



# Rapport du projet de Traitement du signal

Christopher James & Nicolas Foin

Département Sciences du Numérique - Première année  
2019-2020

## Table des matières

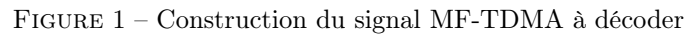
<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Construction du signal MF-TDMA à décoder</b>	<b>3</b>
2.1	Paramètres . . . . .	3
2.2	Etude théorique . . . . .	3
2.2.1	Calcul de la densité spectrale de puissance . . . . .	3
2.2.2	Expression de la puissance du bruit à ajouter . . . . .	4
2.3	Implantation . . . . .	5
2.3.1	Modulation bande base . . . . .	5
2.3.2	Construction du signal MF-TDMA . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Mise en place du récepteur MF-TDMA</b>	<b>13</b>
3.1	Démultiplexage des porteuses . . . . .	13
3.1.1	Synthèse du filtre passe-bas . . . . .	14
3.1.2	Synthèse du filtre passe-haut . . . . .	16
3.1.3	Filtrage . . . . .	19
3.2	Retour en bande de base . . . . .	21
3.3	Détection du slot utile . . . . .	23
3.4	Démodulation bande de base . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Références</b>	<b>23</b>

## Table des figures

1	Construction du signal MF-TDMA à décoder . . . . .	3
2	Tracé de $m_1$ . . . . .	5
3	Tracé de $m_2$ . . . . .	6
4	Tracé de DSP de $m_1$ . . . . .	7
5	Tracé de DSP de $m_2$ . . . . .	8
6	Tracé de $x_1$ . . . . .	9
7	Tracé de $x_2$ . . . . .	10
8	Tracé de $x$ . . . . .	11
9	Zoom sur le bruit de $x$ . . . . .	12
10	Tracé de DSP de $x$ . . . . .	13
11	Récepteur MF-TDMA à implanter . . . . .	13
12	Réponse impulsionnelle du filtre passe bas . . . . .	14
13	Réponse en fréquence du filtre passe bas . . . . .	15
14	DSP de $x$ et Filtre passe bas . . . . .	16
15	Réponse impulsionnelle du filtre passe haut . . . . .	17
16	Réponse en fréquence du filtre passe haut . . . . .	18
17	DSP de $x$ et Filtre passe haut . . . . .	19
18	Signal $x$ filtré avec le passe bas . . . . .	20
19	Signal $x$ filtré avec le passe haut . . . . .	21
20	Signal $x$ filtré avec le passe haut après retour en bande de base . . . . .	22
21	Signal $x$ filtré avec le passe bas après retour en bande de base . . . . .	23

L'objectif de ce projet était de simuler la transmission de deux messages par des utilisateurs différents sur un même canal de transmission. La solution retenue est la modulation en fréquence et le découpage temporel des messages. Dans ce but nous avons dû maîtriser la modulation en amplitude et le filtrage de signaux.

La figure 1 présente la trame MF-TDMA à étudier, implanter puis décoder.



La trame MF-TDMA est composée de 2 porteuses,  $f_{p_1} = 0$  kHz et  $f_{p_2} = 46$  kHz, contenant chacune 5 timeslots de durées  $T = 40$  ms. La fréquence d'échantillonnage est fixée à 128 kHz. Les deux utilisateurs vont accéder au système en utilisant la trame de la manière suivante :

- Le canal de transmission considéré sera à bruit additif blanc et Gaussien (canal AWGN : Additive White Gaussian Noise). La puissance du bruit à ajouter devra être déduite du rapport signal sur bruit (SNR : Signal to Noise Ratio) souhaité donné en dB.

Le signal MF-TDMA non bruité peut s'écrire de la manière suivante :

### 2.2.1 Calcul de la densité spectrale de puissance

or  $m_1$  et  $m_2$  sont indépendants et centrés donc les produits croisés sont d'espérance nulle

$$R_x(\tau) = R_{m_1}(\tau) + \frac{1}{2}R_{m_2}(\tau)\cos(2\pi f_{p_2}\tau)$$

Donc

$$S_x(f) = S_{m_1}(f) + \frac{1}{4}S_{m_2}(f) * (\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0))$$

b) cas où  $m_1$  et  $m_2$  sont déterministes à énergie finie.

$$S_x(f) = |X(f)|^2$$

$$S_x(f) = |M_1(f) + M_2(f) * \frac{1}{2}(\delta(f - f_0) + \delta(f + f_0))|^2$$

$$S_x(f) = |M_1(f) + \frac{1}{2}M_2(f - f_0) + \frac{1}{2}M_2(f + f_0)|^2$$

$$S_x(f) = S_{m_1}(f) + \frac{1}{4}S_{m_2}(f - f_0) + \frac{1}{4}S_{m_2}(f + f_0) + |M_1(f)| |M_2(f - f_0)| + |M_1(f)| |M_2(f + f_0)| \\ + |M_2(f - f_0)| |M_2(f + f_0)|$$

Or  $m_1$  et  $m_2$  occupent la bande de fréquence  $[-b; b]$ , donc  $M_1$  et  $M_2$  sont nulles en dehors de cet interval. Et quelque soit  $f$  on a  $f$  ou  $f - f_0$  qui est en dehors de cet interval, donc les termes croisés sont négligeables. Donc finalement :

$$S_x(f) = S_{m_1}(f) + \frac{1}{4}S_{m_2}(f - f_0) + \frac{1}{4}S_{m_2}(f + f_0)$$

### 2.2.2 Expression de la puissance du bruit à ajouter

$$SNR = 10 \log \frac{P_s}{P_b}$$

$$P_b = P_s 10^{\frac{-SNR}{10}}$$

## 2.3 Implantation

### 2.3.1 Modulation bande base

1. Calcul de  $N_s$  Nous savons que la durée maximale d'un slot est  $T=40\text{ms}$ . On connaît la durée d'un bit  $T_s=N_s \cdot T_e$ . En posant  $T=N \cdot T_s$  avec  $N$  le nombre de bits d'un signal, on obtient  $T=N \cdot N_s \cdot T_e$  et on détermine  $N_s=10$ .
2. Tracés des signaux  $m_1(t)$  et  $m_2(t)$

