

Simulation d'un émetteur / récepteur ADS-B

HELIOT Martin

HANNIER Cyril

Table des matières

1	Tâche 1	2
1.1	Sous-tâche 1	2
1.2	Sous-tâche 4	3
1.3	Sous-tâche 5	5
1.4	Sous-tâche 6	5
2	Tâche 2	6
2.1	Sous-tâche 1	6
2.2	Sous-tâche 2	6
2.3	Sous-tâche 3	6
2.4	Sous-tâche 4	6
2.5	Sous-tâche 5	7
3	Tâche 3	8
3.1	Sous-tâche 4	8
4	Tâche 4	8
4.1	Sous-tâche 1	8
4.2	Sous-tâche 2	8
4.3	Sous-tâche 3	9
4.4	Sous-tâche 4-5	9
4.5	Sous-tâche 6	11
5	Tâche 5	11
6	Tâche 6	12
6.1	Sous-tâche 1	12
7	Tâche 7	13
7.1	Sous-tâche 3	13
8	Tâche 8	13
9	Tâche 9	15

1 Tâche 1

1.1 Sous-tâche 1

on distingue 2 cas :

▷ Si le bit X est un 0, alors A_k vaut 1.

$$s_l(t) = 0.5 + \sum_{k \in \mathbb{Z}} p(t - kT_s)$$

(avec t entre XT_s et $T_s + XT_s$)

$$\Longleftrightarrow$$

$$s_l(t) = 0.5 + (-0.5) = 0$$

(avec t entre XT_s et $T_s + 0.5 * XT_s$)

$$s_l(t) = 0.5 + 0.5 = 1$$

(avec t entre $T_s + 0.5 * XT_s$ et $T_s + XT_s$)

on reconnait effectivement la fonction $p_0(t)$ avec t entre XT_s et $T_s + XT_s$

▷ Si le bit X est un 1, alors A_k vaut -1.

$$s_l(t) = 0.5 + \sum_{k \in \mathbb{Z}} -p(t - kT_s)$$

(avec t entre XT_s et $T_s + XT_s$)

$$\Longleftrightarrow$$

$$s_l(t) = 0.5 - (-0.5) = 1$$

(avec t entre XT_s et $T_s + 0.5 * XT_s$)

$$s_l(t) = 0.5 - 0.5 = 0$$

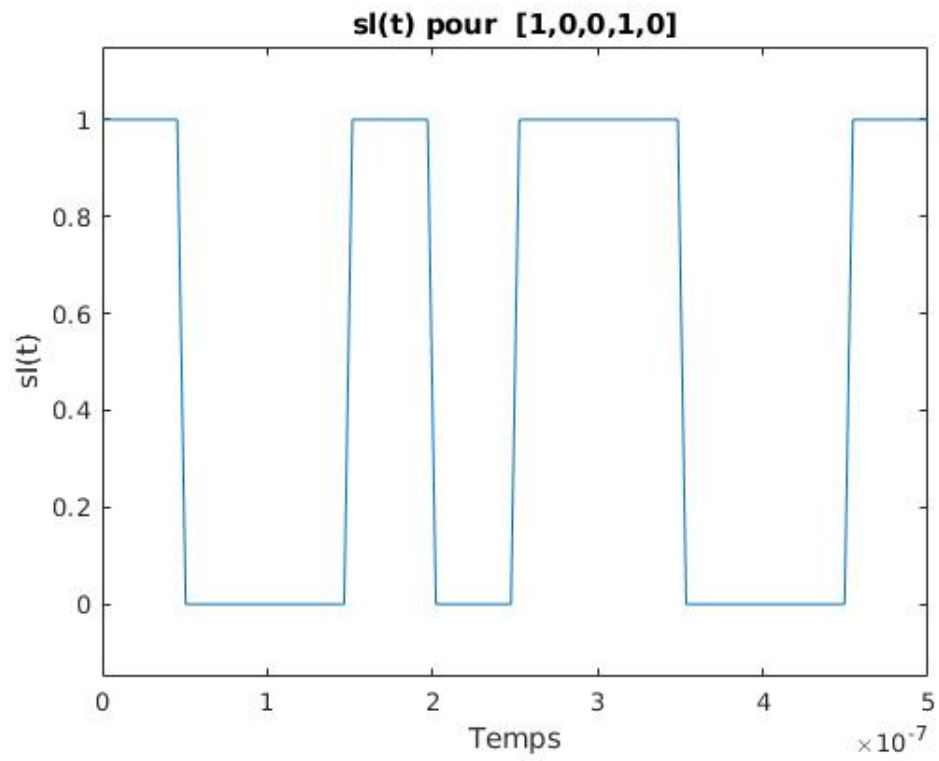
(avec t entre $T_s + 0.5 * XT_s$ et $T_s + XT_s$)

