

LABO 5 - 6 - 7

PROJET

DECODAGE SON DE CANAL+ SOUS MATLAB

5.1 Introduction

Au cours de séances précédentes, nous avons appris à utiliser un certain nombre d'outils fondamentaux en traitement du signal : générateurs (et échantillonneurs), analyseurs, et filtres.

Ces outils vont maintenant nous permettre de *modéliser* et *synthétiser* des signaux audio-numériques. Plus précisément, le but de ce projet sera de réaliser un codeur-décodeur son compatible avec celui utilisé pour le codage son de CANAL+. Ce codeur-décodeur sera réalisé sous MATLAB, pour des raisons évidentes de temps de développement. Il ne sera par conséquent pas « temps réel » : il fonctionnera à partir de fichiers .wav.

Pour ce faire, nous commencerons par créer un signal simple, que nous soumettrons au codeur. Cette première étape permettra de mieux comprendre le principe de ce codeur très simple. Chaque étape du processus de codage sera analysée (dans les domaines temporels et fréquentiels).

Nous réaliserons ensuite le décodeur correspondant, dans le domaine temporel.

Enfin, nous examinerons la possibilité de réaliser le même décodeur dans le domaine fréquentiel, par utilisation de FTT-IFFT.

5.2 Notions Théoriques

La méthode de cryptage du son employée dans le système de codage Canal+ consiste en une inversion du spectre autour de 12.8 kHz par modulation d'amplitude.

5.2.1 Modulation d'amplitude

Rappelons par un exemple théorique ce qu'est un signal modulé en amplitude. Soit $s(t)$ un signal réel, de spectre limité par f_{bb} et f_{bh} , sans composante continue, et $\cos(\omega_0 t)$ une onde périodique réelle de pulsation fondamentale ω_0 ($\omega_0 = 2\pi f_0$). Le spectre du signal $s(t)\cos(\omega_0 t)$ résulte de la translation, sur l'axe des pulsations, de + et - ω_0 du spectre de $s(t)$ (Fig 5.1).