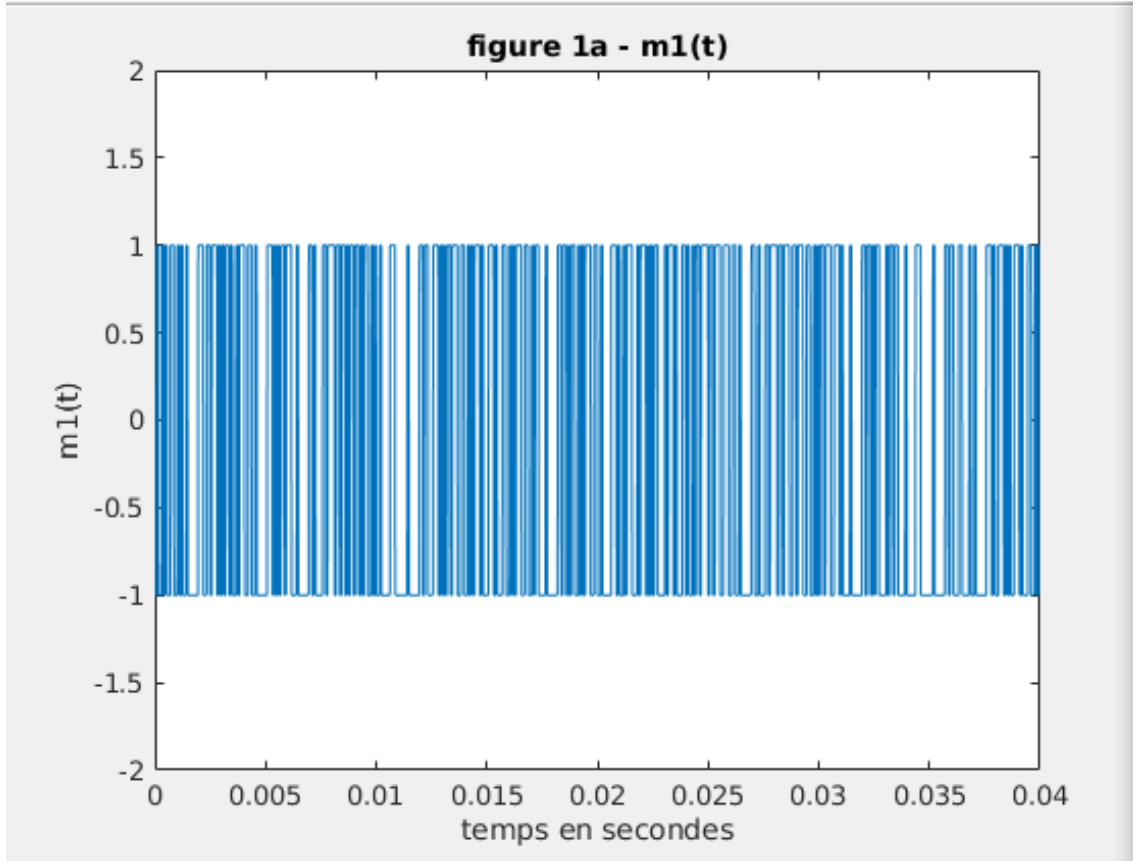


FIGURE 2 – Tracé de  $m_1$

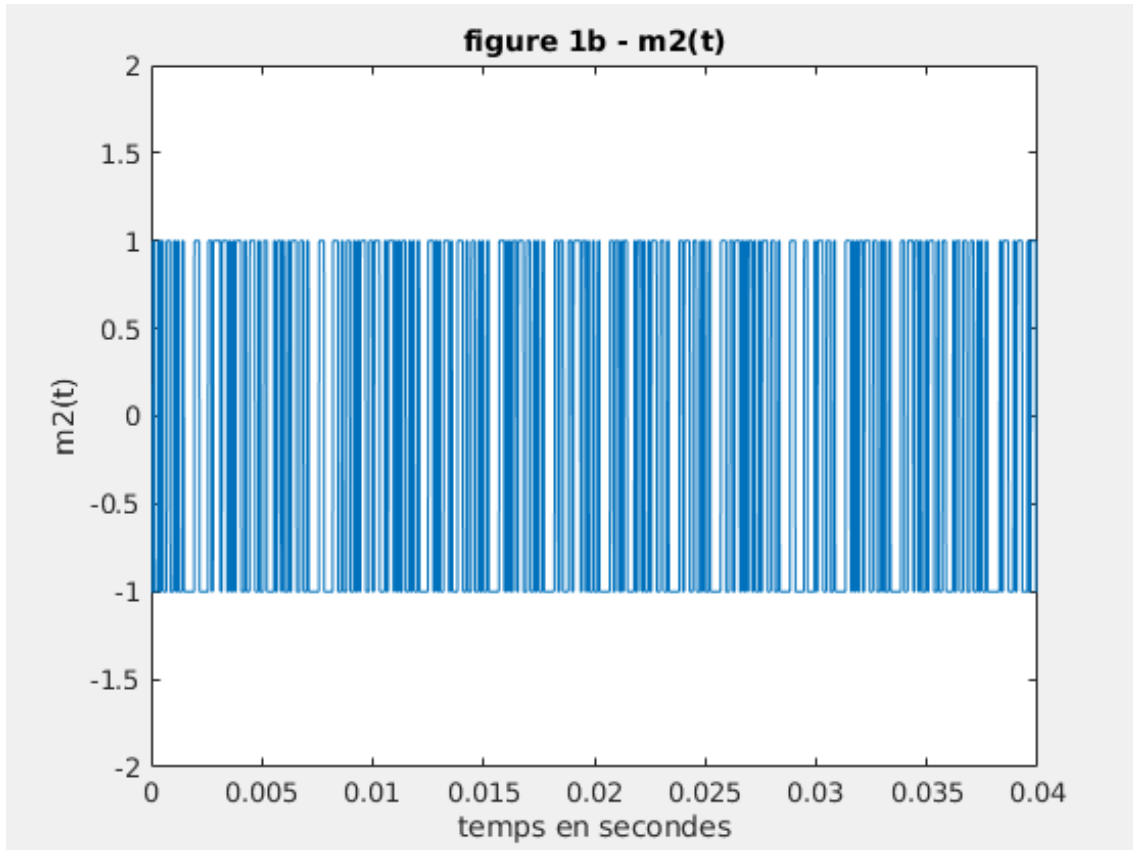


FIGURE 3 – Tracé de  $m_2$

3. Estimation et tracé des densités spectrales de puissance des signaux  $m_1(t)$  et  $m_2(t)$ . Concernant l'estimation on donnera notamment l'estimateur utilisé.