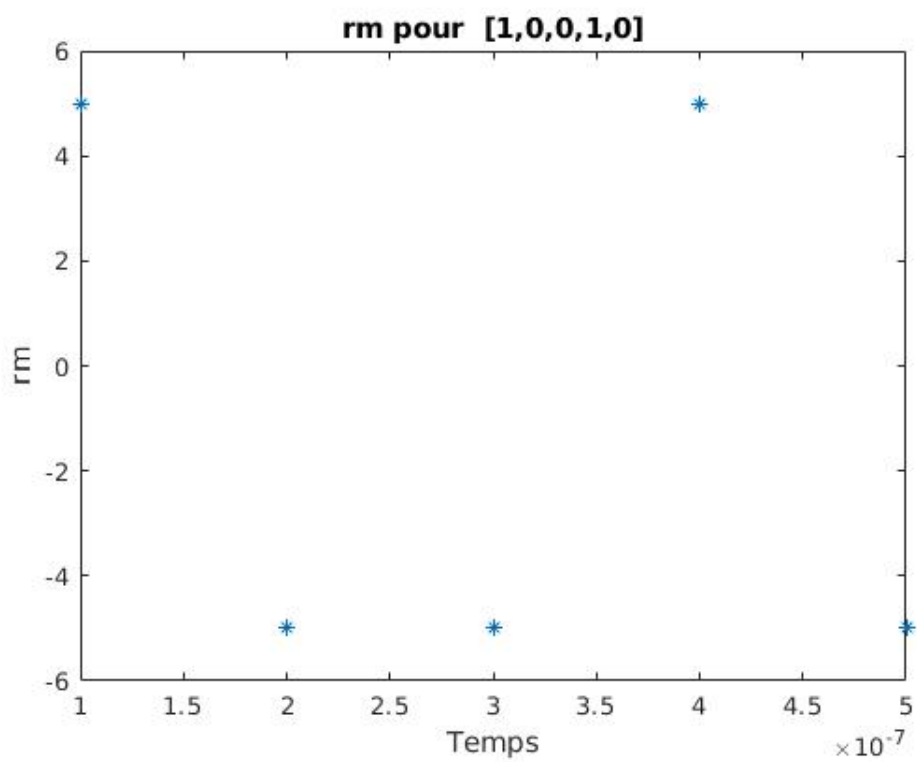
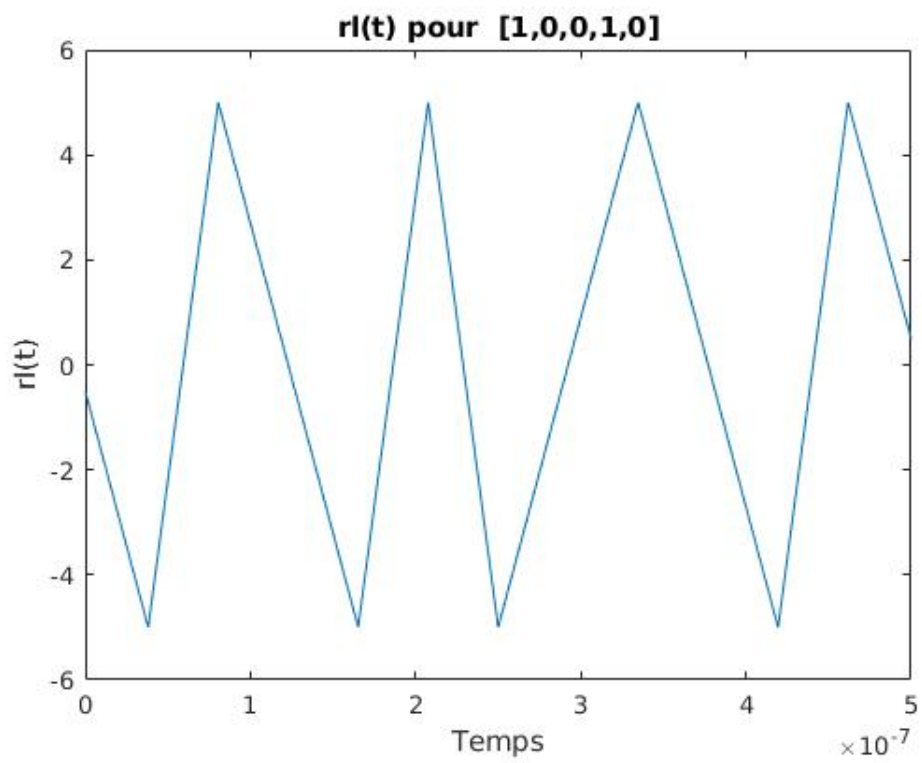
on reconnait effectivement la fonction $p_1(t)$ avec t entre XT_s et $T_s + XT_s$
En se ramenant au cas général, on a donc en effet :

