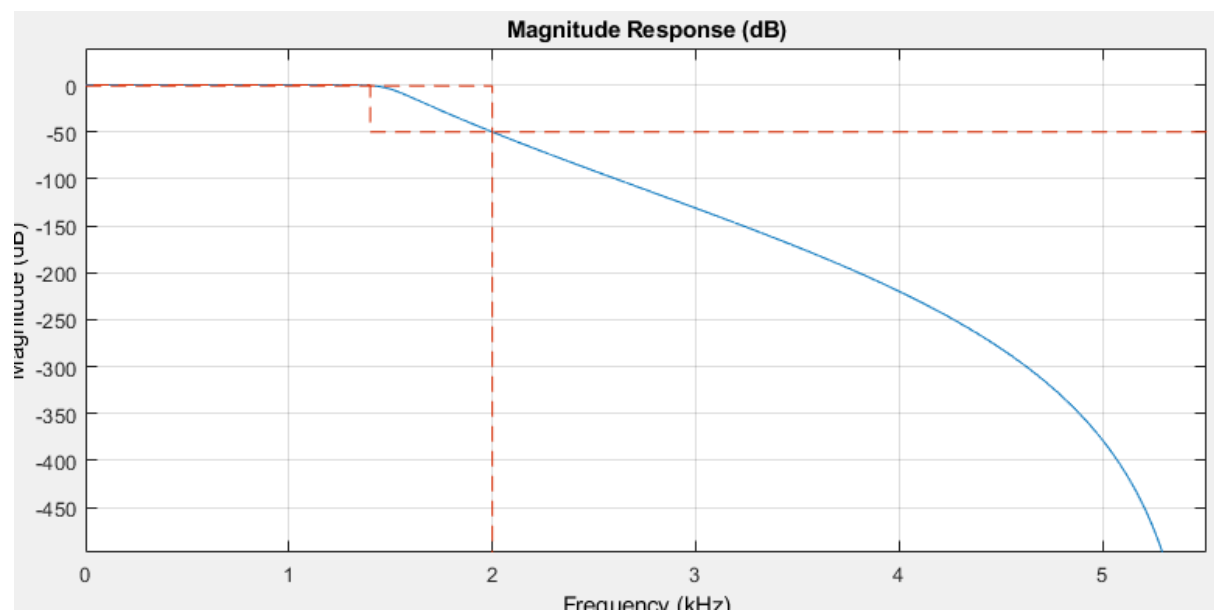
Question 19 :

L'IIR pour "Infinite impulse response" est un filtre qui est peu coûteux mais influence la phase de notre système. Ici nous ne nous préoccupons pas de cette dernière par conséquence c'est ce dernier type de filtre que nous allons utiliser.

Finite impulse response (FIR) assure une stabilité et une phase toujours plus linéaire. En revanche, il est plus coûteux en calcul et en mémoire, pour notre usage nous n'en avons pas besoin.

La caractéristique ordre stipule l'ordre désiré du filtre que vous pouvez imposer. Cependant avec le cahier des charges que nous lui fixons via les PassBand et StopBand en cochant la case minimal order nous n'avons plus besoin de nous préoccuper de ce dernier.

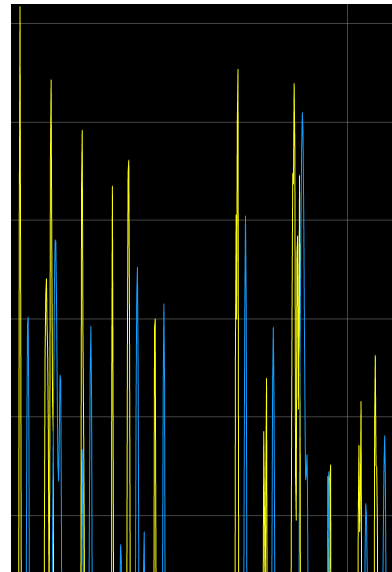
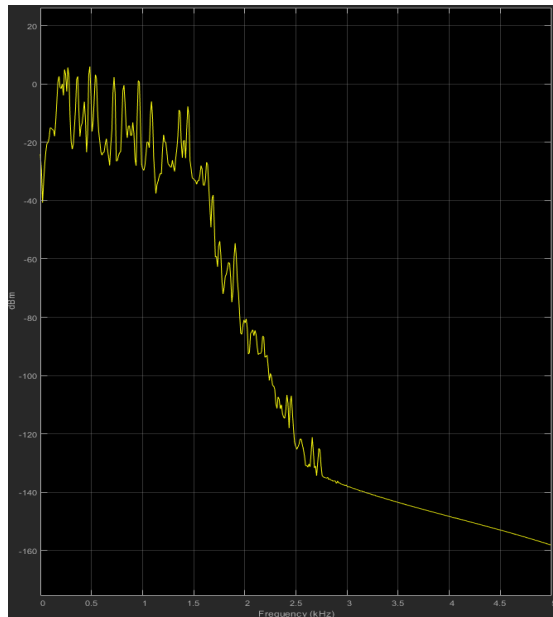
Question 20 :