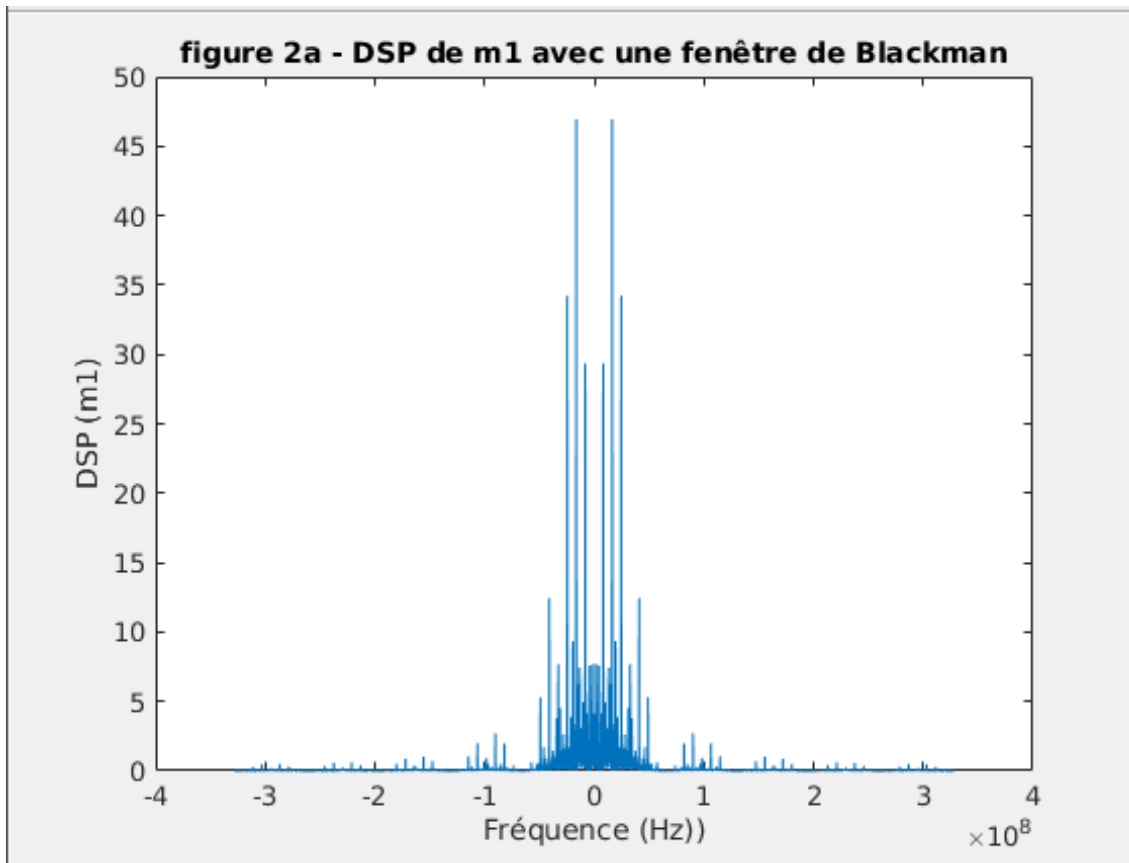


FIGURE 4 – Tracé de DSP de  $m_1$

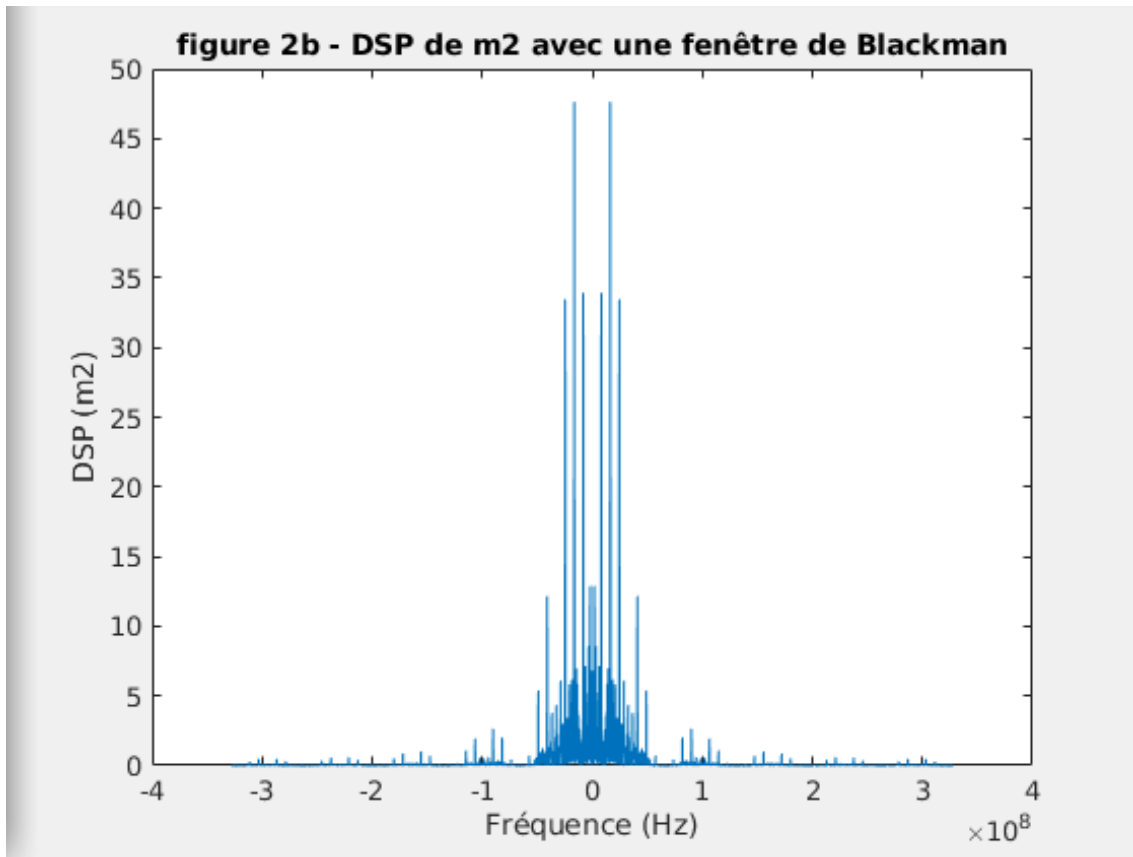


FIGURE 5 – Tracé de DSP de  $m_2$

L'estimateur utilisé est le périodogramme

### 2.3.2 Construction du signal MF-TDMA

1. Tracé des signaux à envoyer sur porteuse pour chaque utilisateur.



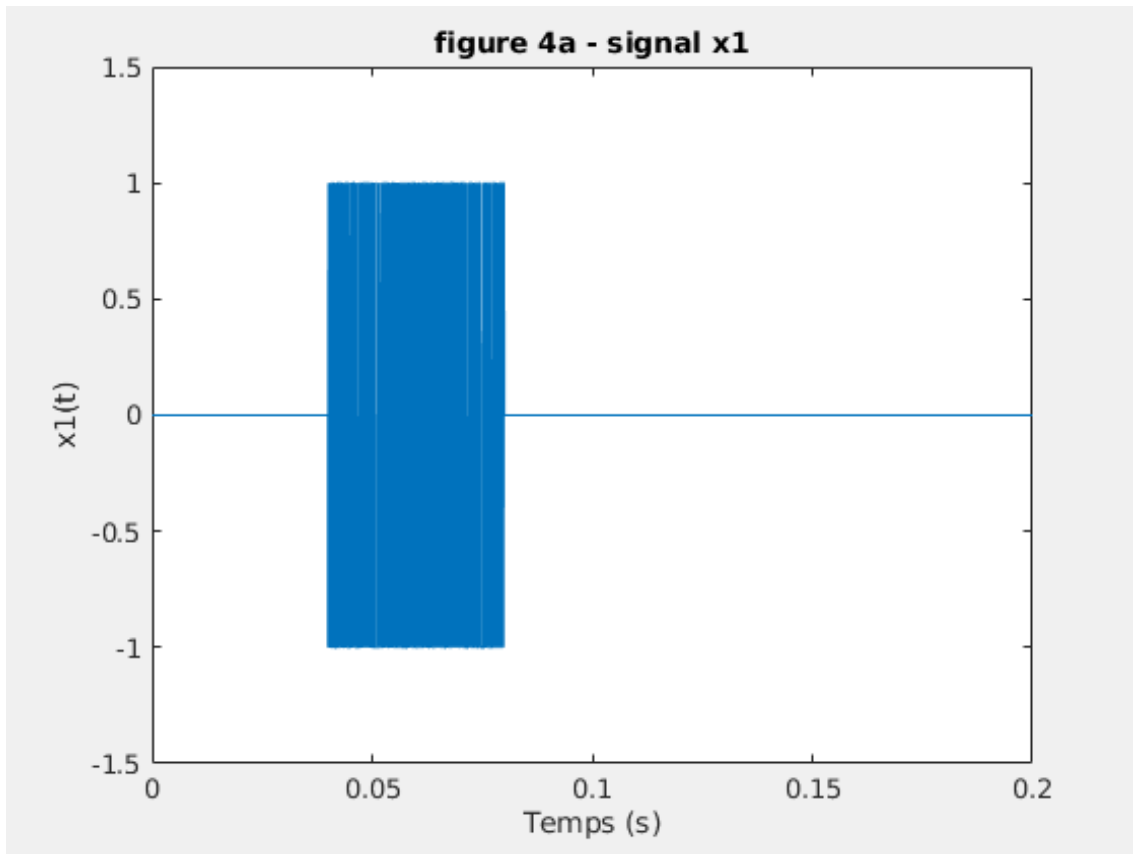


FIGURE 6 – Tracé de  $x_1$

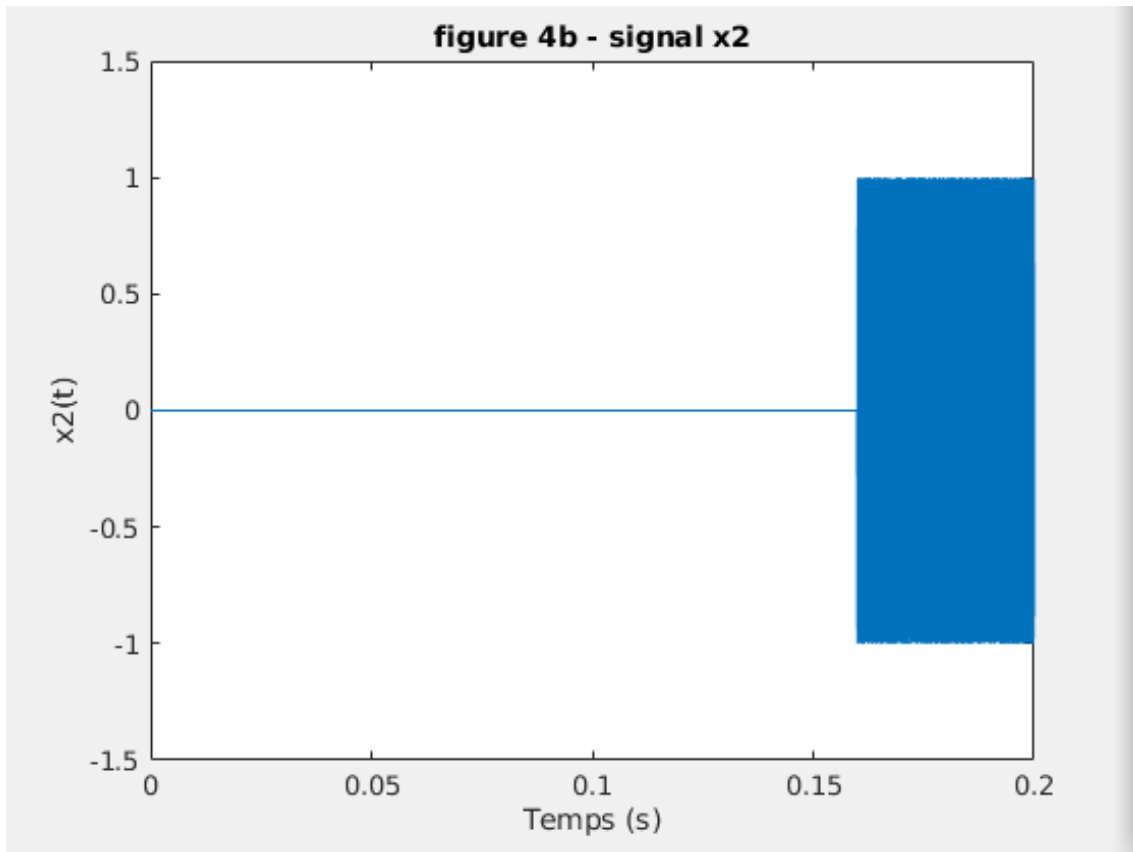


FIGURE 7 – Tracé de  $x_2$

2. Tracé du signal MF-TDMA. Le tracé observé est-il conforme à ce qui est attendu ? Explications.

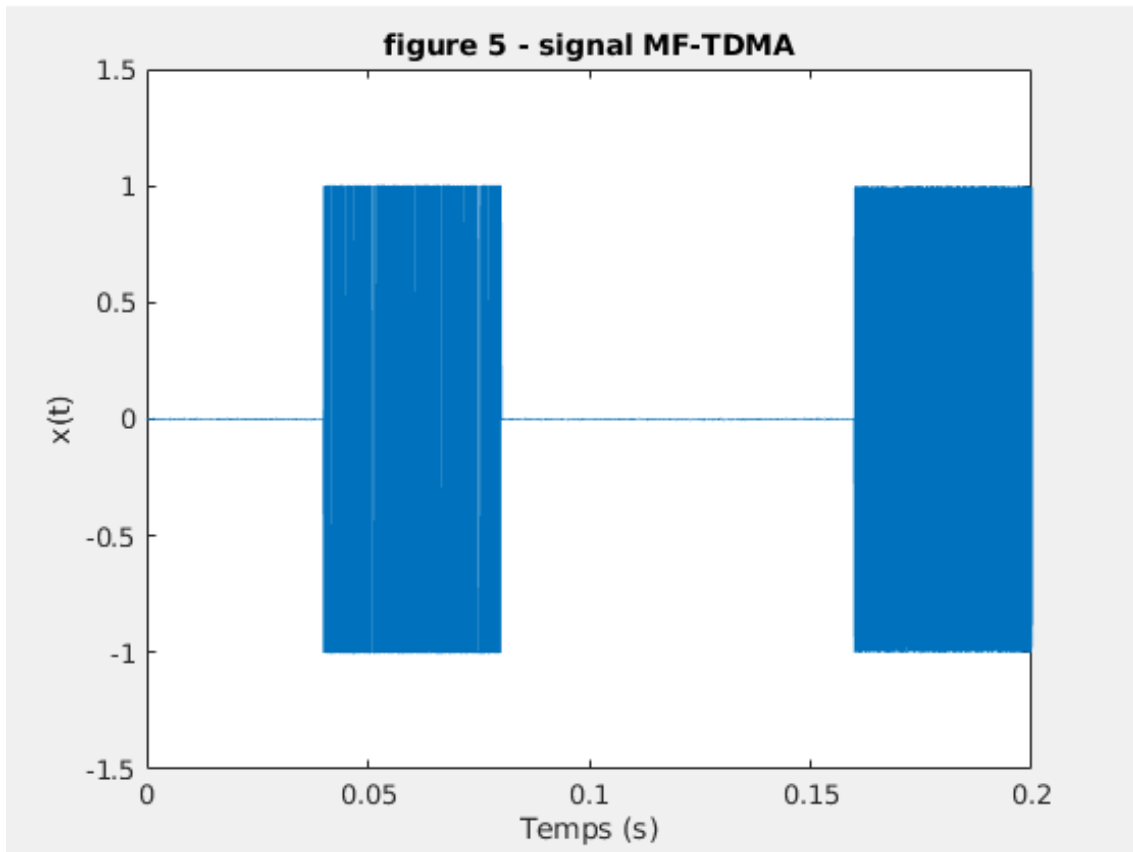


FIGURE 8 – Tracé de x

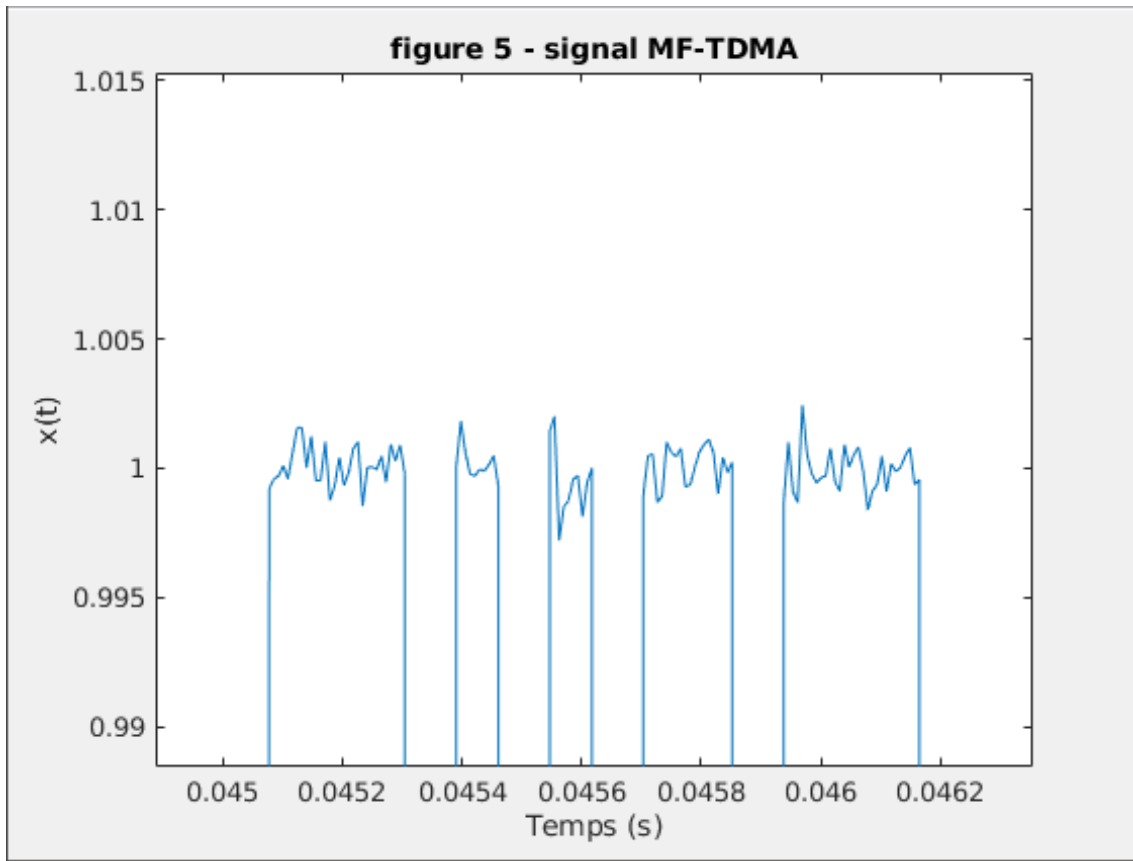


FIGURE 9 – Zoom sur le bruit de x

En zoomant sur la figure, on peut voir que le signal est bien bruité. En effet le signal  $x_1$  et  $x_2$  comportent de fortes irrégularités lorsqu'ils ont été bruités comparés à leur signal sans bruitage. Cela est conforme à nos attentes.