$$s_l(t) = 0.5 + \sum_{k \in \mathbb{Z}} A_k p(t - kT_s) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} p_{bk}(t - kT_s)$$

1.2 Sous-tâche 4

Après tracé, nous obtenons pour $s_l(t)$, $r_l(t)$ et r_m :





1.3 Sous-tâche 5

En supposant que les b_k sont indépendants et distribués uniformément, on peut écrire :

$$P_b = \text{Proba}(\text{choisir } 1 \mid 0 \text{ envoyé}) + \text{Proba}(\text{choisir } 0 \mid 1 \text{ envoyé})$$

Le bruit après le filtre de mise en forme s'exprime comme une somme de signaux gaussien :

$$nl'(n) \sim N(0, \sigma_{nl}^2 R_g(0))$$

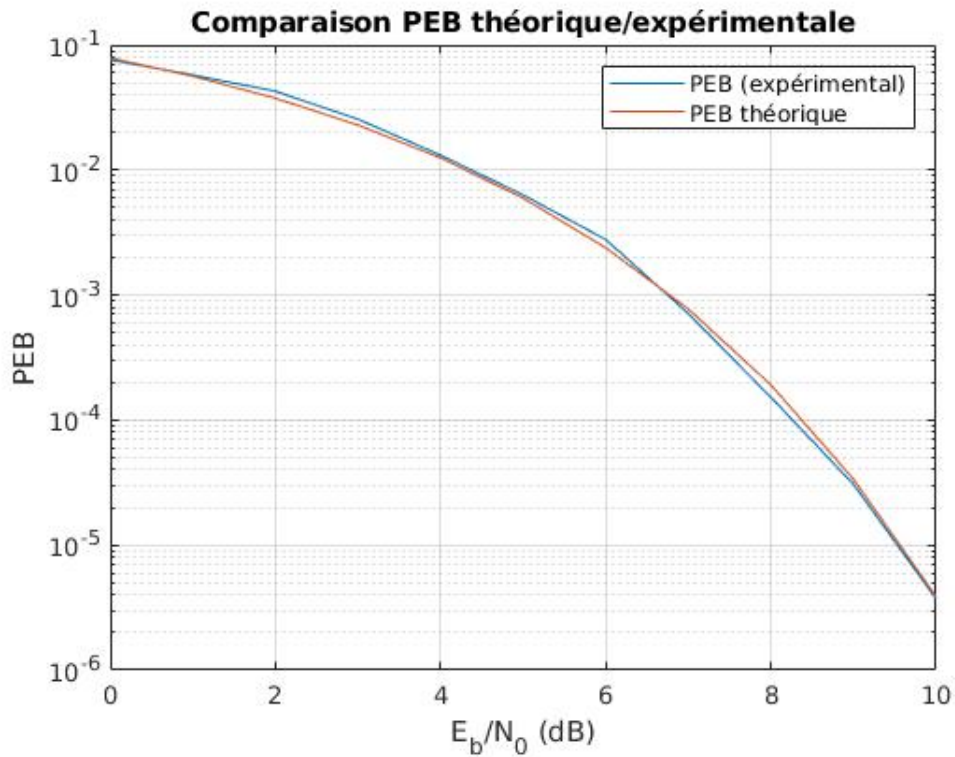
avec $R_g(0)$ l'autocorrélation du filtre

on place le seuil décisionnel à mi-distance entre les deux valeurs de décision des 0 et 1 sur l'axe de rm. La probabilité d'erreur binaire est donc la somme de 2 queues de gaussiennes identiques. ce qui donne :

$$P_b = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

1.4 Sous-tâche 6

Voici une représentation de la PEB théorique ainsi que de la PEB expérimentale. On remarque que les deux courbes sont quasiment alignées.