Via les paramètres suivant :

Filter specifications	
Impulse response:	IIR
Order mode:	Minimum
Filter type:	Single-rate
Frequency specifications	
Frequency units:	Hz
Input sample rate:	11025
Passband frequency:	1400
Stopband frequency:	2000
Magnitude specifications	
Magnitude units:	dB
Passband ripple:	1
Stopband attenuation:	50

Nous avons réglé les fréquences Passband et StopBand désirés, l'ordre en Minimum ainsi que le Stopband attenuation à 50dB.

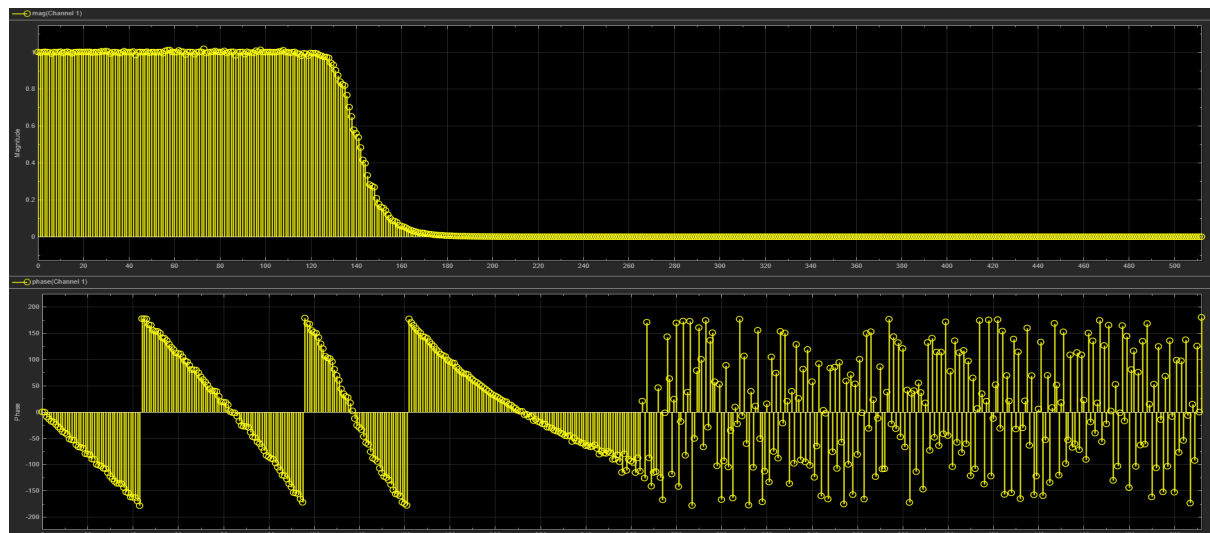


On remarque bien via l'analyse spectrale que nous avons un PB à 1.4kHz. L'atténuation est bien de -50dB à 2kHz.

Question 21 :

Au-delà de 1.4kHz les fréquences sont fortement atténuées, on est bien vers les -50dB à 2kHz. Comparer au moyenneur précédent, ce dernier se focalise sur une bande précise alors que le moyenneur lui coupe les hautes fréquences car leurs changements étaient brutaux, si on envoyait en continue des hautes fréquences le moyenneur ne les atténuerait plus tandis que ce filtre atténue forcément les fréquences au delà de 1.4kHz.