3. Estimation puis tracé de la densité spectrale de puissance du signal MF-TDMA. Le tracé observé est-il conforme à l'expression théorique obtenue précédemment ? Explications.

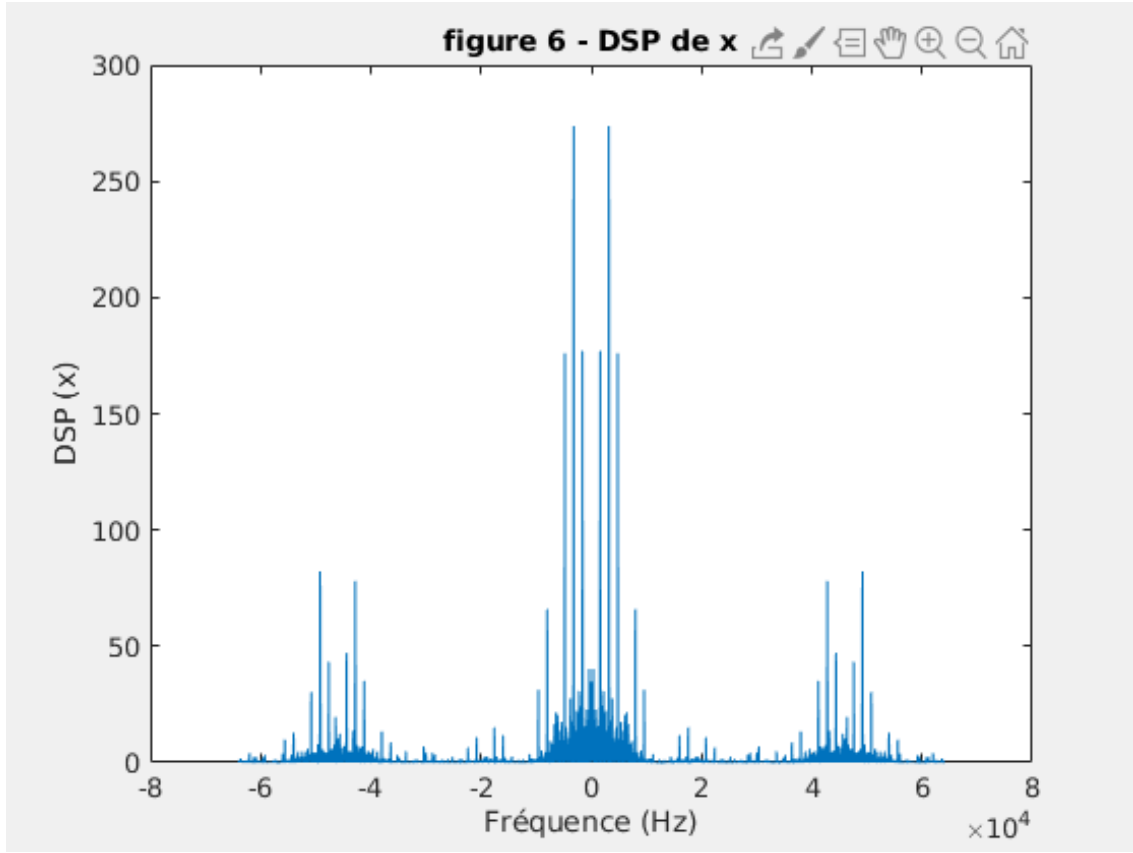


FIGURE 10 – Tracé de DSP de x

On retrouve bien la DSP de  $x_1$  en 0 et celle de  $x_2$  en  $-f_0$  et  $f_0$ . De plus on constate que l'amplitude des DSP de  $x_2$  sont bien diminuées comme on l'attend au vu de l'expression théorique établie en 2.2.1 d'un facteur environ  $\frac{1}{4}$ .

### 3 Mise en place du récepteur MF-TDMA

La figure 11 présente le récepteur à implanter pour retrouver, à partir du signal MF-TDMA bruité, les messages binaires envoyés par les deux utilisateurs.

