

TP 3 : Synthèse de filtres numériques RIF et démodulation stéréo

Il est indispensable d'avoir préparé le TP avant la séance, c'est-à-dire :

- avoir lu le sujet de TP et avoir compris le cours et les travaux dirigés correspondants ;
- avoir répondu aux questions théoriques, dont le numéro est suivi du signe †.

Les listings de tous les programmes doivent être joints au rapport.

Tous les résultats et courbes doivent être commentés.

I Présentation du TP

L'objectif de cette manipulation est de synthétiser des filtres numériques pour la démodulation d'un signal stéréophonique. Avant d'arriver en séance, vous devez impérativement avoir assimilé les notions théoriques concernant :

- le principe de la **modulation d'amplitude** (voir l'exercice 6 du TD 1) ;
- le **filtrage des signaux** et la représentation spectrale de cette opération ;
- le **retard induit par le filtrage** (temps de propagation de phase et de groupe) et l'intérêt de l'utilisation des **filtres à phase linéaire** (voir cours page 42) ;
- la **synthèse des filtres numériques à réponse impulsionnelle finie (RIF)** (voir cours page 45).

Si vous avez bien assimilé ces notions, vous pourrez aisément répondre aux questions théoriques dont le numéro est suivi du signe †.

Pour réaliser un enregistrement stéréophonique, il faut utiliser deux microphones placés respectivement à droite et à gauche de la scène. La restitution utilise deux haut-parleurs dont la position permet de restituer la directivité de l'écoute lorsqu'ils sont alimentés par la voie correspondante. Pour la radiodiffusion, il faut transmettre ces deux signaux simultanément par le même canal de transmission. La contrainte principale pour une telle modulation est que le signal doit tout de même pouvoir être reçu par des récepteurs non équipés pour la stéréophonie (monophonie). Pour cela, on construit un signal composé :

- du signal correspondant à la somme des signaux issus des deux microphones (signal mono $G+D$)
- du signal correspondant à la différence de ces signaux ($G-D$), modulés en fréquence, c'est-à-dire multiplié par une porteuse (cosinus de fréquence connue $f_0 = 38 \text{ kHz}$)
- de la porteuse (avec une fréquence divisée par deux) ayant servi à moduler ce signal afin de permettre une démodulation cohérente.

Le schéma de principe d'un modulateur stéréo est donné en Figure 1 et le spectre d'un tel signal stéréo est schématisé Figure 2.

Pour démoduler le signal, c'est-à-dire récupérer les signaux gauche et droite à partir du signal stéréo, il faut procéder en 4 étapes comme schématisé Figure 3 :

- filtrer le signal stéréo pour récupérer le signal $G+D$;
- filtrer le signal stéréo pour récupérer la porteuse (en multipliant par deux sa fréquence) ;
- filtrer le signal stéréo pour récupérer le signal $G-D$ modulé ;
- démoduler le signal $G-D$, pour cela, il suffit de le multiplier par la porteuse (multipliée par un facteur 2 en amplitude) et de le filtrer à l'aide d'un filtre passe-bas.

Il est alors immédiat de séparer les signaux gauche et droite à partir des signaux composés de $G+D$ et $G-D$.