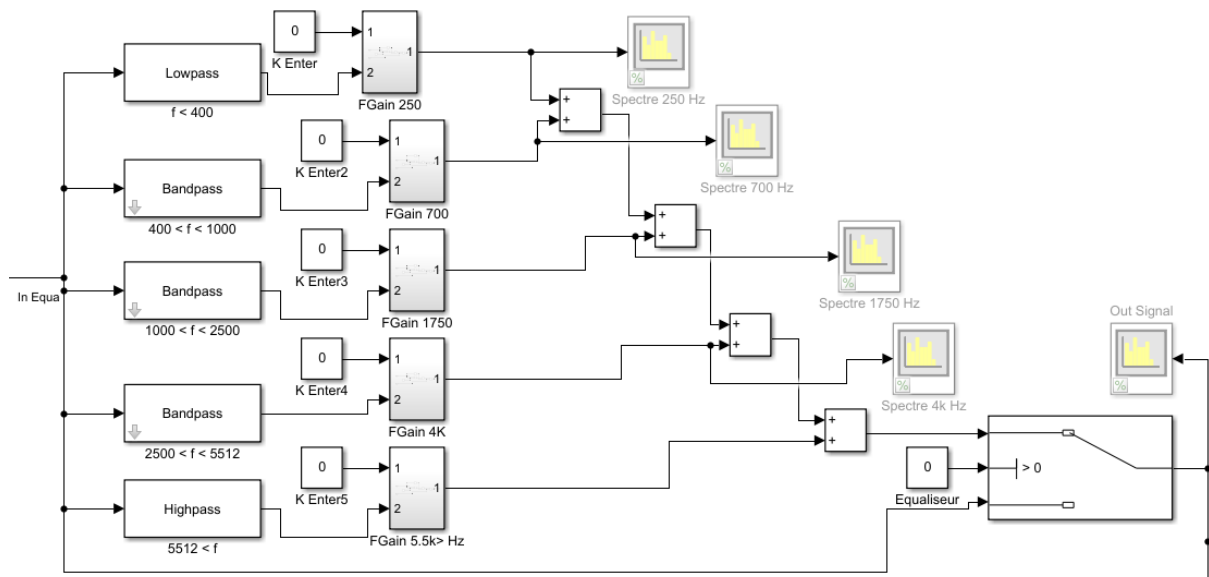
Question 22 :



On remarque que nous avons bien un filtre passe bas, la phase est instable après la fréquence atténuée, cela est dû au fait que nous employons un filtre IIR, un FIR n'aurait pas autant influencé la phase, ce dernier aurait conservé une linéarité.

Réalisation de l'equalizer :

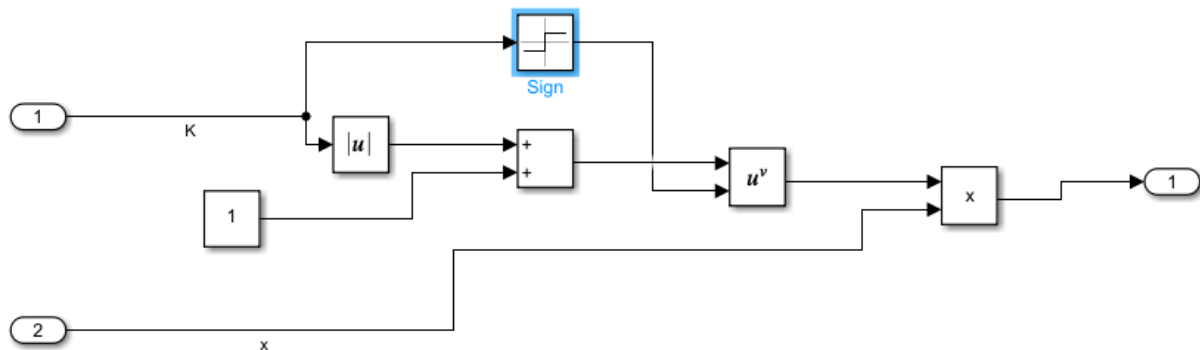
Voici le schéma de notre equalizer :



Il est important que tous nos filtres n'oscillent pas et soient continue à 0 db pour ne jamais diminuer continuellement une fréquence. Ses derniers se suivent de manière à pouvoir tracer une droite continue en 0dB. Pour la répartition de la bande en fréquences de notre equalizer nous avons raisonné sur la sensibilité de l'oreille, en essayant de séparer les graves, les médiums et les aigus. Les instruments peuvent monter à une fréquence de 5kHz, la voix humaine d'où nos différents paliers.

Le bloc K EnterX est le coefficient qui va être appliqué sur cette plage de fréquence, ce dernier est injecté dans nos blocs FGain X qui comporte la formule suivante :

$f(x) = x \times (|k| + 1)^{\text{sign}(k)}$ avec x le signal filtré sur la bande, k la valeurs du coefficient choisis par l'utilisateur qu'il souhaite appliquer sur la bande, sign(k) bloc qui renvoie -1 si k négatif, 1 si K positif. Ce bloc a donc la forme suivante :