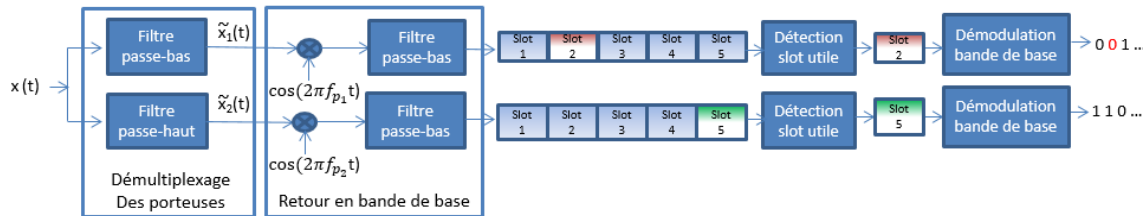


FIGURE 11 – Récepteur MF-TDMA à implanter

#### 3.1 Démultiplexage des porteuses

Le démultiplexage des porteuses se fait par filtrage : à partir du signal MF-TDMA reçu, un filtre passe-bas permet de récupérer le signal porté par le cosinus à la fréquence  $f_{p1}$  (provenant de

l'utilisateur 1), tandis qu'un filtre passe-haut permet de récupérer le signal porté par le cosinus à la fréquence  $f_{p_2}$  (provenant de l'utilisateur 2).

### 3.1.1 Synthèse du filtre passe-bas

1. Rappel de la réponse impulsionnelle idéale du filtre passe-bas à implanter (calcul effectué dans le TP2) :  
Nous voulons une fenêtre en fréquence, donc la réponse impulsionnelle idéale est une sinus cardinal.
2. Explications implémentation :  
On fixe un ordre de 30 dans notre cas, et on calcule la fenêtre à partir de la DFT du sinus cardinal tronqué entre  $-\text{ordre}T_e$  et  $\text{ordre}T_e$  et échantillonné avec un pas de  $T_e$ .
3. Tracé de la réponse impulsionnelle et de la réponse en fréquence du filtre implanté :

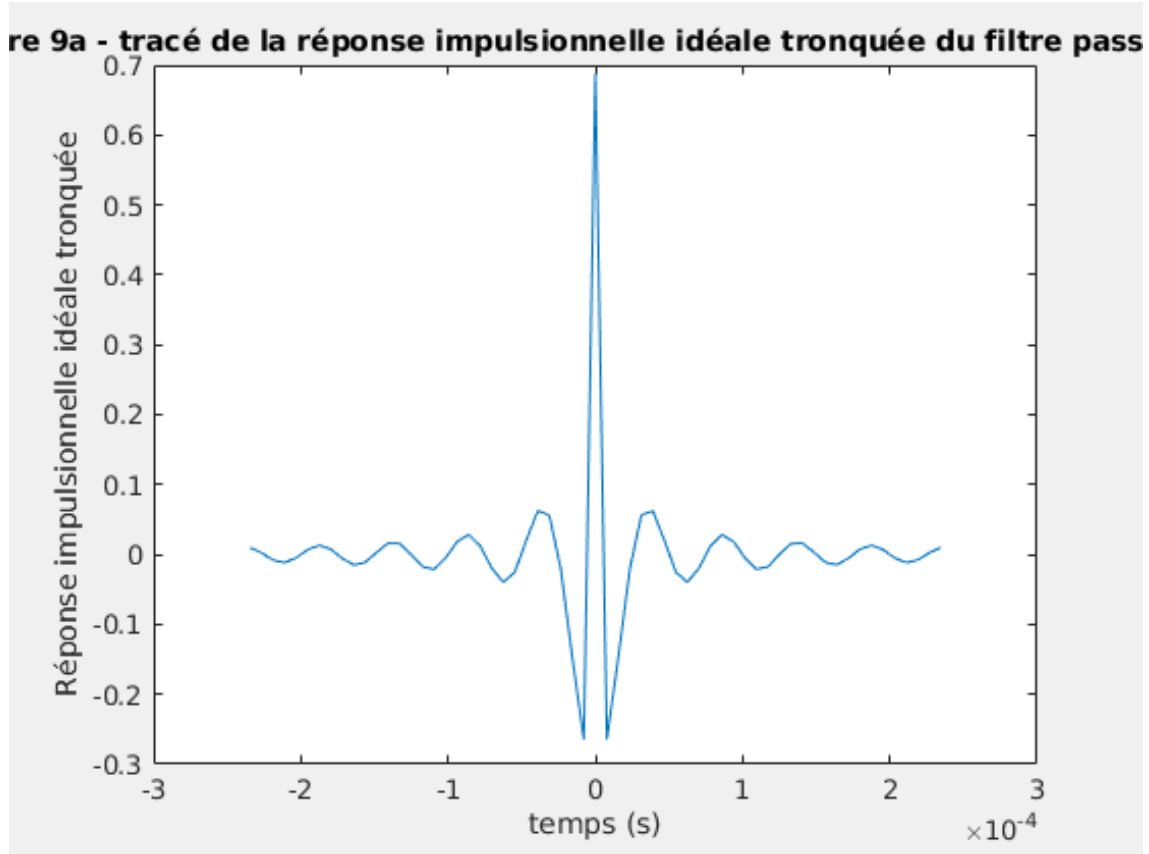


FIGURE 12 – Réponse impulsionnelle du filtre passe bas

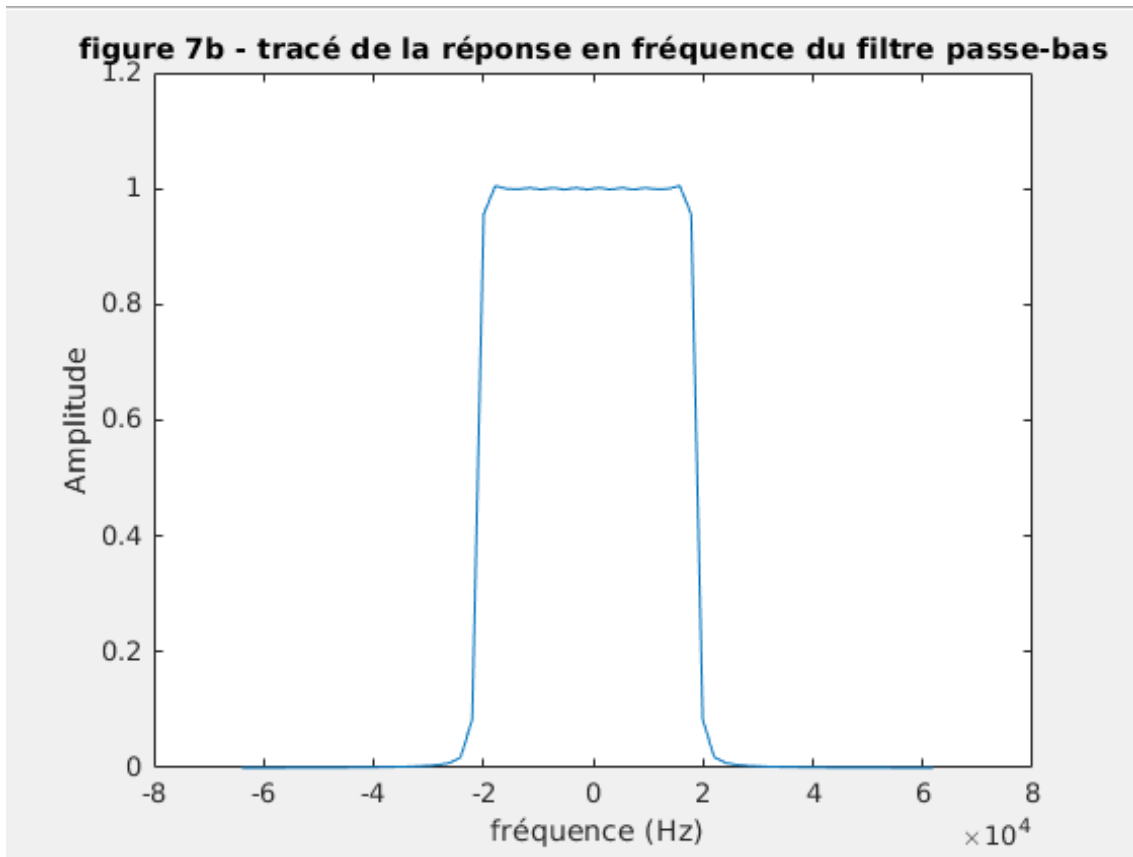


FIGURE 13 – Réponse en fréquence du filtre passe bas

4. Tracé de la densité spectrale de puissance du signal MF-TDMA reçu et du module de la réponse en fréquences du filtre implanté. Le filtre implanté vous paraît-il réaliser la fonction souhaitée ? Explications :