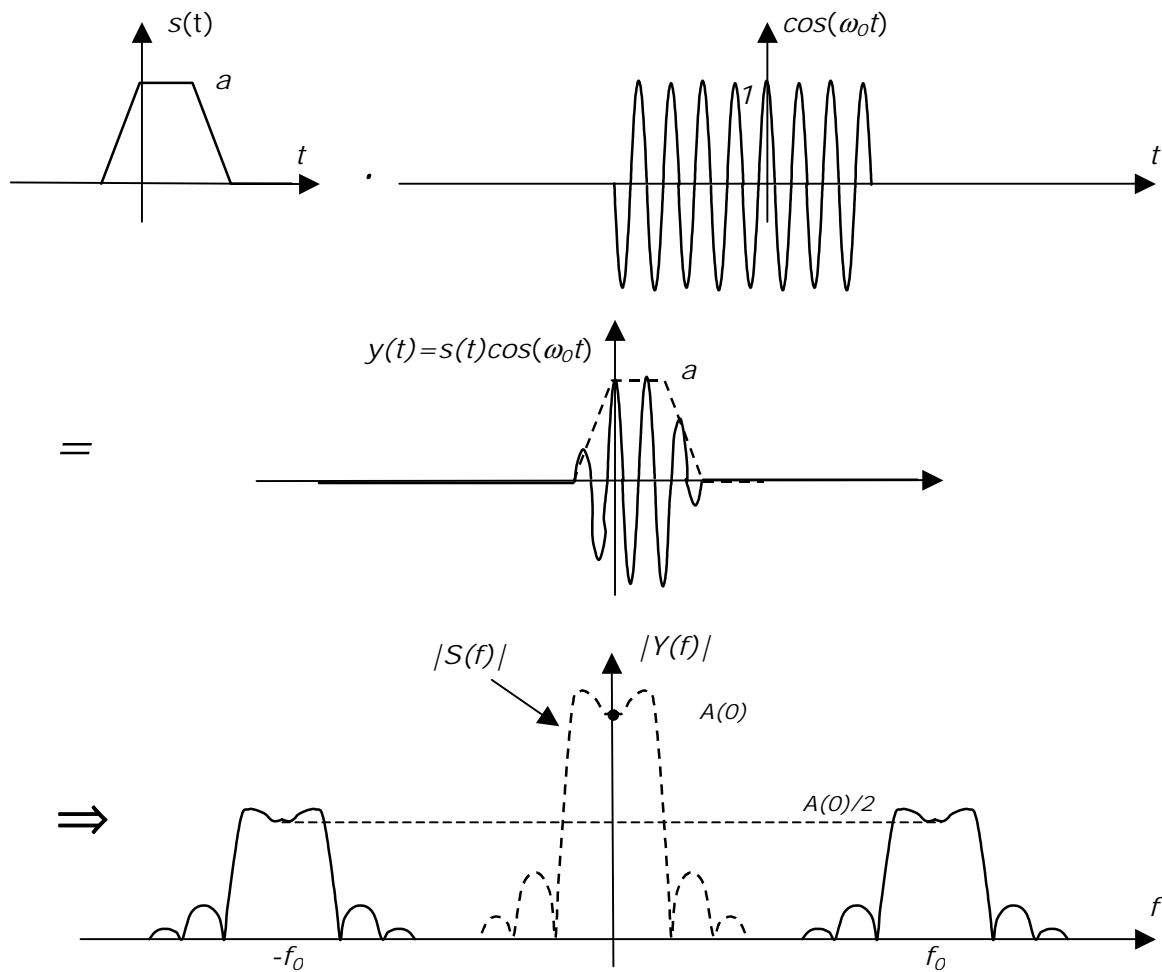


Fig 5.1 Modulation de fréquence

En effet le développement en séries de Fourier de $\cos(\omega_0 t)$ comprend deux termes d'amplitude $\frac{1}{2}$ (Fig. 5.2):

$$\cos(\omega_0 t) \stackrel{\mathbb{F}}{\Leftrightarrow} \frac{1}{2} [\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0)]$$

Fig. 5.2 Transformée de Fourier d'un cosinus

On sait par ailleurs que le produit $s(t)\cos(\omega_0 t)$ correspond à la convolution des transformées de Fourier de $s(t)$ et $\cos(\omega_0 t)$, et que la convolution d'un signal par une impulsion de Dirac correspond au déplacement de ce signal au droit de l'impulsion, et à une multiplication par son poids. Ceci explique la Fig 5.1.

5.2.2 Cryptage du son

Le principe de la modulation d'amplitude est utilisé par Canal+. On peut supposer que le signal non codé en bande de base est multiplié par un signal de type $b\cos(2\pi 12800t + \Phi)$. Dans l'exemple théorique donné à la section précédente, les spectres translatés ne se recouvrent pas car on a supposé que $f_0 > f_{bh}$. Cette condition n'est visiblement pas vérifiée dans le cas du codage utilisé par Canal+. En effet le spectre d'un signal audible s'étend jusqu'à 20 kHz. Pour qu'il n'y ait pas de recouvrement des 2 spectres translatés, on procède d'abord à un filtrage passe bas (dont la fréquence de coupure est choisie précisément à 12.8 kHz) du signal non codé en bande de base. On procède ensuite à la modulation. Le schéma de principe du codage est donnée à la Fig 5.3.

On constate que cette modulation d'amplitude conduit à un retournement du spectre de $s(t)$. D'où l'impression de grésillement que l'on éprouve à l'écoute du signal son de CANAL+.