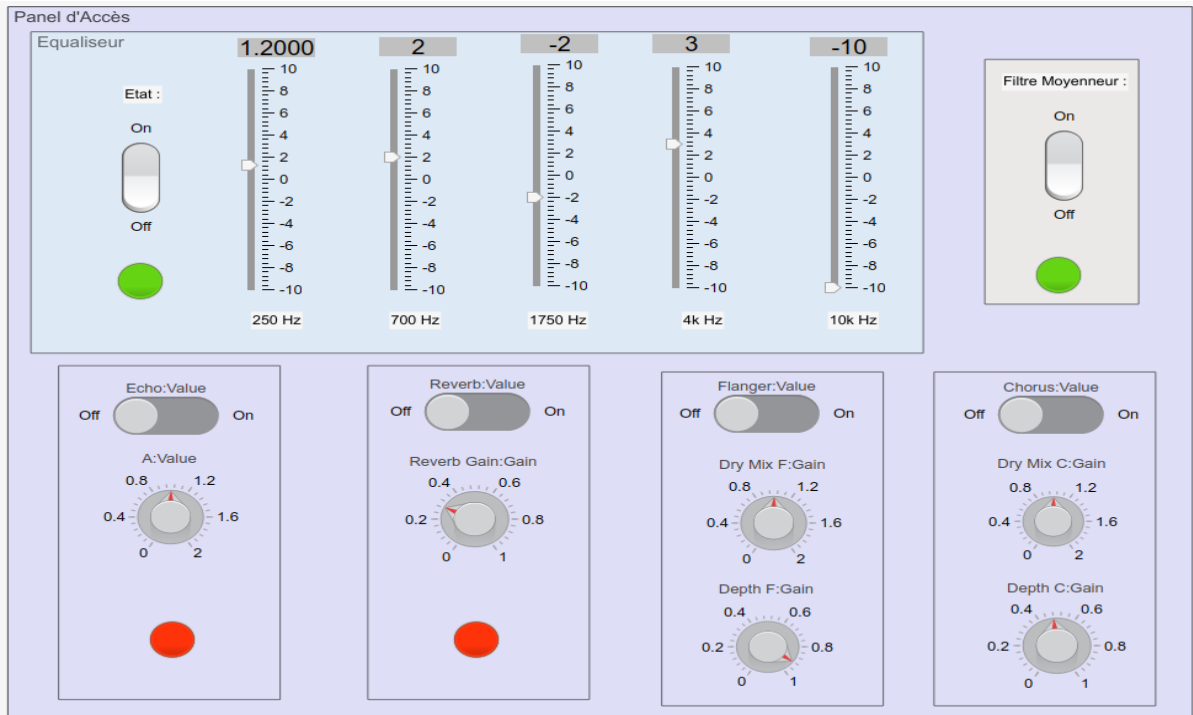


Cela nous permet d'avoir la relation suivante :

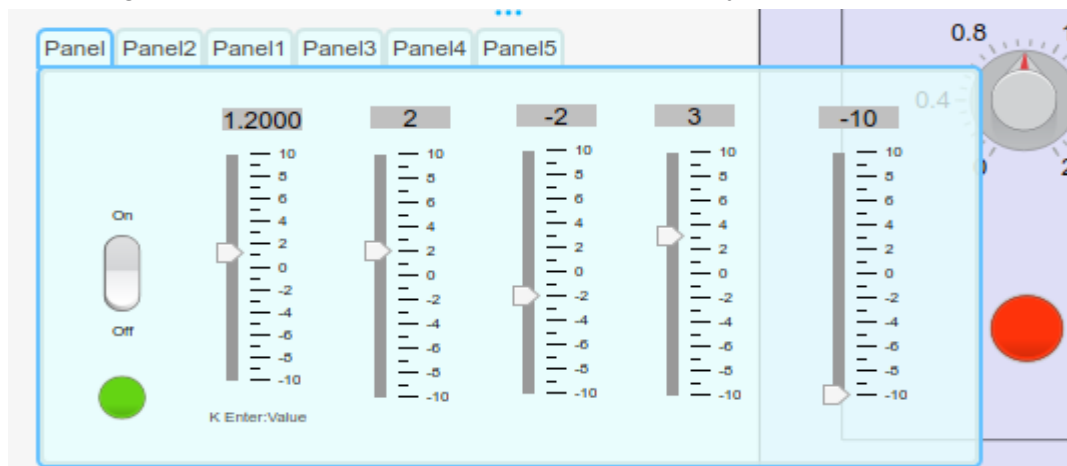
k =	-2	-1	-0.9	-0.1	0	0.1	0.9	1	2
x =	x/3	x/2	x/1.9	x/1.1	x	x*1.1	x*1.9	x*2	x*3

Cette manière nous semble plus intuitive que de modifier directement K fois le signal ce qui limite entre]0;1[pour atténuer et le reste pour augmenter. Ici K=0 ne provoque pas d'erreur.

La modification en temps réel se fait via ce display :



Qui est également présent peut importe où que vous soyez via la fonction panel de simulink:



Où vous pouvez également activer les effets depuis ce dernier en changeant d'onglet. Chaque fonction, tout comme l'équaliseur est activable/désactivable via un switch.