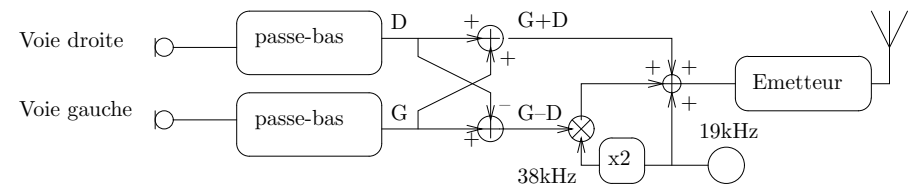


FIGURE 1 – Schéma de principe du modulateur stéréophonique

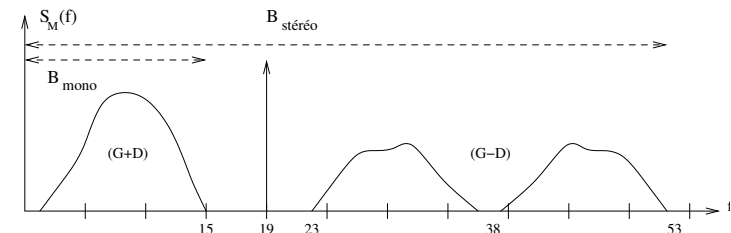


FIGURE 2 – Allure du spectre d'un signal stéréo

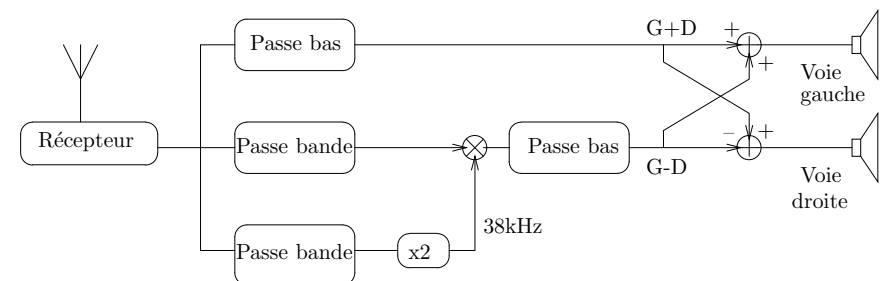


FIGURE 3 – Schéma de principe du démodulateur stéréophonique

Vous disposez dans le fichier **stereo.mat** du signal stéréo x échantillonné à la fréquence $F_e = 132300 \text{ Hz}$. Pour simplifier la manipulation, le signal de la **porteuse à 38 kHz** est fourni dans ce fichier (variable **port**), l'étape consistant à récupérer la porteuse à partir du signal stéréo ne sera donc pas à effectuer. . . Vous aurez ainsi à synthétiser des filtres **passe-bas** et **passe-bande** dont la forme des gabarits est rappelée Figure 4. On souhaite synthétiser des filtres d'un ordre raisonnable, aussi, nous nous autorisons une **bande de transition de largeur 2 kHz**, une **atténuation maximale en bande passante de 1 dB** et une

atténuation minimale en bande coupée de 40 dB. Pour synthétiser des filtres à réponse impulsionnelle finie, on utilisera la méthode consistant à tronquer la réponse impulsionnelle du filtre numérique idéal. Les paramètres des filtres n'étant pas connus à l'avance (ordre et fréquences de coupure du filtre idéal), on procédera par essais successifs pour déterminer les paramètres du filtre d'ordre le plus faible satisfaisant le gabarit.

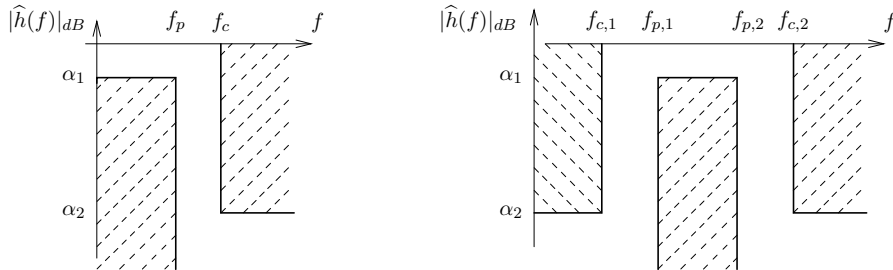


FIGURE 4 – Gabarit des filtres passe-bas et passe-bande à synthétiser

- 1† Pour quelle raison l'utilisation de filtres à réponses impulsionnelles finies est-elle indispensable pour ce type d'application ?
- 2† Quel est le temps de propagation de phase, et donc le retard entrée/sortie d'un tel filtre synthétisé par troncature de la réponse impulsionnelle idéale ?
3. Tracez la représentation fréquentielle du signal stéréo. Voyez-vous les différentes composantes (G+D, G-D et porteuse) ? **Commenter cette figure...**

II Récupération du signal G+D

Comme schématisé Figure 3, pour récupérer le signal G+D il suffit de filtrer le signal stéréo avec un filtre passe-bas.

II.1 Synthèse du filtre passe-bas

- 1† **Précisez** la valeur des fréquences définissant le gabarit du filtre passe-bas.
- 2† **Calculez** la réponse impulsionnelle $h[n]$ du filtre numérique idéal. Pourquoi ne peut-on pas utiliser en pratique cette réponse impulsionnelle ?
- 3† Quel est l'effet en fréquence de la troncature de cette réponse impulsionnelle (on conserve les indices dans l'intervalle $\{-P, \dots, P\}$) ?
- 4† Quel est l'effet en fréquence de la pondération de cette réponse impulsionnelle par les fenêtres rectangulaire et de Hamming ?
5. Générer avec Matlab les réponses impulsionnelles (tronquées et pondérées) de deux filtres `h_R` (fenêtres rectangulaire) et `h_H` (fonction `hamming` : `HAMMING(N)` returns the N-point Hamming window in a column vector). Pour construire `h_R`, il suffit de calculer la réponse impulsionnelle idéale pour le vecteur d'indices `ind=-P:P` (cela tronquera la réponse impulsionnelle idéale et il sera donc inutile de faire appel à une quelconque fenêtre rectangulaire) et pour construire `h_H` il suffira de pondérer `h_R` par la fenêtre de Hamming : `h_H=h_R.*hamming(2*P+1)'` ;