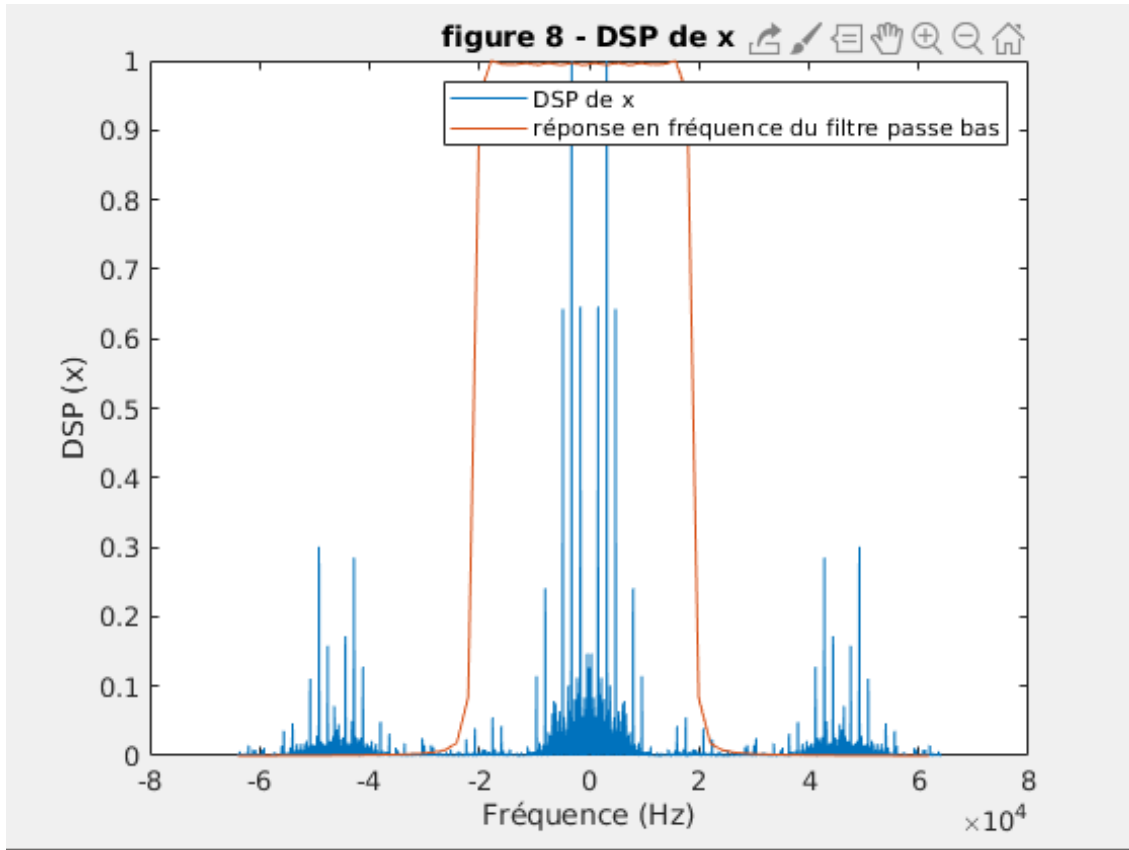


FIGURE 14 – DSP de x et Filtre passe bas

La fréquence de coupure a été choisi à 20 kHz en se basant sur la DSP de x. Le filtre remplit bien sa fonction car il conserve la partie centrale du spectre, c'est à dire le signal du message émis par l'utilisateur 1, tout en rejetant celui émis par l'utilisateur 2.

### 3.1.2 Synthèse du filtre passe-haut

Bla bla bla ...

1. Calcul de la réponse impulsionnelle idéale du filtre passe-haut à implanter :  

$$h_2(t) = \delta(t) - h_1(t)$$
2. Explications implémentation :  
 Concernant le dirac, nous avons implémenté un dirac en numérique. C'est à dire un tableau de points nul, sauf en  $\frac{\text{length}(h_1)}{2}$  qui vaut 1.
3. Tracé de la réponse impulsionnelle et de la réponse en fréquence du filtre implanté :



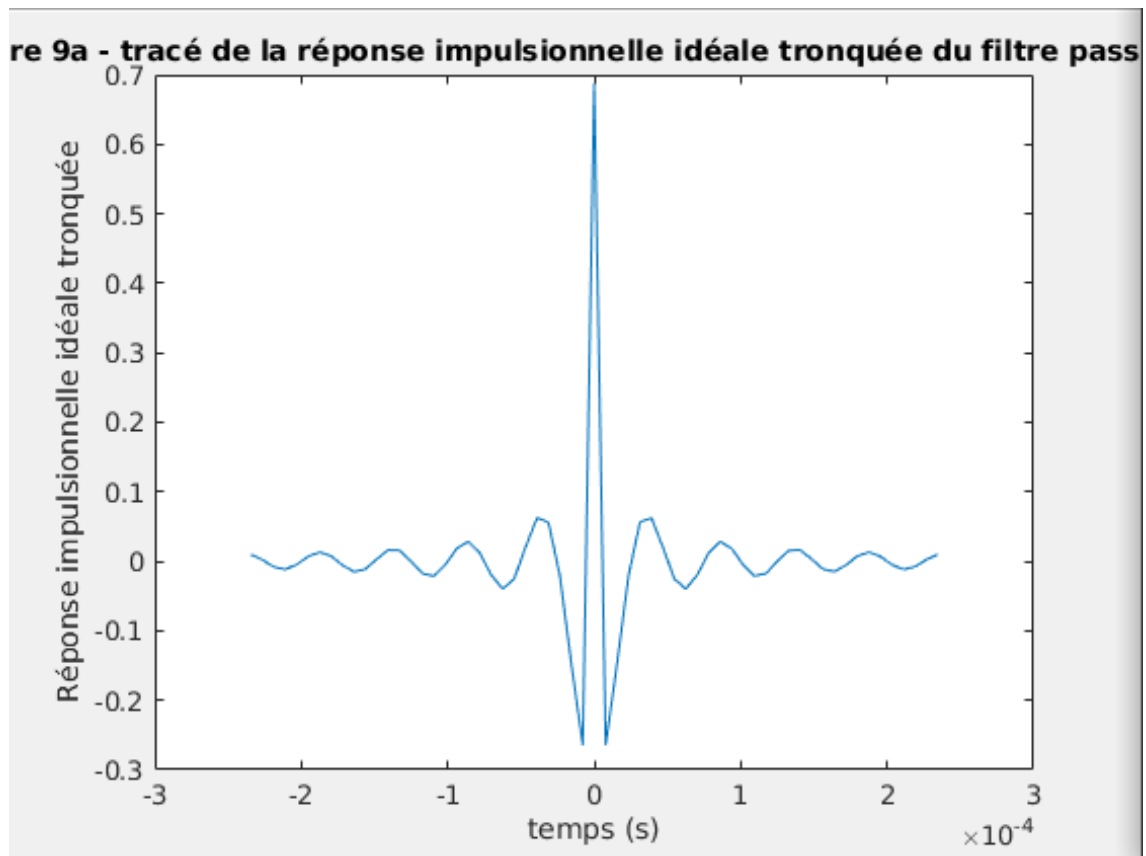


FIGURE 15 – Réponse impulsionnelle du filtre passe haut

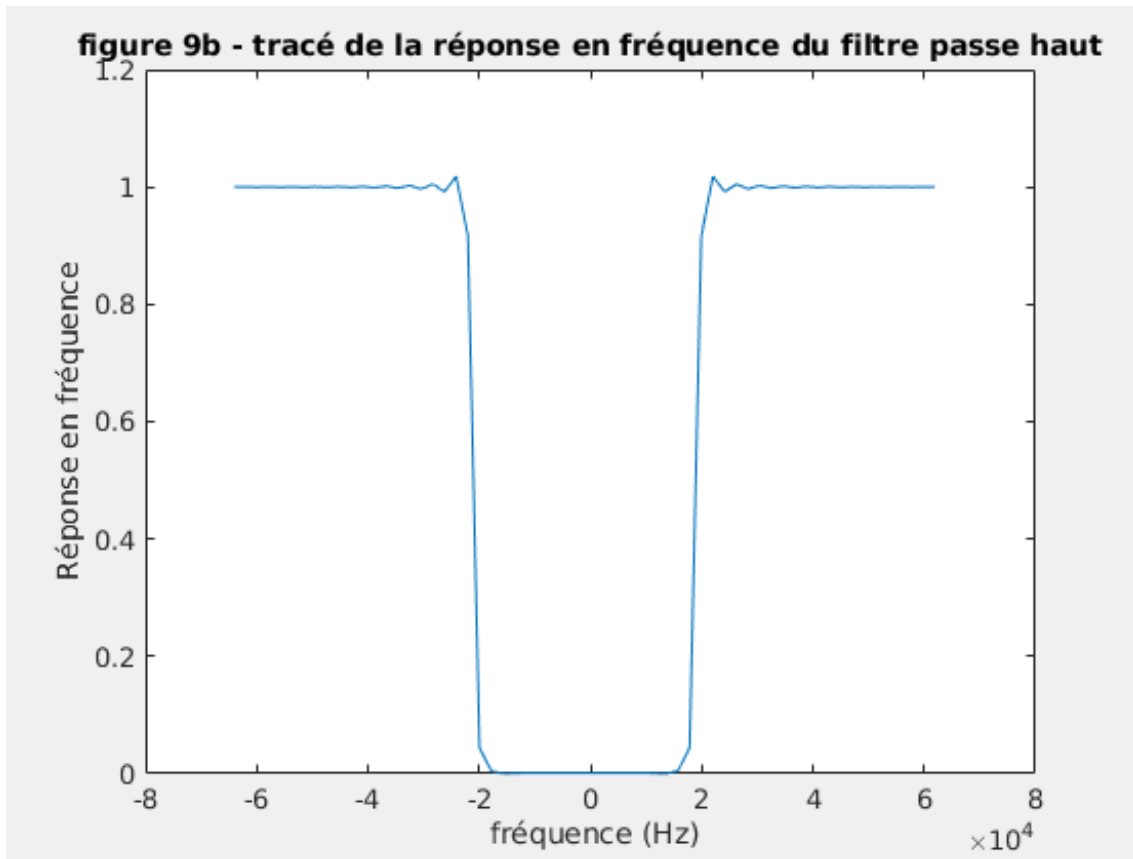


FIGURE 16 – Réponse en fréquence du filtre passe haut

4. Tracé de la densité spectrale de puissance du signal MF-TDMA reçu et du module de la réponse en fréquences du filtre implanté. Le filtre implanté vous paraît-il réaliser la fonction souhaitée ? Explications :