2 Tâche 2

2.1 Sous-tâche 1

$$mls(t) = E(sl(t)) = E(0.5 + \sum_{k \in Z} A_k p(t - kTs)) = 0.5$$

$$\text{car } E(p(t - kTs)) = 0$$

2.2 Sous-tâche 2

$$\begin{aligned} Rsl(t, \tau) &= E(sl(t)sl(t + \tau)) = E((0.5 + \sum_{k \in Z} A_k p(t - kTs))(0.5 + \sum_{k \in Z} A_k p(t - kTs + \tau)) = \\ &= 0.25 + E(\sum_{k \in Z} \sum_{k' \in Z} A_k A_{k'} p(t - kTs) p(t - k'Ts + \tau)) \end{aligned}$$

2.3 Sous-tâche 3

$$\begin{aligned} Rsl(t, \tau) &= \frac{1}{Ts} * \int_0^{Ts} Rl(t, \tau) dt = \frac{1}{Ts} * \int_0^{Ts} 0.25 + E(\sum_{k \in Z} \sum_{k' \in Z} A_k A_{k'} p(t - kTs) p(t - k'Ts + \tau)) \\ &= 0.25 + \frac{1}{Ts} \sum_{k \in Z} \sum_{k' \in Z} \int_0^{Ts} R_A(k - k') p(t - kTs) p(t - k'Ts + \tau) dt \end{aligned}$$

on pose : $k = k' - l$, ce qui donne :

$$Rsl(\tau) = 0.25 + \frac{1}{Ts} \sum_{k \in Z} \sum_{l \in Z} R_A(l) \int_0^{Ts} R_A(l) p(t - (k' - l)Ts) p(t - k'Ts + \tau) dt$$

on pose $v = t - (k' - l)Ts$, d'où :

$$\begin{aligned} Rsl(\tau) &= 0.25 + \frac{1}{Ts} \sum_{l \in Z} \sum_{k' \in Z} R_A(l) \int_{(l - k')Ts}^{(l - k' + 1)Ts} p(v) p(v + \tau - lTs) dv = \\ &= 0.25 + \frac{1}{Ts} \sum_{l \in Z} \int_R p(v) p(v + \tau - lTs) dv = 0.25 + \frac{1}{Ts} \sum_{l \in Z} R_A(l) R_p(\tau - lTs) \end{aligned}$$

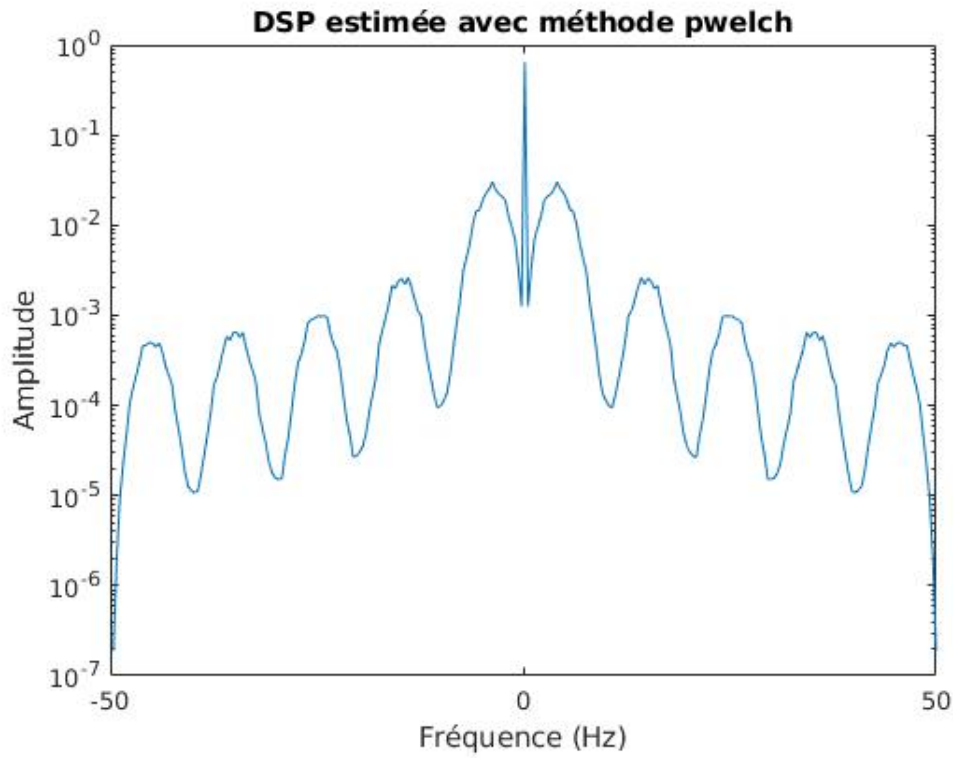
avec R_p la fonction d'auto-corrélation du filtre de mise en forme