Seconde partie: Effets audio

Un premier effet : l'écho

Question 1 :

L'écho correspond à l'addition du signal d'origine à une version décalé de ce signal, la version décalé peut éventuellement s'atténuer.

On aurait donc la forme suivante:

$$y[n] = x[n] + K \cdot x[n - N]$$

avec K le facteur d'atténuation.

Question 2 :

On cherche la réponse impulsionnel du système on passe par la TZ:

$$Y[z] = X[z] + k \cdot X[n - N]$$

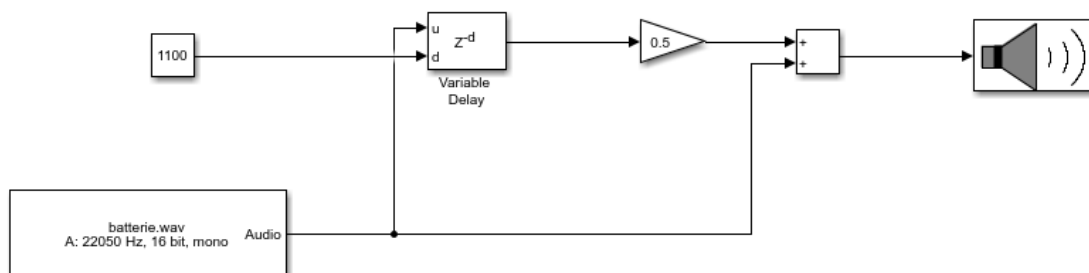
$$\frac{Y[z]}{X[z]} = Z^0 + k \cdot Z^N$$

$$H[z] = Z^0 + k \cdot Z^N$$

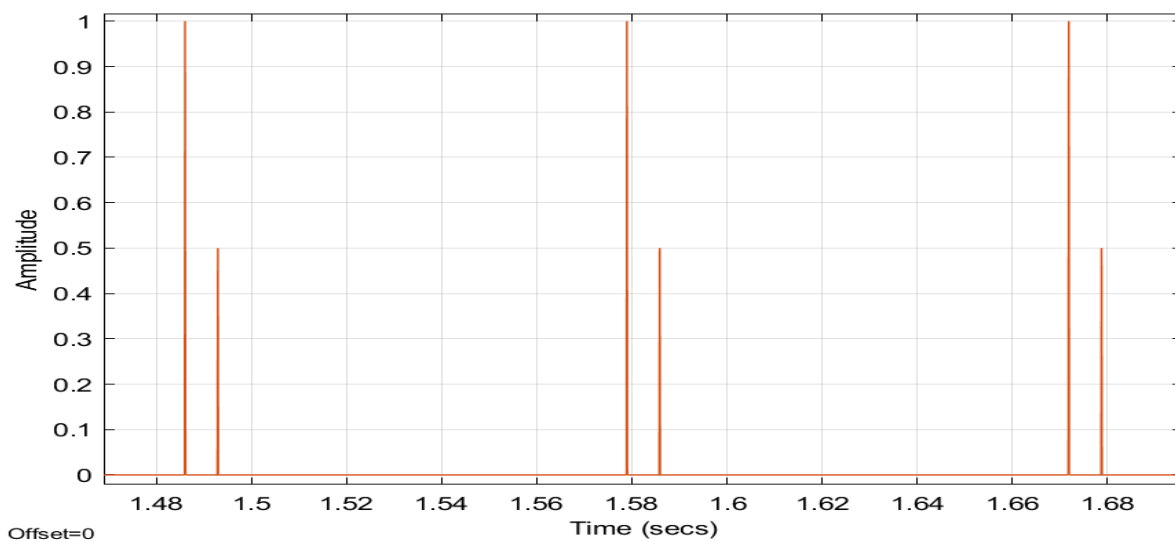
On retrouve grâce à la TZ inverse avec avec $u[n]$ une réponse impulsionnelle unitaire:

$$h[n] = u[n] + k \cdot u[n - N]$$

Question 3 :



Ce schéma réalise bien la fonction de transfert, ici avec un décalage de $N = 1100$ nous percevons la différence mais pas avant. Notre K est fixé à 0.5 ici.