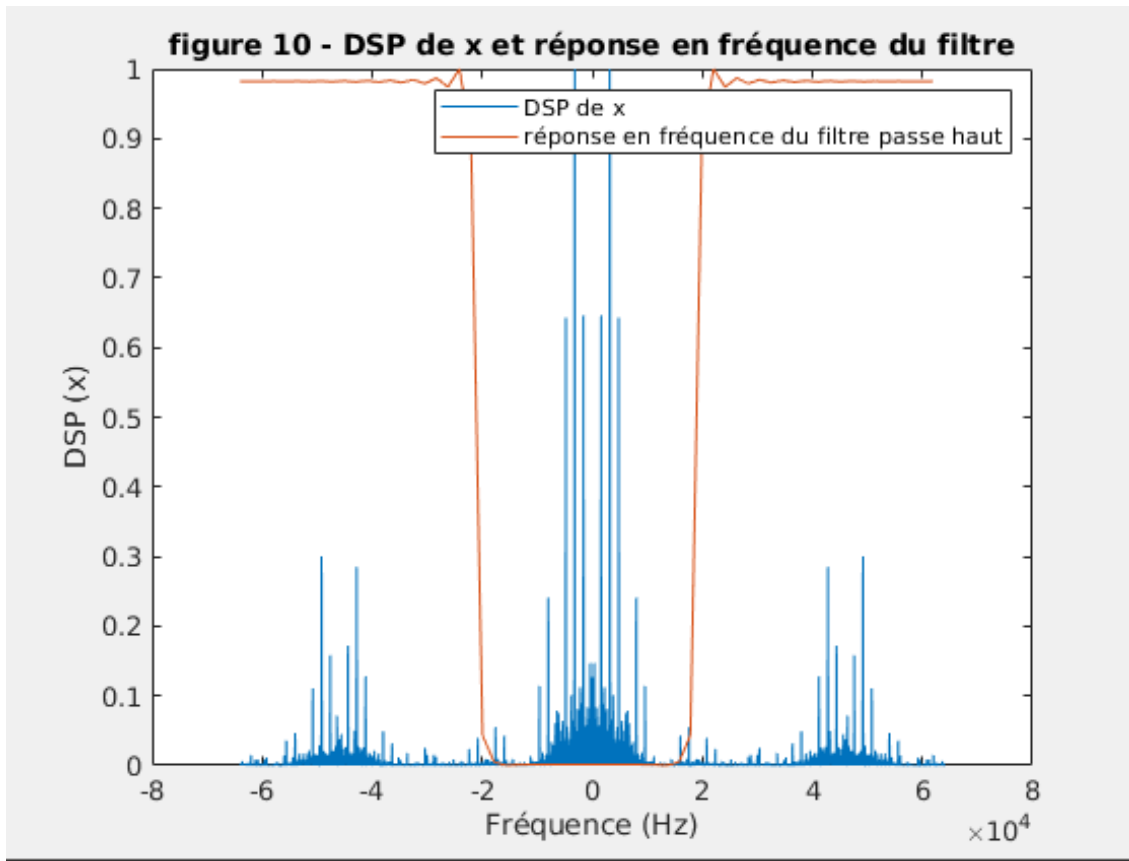


FIGURE 17 – DSP de x et Filtre passe haut

Le filtre remplit bien sa fonction car il rejette la partie centrale du spectre, c'est à dire le signal du message émis par l'utilisateur 1, tout en conservant celui émis par l'utilisateur 2.

### 3.1.3 Filtrage

Tracés des signaux après filtrage :