2.4 Sous-tâche 4

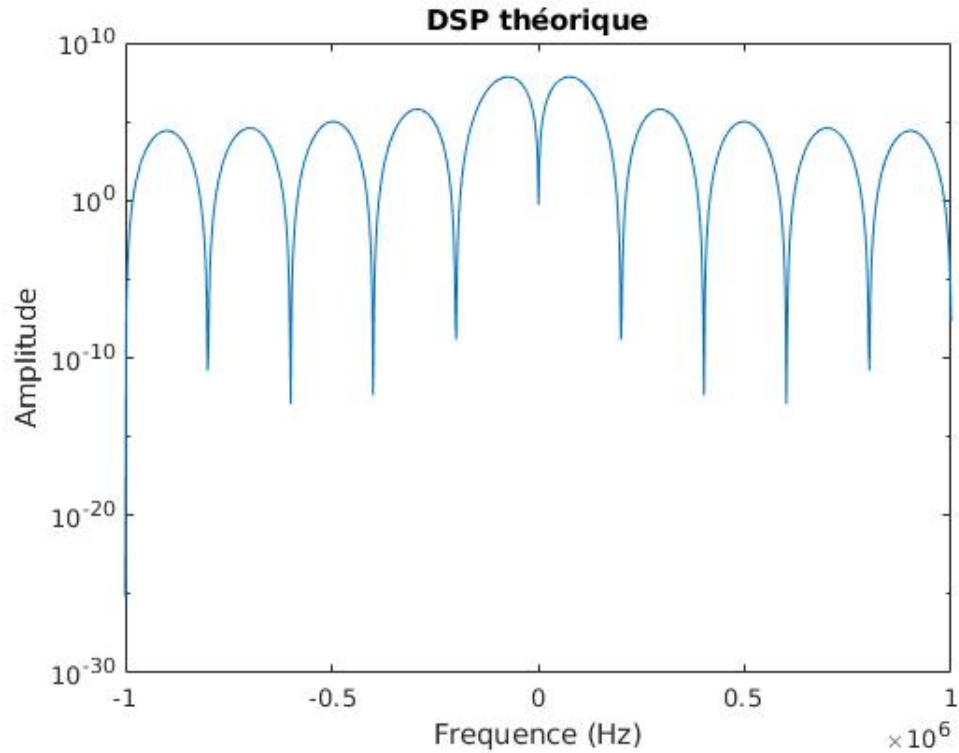
$$\begin{aligned} \Gamma_s l(f) &= TF(0.25 + \frac{1}{Ts} \sum_{l \in Z} R_A(l) R_p(\tau - lTs)) = 0.25\delta(f) + \frac{1}{Ts} \sum_{l \in Z} R_A(l) TF(R_p(\tau - lTs)) = 0.25\delta(f) + \frac{1}{Ts} \sum_{l \in Z} R_A(l) e^{-j2\pi f lTs} \\ &= 0.25\delta(f) + \frac{|G(f)|^2}{Ts} \sum_{l \in Z} R_A(l) e^{-j2\pi f lTs} \end{aligned}$$

2.5 Sous-tâche 5

Avec l'algorithme de Welch, nous avons déterminé la DSP :



Pour déterminer la théorique, nous avons utilisé la formule précédente, mais nous n'avons pas réussi à trouver une dsp qui correspond à celle déterminé précédemment. Après comparaison de la dsp expérimentale avec la dsp que vous nous avez fourni en guise de test, nous avons conclu que l'erreur était chez la dsp théorique :



3 Tâche 3

Le code de la tâche 3 est fonctionnel.