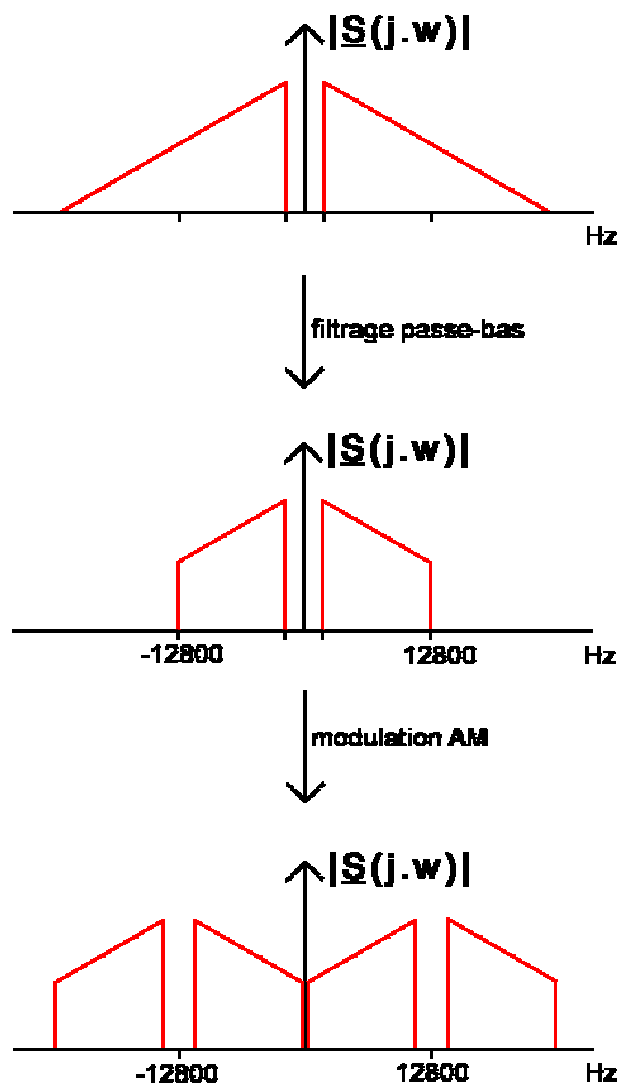


Fig 5.3 Codage du son CANAL+

5.2.3 Décryptage du son

Pour procéder à une deuxième retournement du spectre du signal, annulant le premier, le décodeur (analogique !) de CANAL+ procède une nouvelle fois à une

modulation en amplitude avec un signal sinusoïdal de fréquence 12.8 kHz. Comme précédemment, avant de moduler le signal, il faut au préalable le filtrer passe bas pour éviter un recouvrement des spectres translatés. Le schéma de principe du décodage est donné à la Fig 5.4.