6. Pour chacun de ces filtres, choisissez un ordre (le plus faible possible) et une fréquence de coupure afin que les filtres satisfassent le cahier des charges. Pour vérifier cela, il faudra tracer la réponse en fréquences des filtres (à l'aide de la fonction `freqz` comme dans le TP 2) correspondant à ces filtres et le gabarit (fonction `DisplayFilterSpecif`). Par exemple avec : `[H_R,freq] = freqz(h_R,1,4096,Fe)`; (calcul de la réponse en fréquence) `plot(freq,20*log10(abs(H_R)),'k-')`; (affichage de la réponse en fréquence) `DisplayFilterSpecif(f_p,f_c,-alpha_p,-alpha_c,Fe/2)`; `hold off` (affichage du gabarit).
7. Préciser l'ordre des filtres et en déduire leur temps de propagation de phase.
8. **Conclure** sur le filtre qui vous semble le plus adapté à votre problème... Pour la suite de ce TP vous travaillerez uniquement avec le filtre choisi de réponse impulsionnelle h .

II.2 Filtrage du signal

1. Filtrer le signal stéréo avec le filtre passe-bas synthétisé ayant l'ordre le plus faible (fonction `filter`) avec `GplusD = filter(h,1,x)`; Tracer la représentation fréquentielle du signal filtré.
2. Écouter le signal G+D ainsi récupéré. Qu'entendez-vous ?

III Récupération du signal G-D

Comme schématisé Figure 3, pour récupérer le signal G-D il faut filtrer le signal stéréo avec un filtre passe-bande, puis le démoduler en le multipliant par la porteuse puis le filtrant avec un filtre passe-bas.

III.1 Synthèse du filtre passe-bande

On pourrait suivre la même démarche que pour le filtre passe-bas pour synthétiser le filtre passe-bande. Cependant pour simplifier, on utilisera simplement une modulation de la réponse impulsionnelle du filtre passe-bas à la fréquence de la porteuse f_{port} (38 kHz) afin d'obtenir la réponse impulsionnelle du filtre passe-bande.

1. Calculer la réponse impulsionnelle $g[n]$ (pour des indices dans l'intervalle $\{-P, \dots, P\}$) du filtre passe-bande en multipliant celle du filtre passe-bas par un cosinus de fréquence f_{port} : `g = h.*cos(2*pi*f_port*(-P:P)/Fe)` ;
2. Tracer la réponse en fréquence du filtre et vérifier qu'il satisfait bien nos attentes.
3. Préciser l'ordre du filtre et en déduire son temps de propagation de phase.
4. Filtrer le signal stéréo par ce filtre passe-bande pour obtenir le signal G-D modulé. Tracer la représentation fréquentielle de ce signal filtré. **Commenter...**

III.2 Démodulation du signal

- 1† Pour un signal quelconque $y(t)$, soit le signal modulé $y_1(t) = y(t) \cos(2\pi f_1 t)$, puis le signal $y_2(t) = 2y_1(t) \cos(2\pi f_1 t)$. Simplifier l'écriture de $y_2(t)$ en fonction de $y(t)$. Illustrer en fréquence le fait qu'un simple filtre passe-bas permet de récupérer le signal $y(t)$ à partir du signal $y_2(t)$ (principe de la démodulation synchrone).

2. Multiplier le signal G-D modulé obtenu précédemment par la porteuse signal (`port` fourni dans le fichier) multipliée par 2. Tracer la représentation fréquentielle du signal correspondant. **Commenter...**
3. Récupérer le signal G-D en filtrant ce signal par le filtre passe-bas. Tracer la représentation fréquentielle du signal G-D. **Commenter...**
4. Écouter le signal G-D ainsi récupéré. Qu'entendez-vous ?

IV Récupération des signaux G et D

1. A l'aide des signaux G+D et G-D, reconstruire les signaux G et D.
2. Écoutez ces signaux. Vous devriez entendre « droite » pour le signal D et « gauche » pour le signal G. Qu'entendez-vous ?
3. Avez-vous pris des précautions particulières quant au retard induit sur les signaux par les différentes opérations qu'ils subissent ?
Notez que si lors du filtrage un signal y a été retardé de P échantillons par rapport à un signal x il est aisé de rattraper ce retard avec Matlab à l'aide de la commande `y = [y(P+1:end), zeros(1,P)]` ;
En effectuant cela après chaque filtrage, vous devriez récupérer des signaux Droite et Gauche corrects.
4. **Conclure sur la synthèse de tels filtres et la démodulation stéréo...**