Le message est en effet intègre en l'absence d'erreur, et pas intègre lorsqu'on ajoute une erreur manuellement du type : `indata(1) = indata(1);`

3.1 Sous-tâche 4

4 Tâche 4

4.1 Sous-tâche 1

L'ordre de grandeur du décalage Doppler d'un avion se déplaçant à 900 km/h :

$$\Delta_f = \frac{2*v*f_{emise}*cos(\theta)}{c}$$

avec θ correspond à l'angle entre l'antenne et l'avion, 'femise' la fréquence émise par l'antenne, c la célérité de la lumière, v la vitesse de l'avion. On obtient environ un décalage fréquentielle de 2000 Hz si on prend un angle de 40° , 'femise' à 3Ghz.

4.2 Sous-tâche 2

$$|yl(t)|^2 = |sl(t - \delta t)e^{-j2\pi\delta ft} + nl(t)|^2 = |sl(t - \delta t)e^{-j2\pi\delta ft}|^2 + 2|sl(t - \delta t)e^{-j2\pi\delta ft}nl(t)| + |nl(t)|^2$$

$$= sl(t - \delta t)^2 + nl(t)(2sl(t - \delta t) \exp(-j2\pi\delta f t) + nl(t))$$

Avec

$$zl(t) = nl(t)(2sl(t - \delta t) \exp(-j2\pi\delta f t) + nl(t))$$

zl(t) est bien un bruit blanc gaussien.

Prendre le carré du module permet de limiter l'influence du décalage fréquentielle

4.3 Sous-tâche 3

Montrons que

$$|\delta(t')| \leq 1 \quad \forall \delta(t')$$

avec l'inégalité de Cauchy Schwarz. En se plaçant sur $E=C([a, b], \mathbb{R})$ (avec $(a, b) \subset \mathbb{R}$) muni du produit scalaire $(f, g) \rightarrow \int_a^b f(t)g(t)dt =$

$$\int_a^b f(t)g(t)dt$$

$$(\int_a^b f(t)g(t)dt) \leq \sqrt{\int_a^b f(t)^2 dt} \sqrt{\int_a^b g(t)^2 dt}$$

en appliquant cela au numérateur on obtient :

$$(\int_{\delta(t')}^{\delta(t')+Tp} rl(t)s_p(t - \delta(t'))dt) \leq \sqrt{\int_{\delta(t')}^{\delta(t')+Tp} rl(t)^2 dt} \sqrt{\int_{\delta(t')}^{\delta(t')+Tp} s_p(t - \delta(t'))^2 dt}$$

on effectue un changement de variable sur

$$\sqrt{\int_{\delta(t')}^{\delta(t')+Tp} s_p(t - \delta(t'))^2 dt}$$

en posant

$$t' = t - \delta(t')$$

d'où

$$(\int_{\delta(t')}^{\delta(t')+Tp} rl(t)s_p(t - \delta(t'))dt) \leq \sqrt{\int_{\delta(t')}^{\delta(t')+Tp} rl(t)^2 dt} \sqrt{\int_0^{Tp} s_p(t)^2 dt}$$