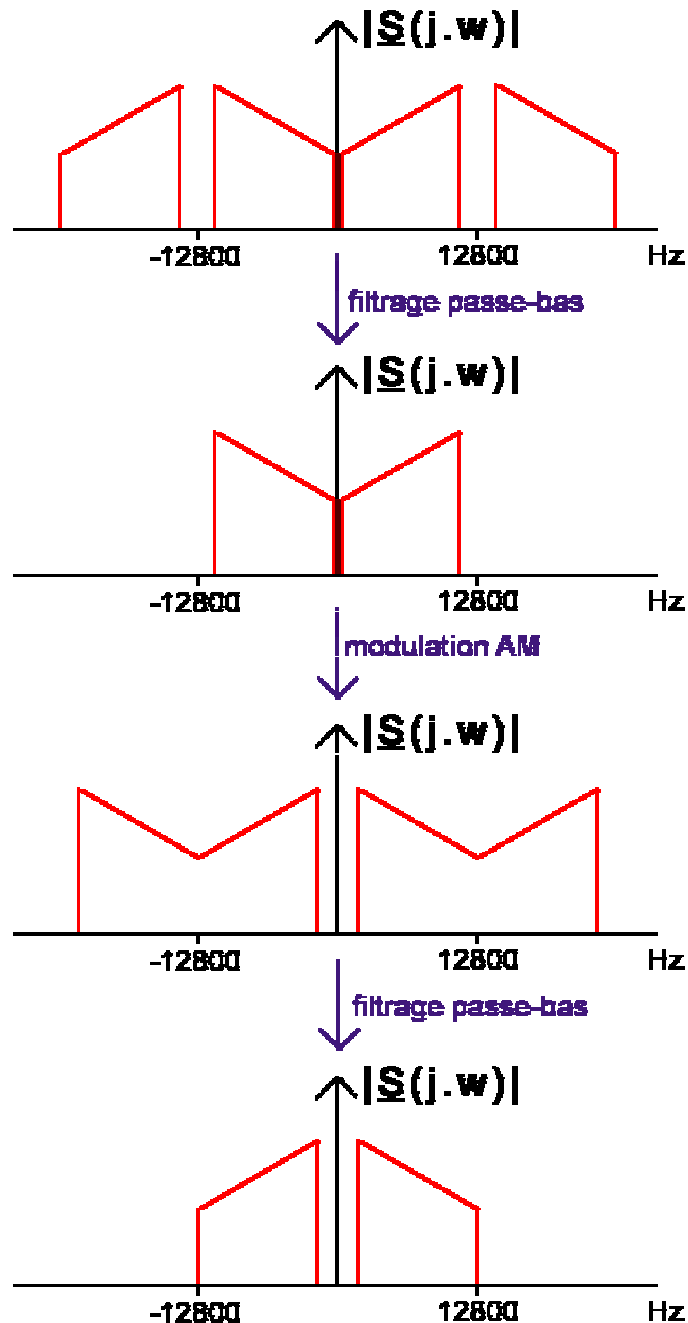


Fig 5.4 Décodage du son CANAL+

Le deuxième filtrage passe-bas (dans le décodeur) est nécessaire pour ne garder que la partie utile du signal.

5.3 Réalisation du codeur

NB : on utilisera pour la suite les fonctions `loadwav` et `savewav` fournies sur disquette.

5.3.1 Signal de test

Afin de bien comprendre le principe du codeur et d'en vérifier le bon fonctionnement, on commencera par créer un signal de test $s(t)$ périodique (fréquence = 500 Hz) possédant des harmoniques même au delà de 12800 Hz (comme c'est le cas pour le son HIFI). Pour fixer les idées, nous utiliserons la fonction `square` pour créer une onde carrée (Fig. 5.5) et nous en vérifierons le contenu spectral sous MATLAB.

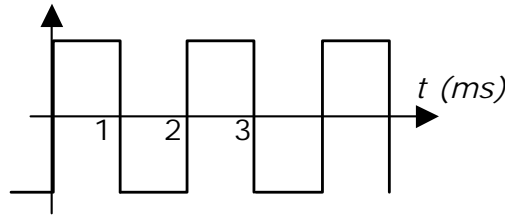


Fig. 5.5 Onde carrée $s(t)$

Rappelons que la décomposition en séries de Fourier du signal d'entrée peut être obtenue par calcul de la transformée de Fourier de sa période (Fig. 5.6), en utilisant par exemple la méthode de Guillemin :

$$\begin{aligned}
 s'_0(t) &= -\delta(t+10^{-3}) + 2\delta(t) - \delta(t-10^{-3}) \\
 S'_0(f) &= 2 - (e^{j\omega 10^{-3}} + e^{-j\omega 10^{-3}}) = 2 - 2\cos(\omega 10^{-3}) \\
 S_0(f) &= \frac{2 - 2\cos(\omega 10^{-3})}{j\omega} \\
 S(f) &= \frac{1}{T_0} \sum_{k=-\infty}^{\infty} S_0(kf_0) \delta(f - kf_0) \\
 &= \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{2 - 2\cos(k\pi)}{jk\pi} \delta(f - k / 2 \cdot 10^{-3}) \\
 &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1 - \cos(k\pi 10^{-3})}{jk\pi} \delta(f - k / 2 \cdot 10^{-3})
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

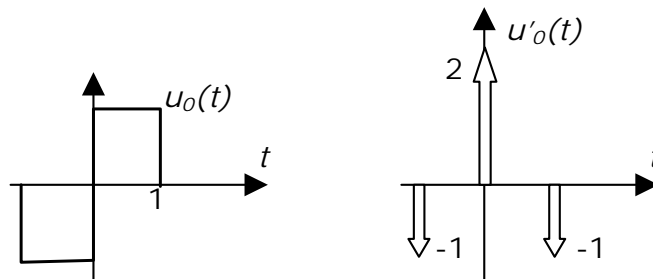


Fig. 5.6 Une période de l'onde carrée et sa dérivée

Le résultat (5.1) permet de calculer l'amplitude des harmoniques du signal. On demande de les retrouver sur le spectre du signal, obtenu avec `freqz`.