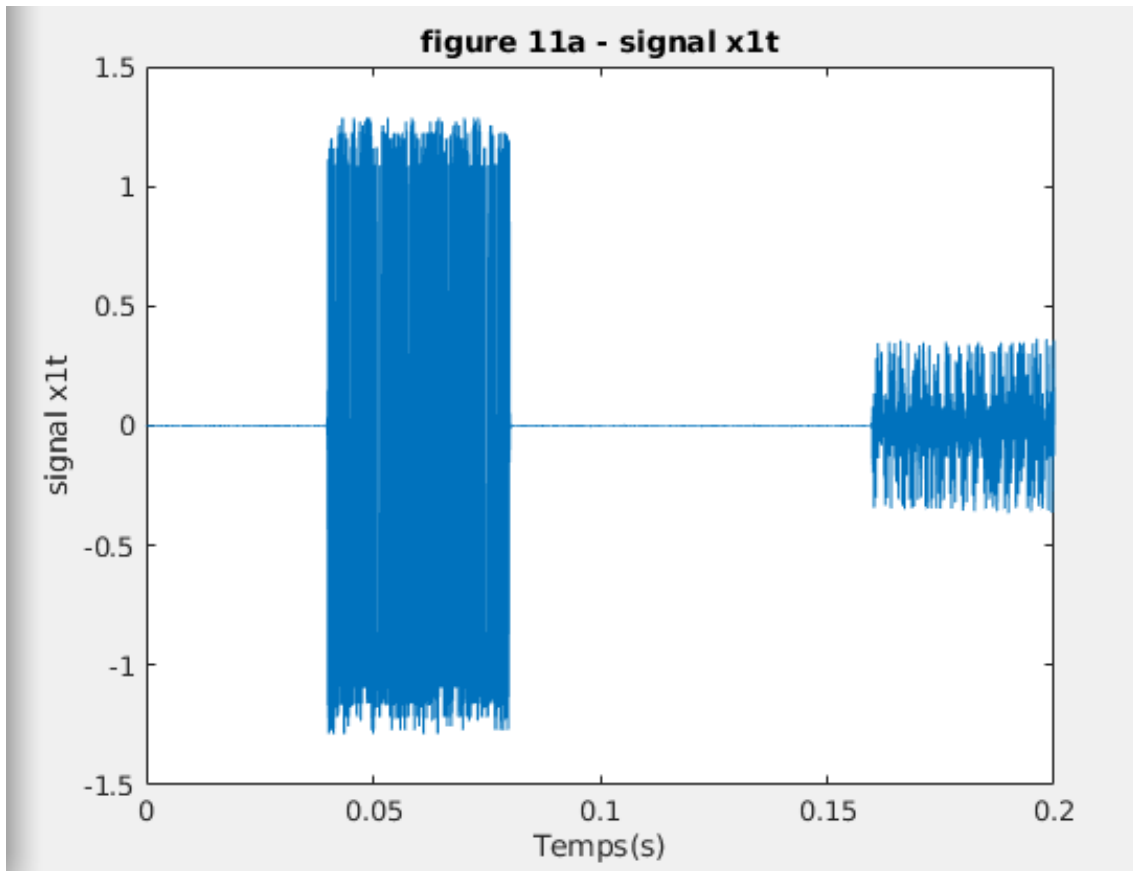


FIGURE 18 – Signal x filtré avec le passe bas

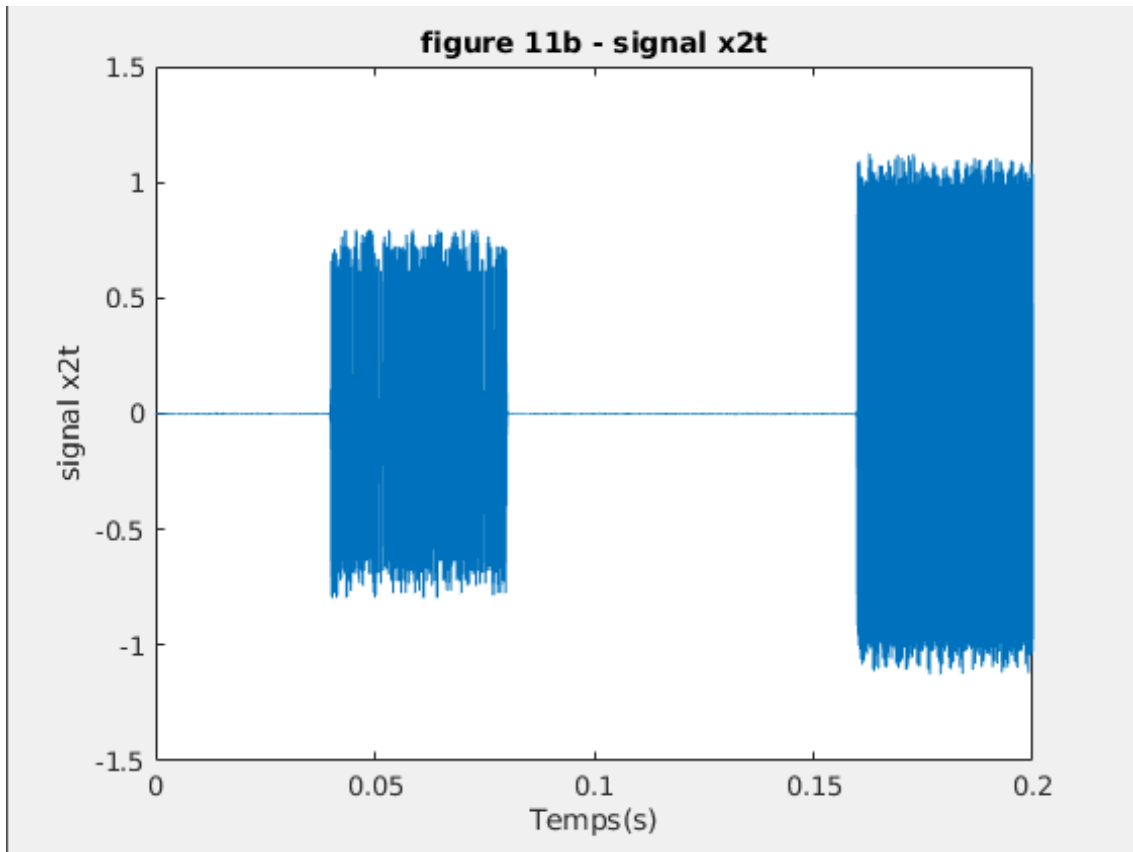


FIGURE 19 – Signal x filtré avec le passe haut

### 3.2 Retour en bande de base

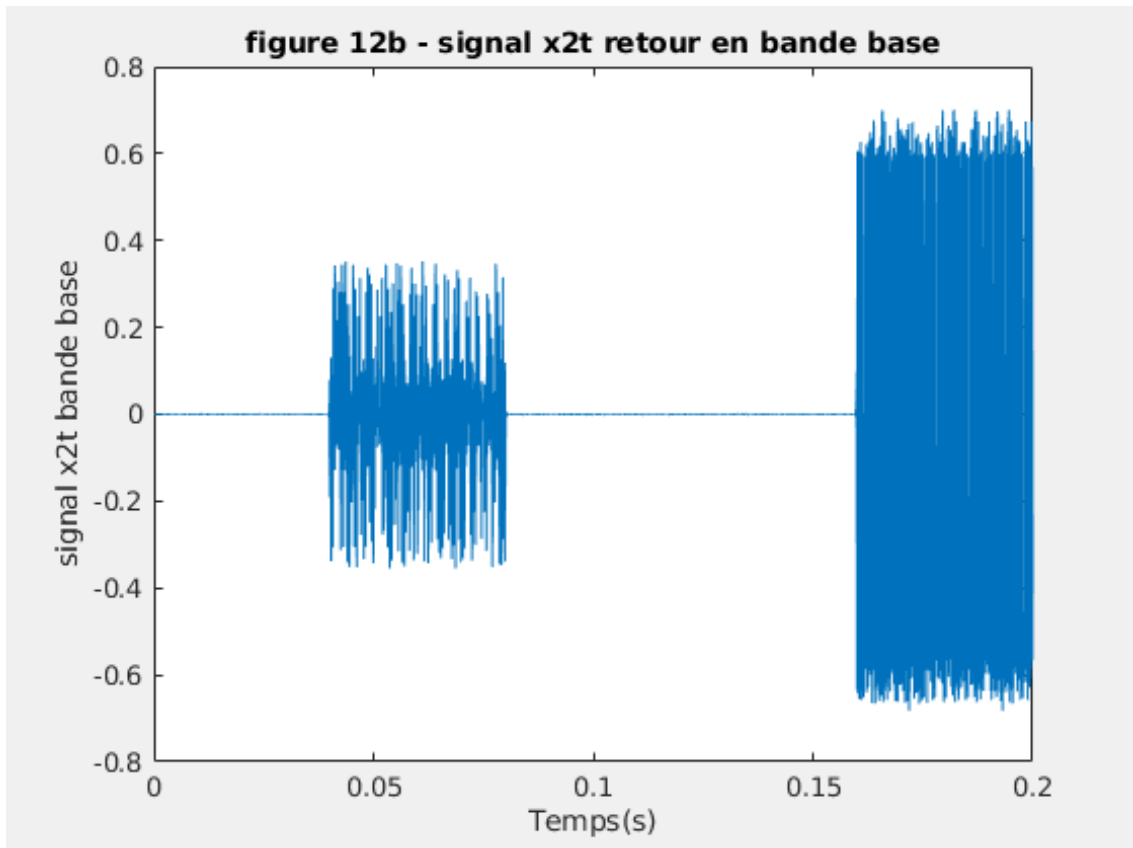


FIGURE 20 – Signal x filtré avec le passe haut après retour en bande de base

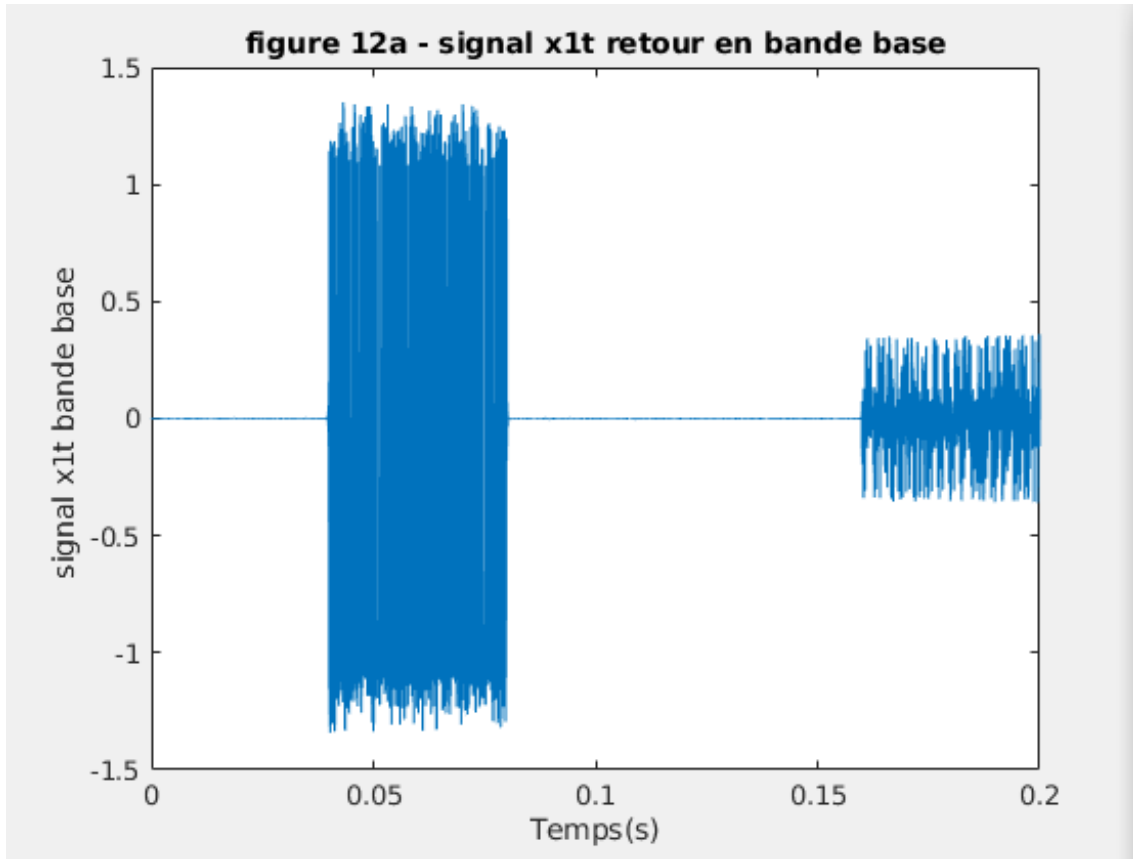


FIGURE 21 – Signal  $x$  filtré avec le passe bas après retour en bande de base

### 3.3 Détection du slot utile

Pour chaque utilisateur, afin de procéder à la détection du slot utile, on divise la trame après retour en bande de base en tranches de durée  $T = 40$  ms. Afin de détecter le slot utile, on utilise un détecteur d'énergie

### 3.4 Démodulation bande de base

Pour chaque utilisateur, à partir du message retrouvé dans le slot utile, on réalise une démodulation bande de base qui permet de retrouver les messages binaires envoyés. On utilise ensuite la fonction *bin2str.m* fournie afin de retrouver les messages texte ... Bla bla bla bla bla...

## 4 Conclusion

Nous avons pu vérifier nos résultats expérimentaux à l'aide de l'étude théorique. Le choix de la fréquence de coupure pour les filtres est cohérent puisque nous obtenons bien les deux messages voulu et non brouillés. Donc le multiplexage en fréquence et temporel est efficace pour l'utilisation d'une même canal de propagation par plusieurs usagers.

## 5 Références

$\phi$