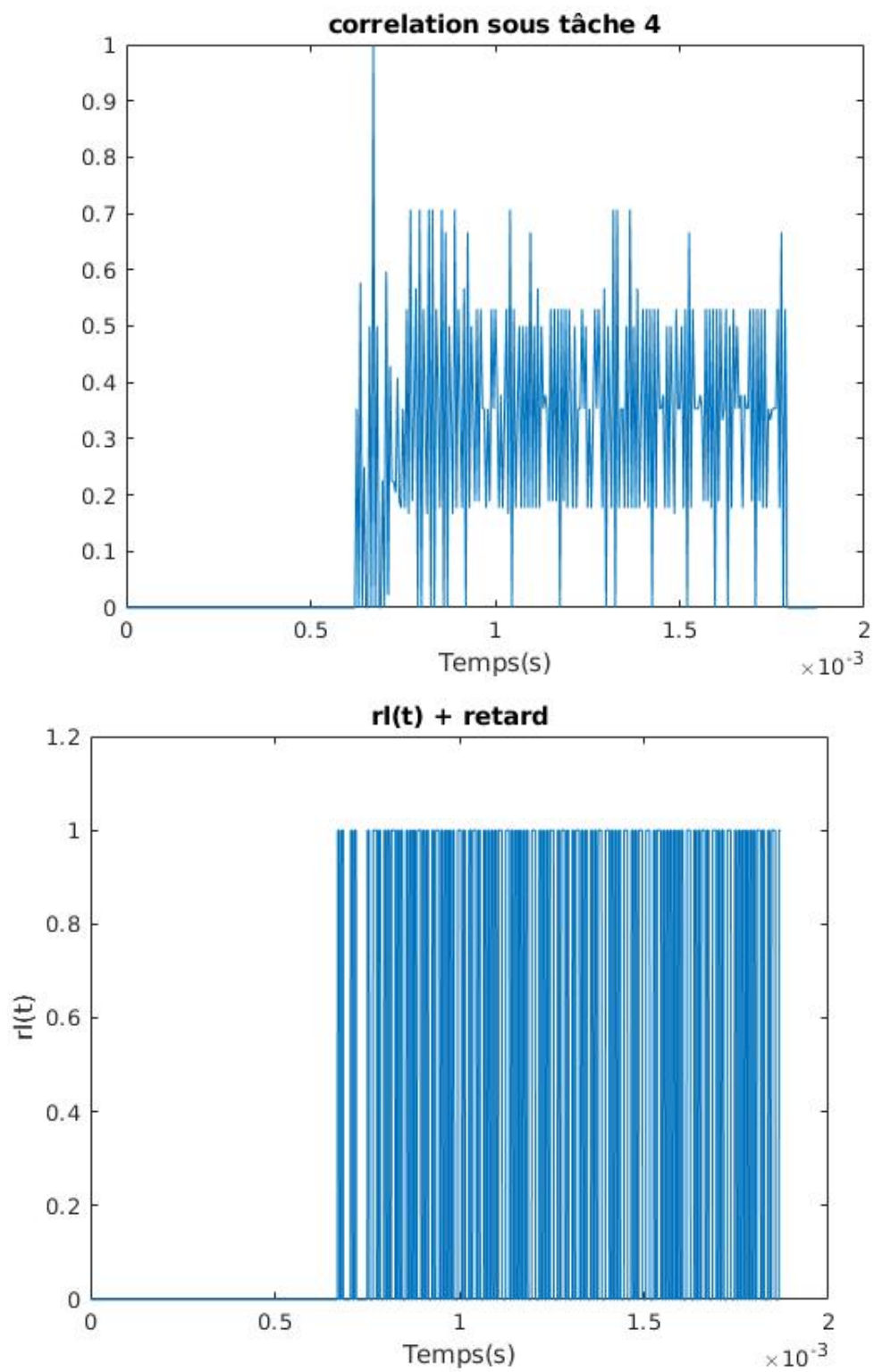
on obtient ainsi :

$$|\delta(t')| \leq 1 \quad \forall \delta(t')$$

Il y a égalité si et seulement si $rl(t)$ et $sp(t)$ sont colinéaires.

4.4 Sous-tâche 4-5

Nous avons réussi à estimer de δ_t correspondant au décalage temporel. On remarque que le maximum de corrélation est bien aligné avec le début de $rl(t)$, ce qui signifie que l'algorithme est en capacité de détecter le décalage souhaité :