5.3.2 Codage du signal de test

On demande d'implémenter sous Matlab une version *numérique* du codeur dont le principe est donnée à la Fig 5.3. Cette étape nécessite la synthèse d'un filtre numérique passe-bas de fréquence de coupure 12800 Hz. On utilisera une synthèse de Cauer (fonctions `ellipord` et `ellip`), dont on s'imposera les spécifications de façon à ce que l'ordre du filtre ne soit pas trop élevé, tout en coupant suffisamment au delà de 12800 Hz.

On vérifiera le bon fonctionnement du codeur avec la fonction `freqz`, en examinant le spectre du signal de test codé. On écoutera également le signal original et le signal codé (fonction `sound` sous Matlab).

5.4 Réalisation du décodeur dans le domaine temporel

5.4.1 Décodage du signal de test

On demande d'implémenter sous Matlab une version *numérique* du décodeur dont le principe est donnée à la Fig 5.4. On examinera dans quelle mesure le signal décodé $s_d(t)$ ressemble bien au signal original $s(t)$ (dans le domaine temporel et fréquentiel). On comparera également ces deux signaux auditivement.

On terminera par une mesure du rapport signal à bruit :

$$RSB = 10 \log (\sigma_s^2 / \sigma_b^2)$$

avec $b(t) = s_d(t) - s(t)$ (Bruit de codage-décodage)

5.4.2 Décodage d'un signal canal+

On répétera l'opération pour un signal fourni sur disquette, contenant un court extrait de signal CANAL+ codé.

Le signal fourni est entaché de recouvrement spectral. A quelle fréquence ? Pouvez-vous expliquer l'origine de ce recouvrement ?

Le signal décodé est-il de bonne qualité ?

On calculera enfin le nombre d'opérations par échantillon nécessaires à ce type de décodeur.

5.5 Réalisation du décodeur dans le domaine fréquentiel

5.5.1 Décodage du signal de test

Il est possible de réaliser l'opération de retournement du spectre directement dans le domaine fréquentiel, par calcul de FFT sur des tranches de signal obtenues par pondération du signal codé par des fenêtres (typiquement de Hamming) coulissantes (Fig. 5.7).

On demande d'implémenter sous Matlab un tel décodeur fréquentiel. Il est clair que le filtre utilisé dans le domaine temporel, ainsi que l'opération de modulation d'amplitude, pourront être ici remplacés par leurs équivalents fréquentiels, plus simples.

On examinera dans quelle mesure le signal décodé $s_d(t)$ ressemble bien au signal original $s(t)$ (dans le domaine temporel et fréquentiel). On comparera également ces deux signaux auditivement.

On réalisera enfin une mesure du rapport signal à bruit.

5.5.2 Décodage d'un signal canal+

On répétera l'opération pour un signal fourni sur disquette, contenant un court extrait de signal CANAL+ codé.

Le signal décodé est-il de bonne qualité ?

On calculera enfin le nombre d'opérations par échantillon nécessaires à ce type de décodeur.

Pour terminer, on comparera le RSB et la charge de calcul des deux techniques, et on en déduira si possible celle qu'il est préférable d'utiliser.

Remerciements

Je voudrais remercier Baudry Hannotier, étudiant 5è ELEC 2000-2001, qui a initié ce travail dans le cadre de son projet « applicatifs multimédia » (certificat de 5è ELEC).

T. Dutoit, mars 2002.

Fig. 5.7 Analyse-synthèse dans le domaine fréquentiel