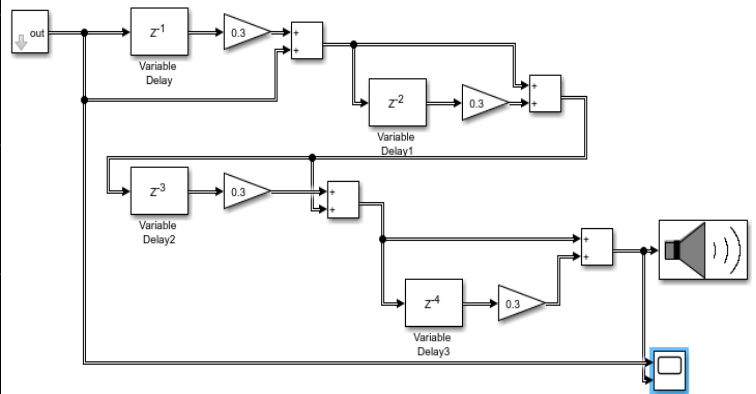
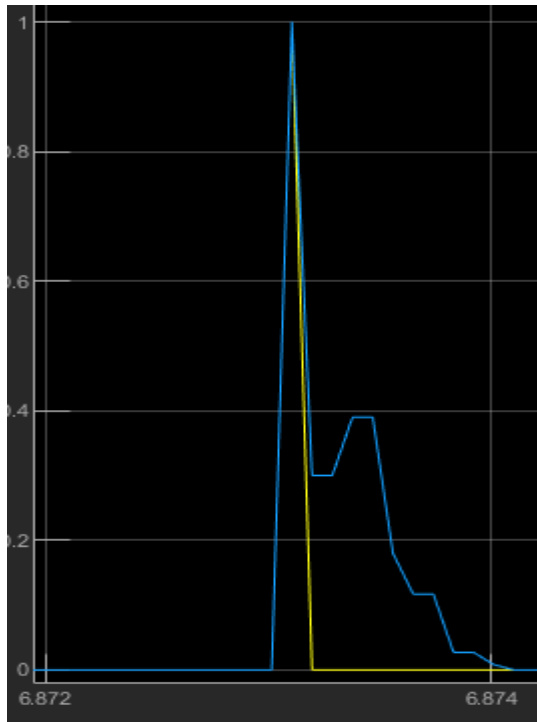


Via la réponse impulsionnelle on remarque bien que nous avons un écho qui apparaît avec une amplitude de la moitié de l'impulsionnelle soit 0.5 .

Un peu plus avancé: la Réverbération

Question 4 :

On peut par exemple rajouter une quantité élevée de signaux $\sum_{i=0}^{+\infty} x[n - iN]$. Dans notre cas i sera forcément fini.



Question 5 :

Le principal problème de cette version étendue de l'écho est qu'elle ne prend pas en compte une infinité de termes ou sinon on devrait rentrer à la main un nombre infini de termes, de plus l'atténuation se fait de façon différente qu'avec une vraie réverbération car il faudrait un facteur K appliquer à $y[n-N]$.

Question 6 :

La réverbération correspond à la récupération du signal $y[n]$ qui est réinjecté dans $y[n+1]$ avec $y[n]$ qui dépend du signal d'origine $x[n]$.

$$y[n] = x[n] + K \cdot y[n - N]$$

$$y[n] = x[n] + K \cdot (x[n - N] + K \cdot y[n - 2N])$$

$$y[n] = x[n] + K \cdot (x[n - N] + K \cdot (x[n - 2N] + K \cdot y[n - 3N]))$$

$$y[n] = x[n] + k^1 \cdot x[n - N] + k^2 \cdot x[n - 2N] + k^3 \cdot y[n - 3N]$$

...

6.a)

on cherche la réponse impulsionnelle $h[n]$ pour simplifier les calculs nous passerons par la TZ et la TZ inverse.

La TZ nous permet de calculer la réponse impulsionnelle $h[n]$ échantillonnée.

avec $u[n]$ une réponse impulsionnelle unitaire.

$$\frac{y[n]}{x[n]} = h[n] \quad \begin{aligned} y[n] &= x[n] + k \cdot y[n - N] \\ Y[z] &= X[z] + k \cdot Z^{-N} \cdot Y[z] \end{aligned}$$

$$\frac{Y[z]}{X[z]} = \sum_{i=0}^{+\infty} k^i \cdot Z^{-Ni}$$

$$H[z] = \sum_{i=0}^{+\infty} \left(k^{\frac{1}{N}} \cdot Z^{-1} \right)^{N \cdot i}$$

La raison devient donc $k^{\frac{1}{N}} \cdot Z^{-1}$

formule de suite geometriques: $s = \sum_{i=0}^n (r)^i = \frac{1 - r^{n+1}}{1 - r}$

si $r < 1$ alors la suite converge donc $k^{\frac{1}{N}} \cdot Z^{-1} < 1$

soit : $k^{\frac{1}{N}} < Z$

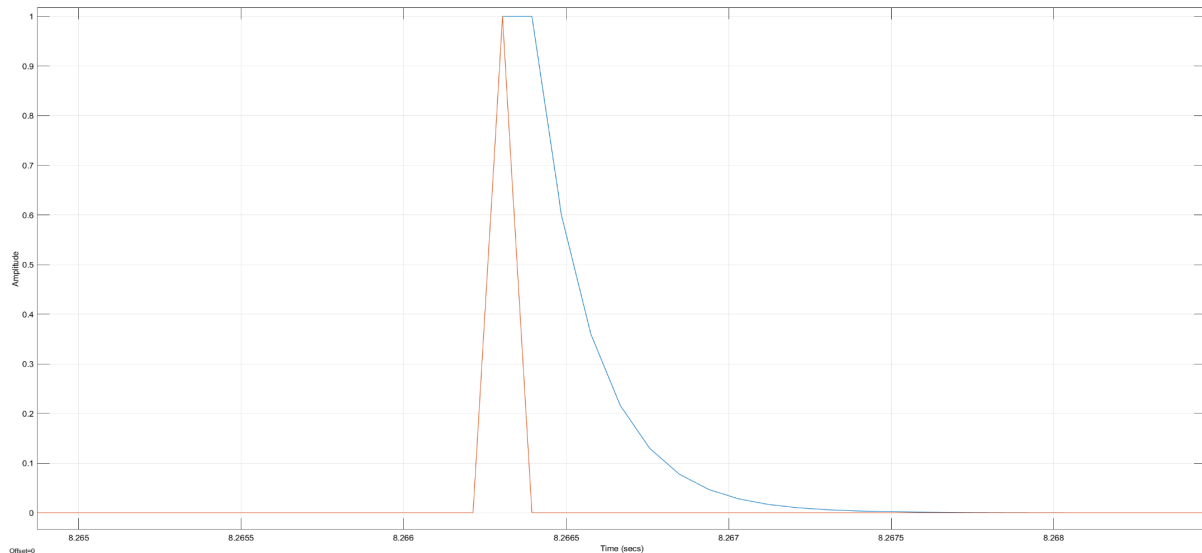
$$H[z] = \frac{1}{1 - k^{\frac{1}{N}} \cdot Z^{-1}}$$

$$TZ^{-1}[H[z]] = TZ^{-1} \left[\frac{1}{1 - k^{\frac{1}{N}} \cdot Z^{-1}} \right]$$

$$h[n] = k^{\frac{n}{N}} \cdot u[n]$$

6.b)

La réponse impulsionnel du système via simulink est la même que celle calculé, on trouve :



D'après le schéma du dessus on retrouve bien ce que l'on a calculé en réponse quand $X = 0$ la courbe vaut 1 puis le rebouclage fait que X augment, on voit que la pente $h[n] = k^{\frac{n}{N}} u[n]$ correspond bien au coefficient $k^{\frac{n}{N}}$ $X \rightarrow +\infty$.

6.c)

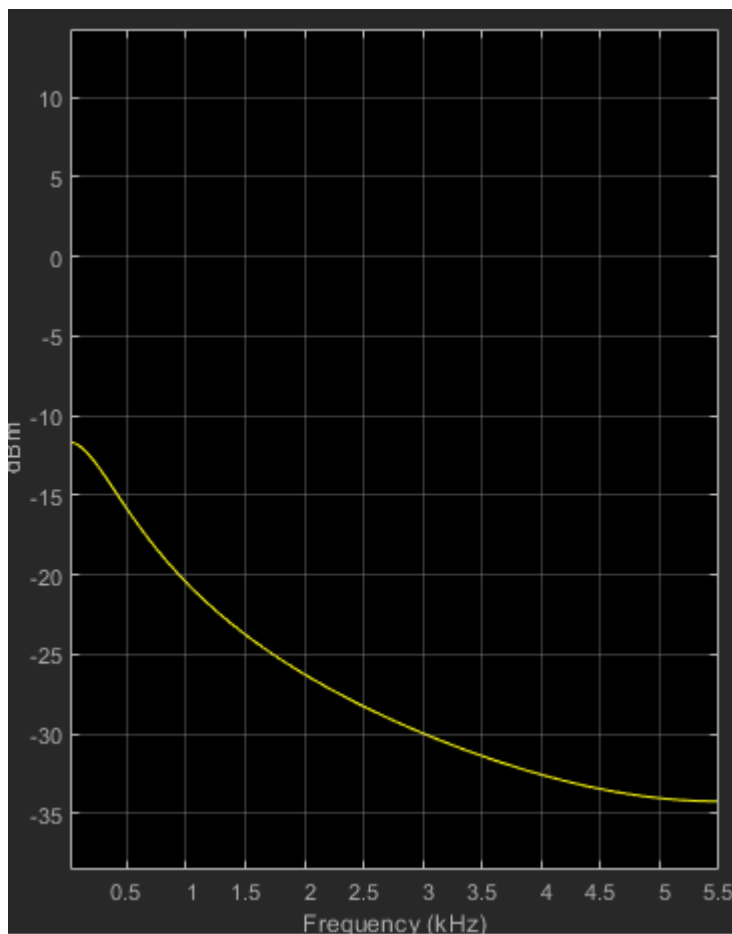
K permet de réaliser l'atténuation de la réverbération tandis que N correspond au délai que met la réverbération à se produire. On pourrait le voir via notre courbe ci-dessus ou notre K serait la pente de courbe au bout des N buffers. En effet N (ici 1) est notre retard, ici on le

remarque via le maintien prolongé à l'amplitude = 1. Notre signal se voit donc atténué de K fois tous les N buffers.

6.d)

Comme K correspond à un facteur d'atténuation si $K > 1$ le signal sera amplifié jusqu'à saturation de même si $k = 1$ la réverbération ne sera pas atténuée et continuera de s'additionner ce qui finira forcément par causer la saturation de la sortie.

6.e)



La réponse fréquentiel observée correspond à un passe bande, on peut le voir via le fait que ce dernier à la forme d'un passe bas et se ré-aplatie en $f \rightarrow +\infty$.

6.f)

La réverbération a pour effet de récupérer le signal d'origine puis le réinjecter dans le signal d'origine à $T+1$ avec une atténuation K.

Le paramètre N étant notre buffer ce dernier va influencer sur la répétitivité de notre signal, sachant qu'à chaque fois le signal répété est diminué de K. Ainsi pour un $N > 1$ nous aurons une suite de pics redondant à chaque fois diminuer de K.

Autres effets

Question 7 :

La saturation dans le domaine temporel correspond à des sauts de tension beaucoup trop élevés, ces sauts de tension empêchent la restitution correcte du signal en sortie du haut parleur, on perdra donc de l'information lors de la restitution du signal, l'amplitude sera maximale pendant la saturation.

Question 8 :

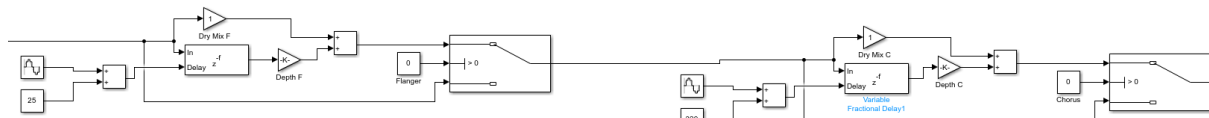
La saturation du sinus le changera en signal carré, en revanche la fréquence de ce nouveau signal ne diffère pas de la fréquence du signal sinusoïdal de son signal d'origine. Comme le signal est pur, on obtient une seule fréquence lors de l'analyse fréquentielle du signal.

Question 9 :

L'effet de saturation sur la guitare.wave réduit grandement la quantité de son différent que l'on entend, on remarque donc que beaucoup de fréquences ne sont pas restituées correctement, le signal se compose de quelques fréquences car beaucoup ont été perdu à cause de la saturation du signal.

La saturation se caractérise par des sauts de tension beaucoup trop élevés, comme le courant en entrée du haut parleur ne peut pas suivre les variations de tension on atteindra une valeur $I_{out} = I_{max}$ et $-I_{max}$ donc une perte de signal car le courant ne pourra pas varier si la commande en tension continue d'augmenter (pour régler le problème il faudrait éventuellement augmenter la valeur de I_{max} ce qui est compliqué car on est déjà sur des courants assez forts en sortie de l'amplificateur de puissance).

Question 10 :



À gauche l'implémentation du flanger et à droite celle du chorus, avec les paramètres suivants :

	Amplitude Sin	Fréquence Sin	Constante
Flanger	20	$2\pi \cdot 0.7 \text{ rad/s}$	25
Chorus	80	$2\pi \cdot 0.03 \text{ rad/s}$	320

Nous nous sommes basés sur une enquête basée auprès des musiciens qui caractérisent le Flanger ayant un délai entre 1 à 10ms tandis que le Chorus a un délai plus élevé de 30 à 50ms. Bien que ce sujet soit encore débattu, nous nous sommes basés sur cela afin de fournir les valeurs dans le tableau.

Pour le Chorus et le Flanger il y a la possibilité, via le panel ou l'interface de modifier la "profondeur / Depth" et le "Dry Mix" (à quel point on désire l'effet sur notre son, 0 valant pour sortie uniquement l'effet).