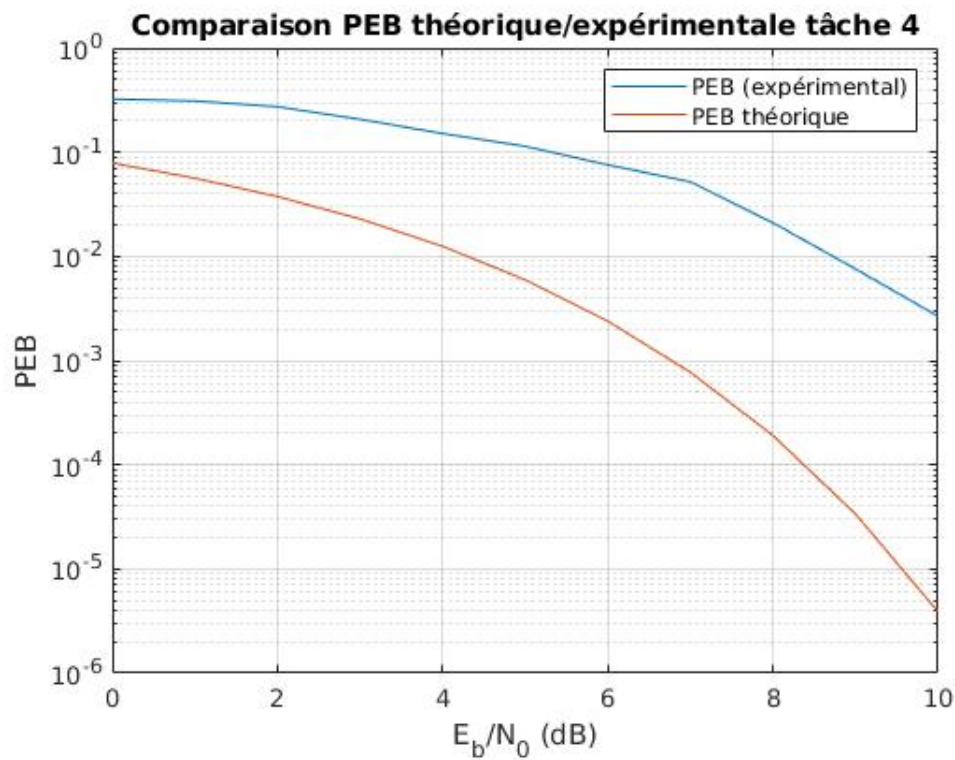
4.4.5 Sous-tâche 5 (cette sous-tâche est réservée à l'enseignant)

La valeur de Δt estimée est de :
36

La valeur de Δt initial est de :
36

4.5 Sous-tâche 6

On remarque que pour un TEB égale à 10^{-3} , on a une perte de Db supérieur à 3, ce qui est considérable. Celle si est dû au décalage fréquentielle et au décalage temporel.



5 Tâche 5

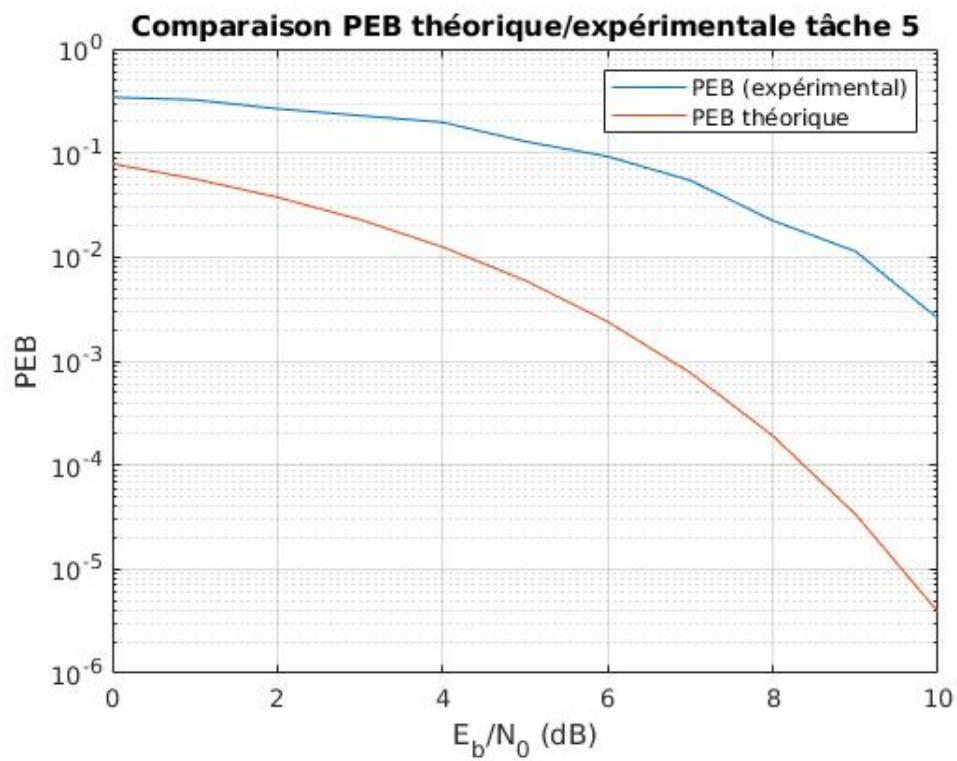
Pour cette tâche, nous avons écrit une fonction synchro f. Cette fonction permet de détecter le δ_f . On divise y_l par $\exp(-j * 2 * \pi * k * \text{abscisse})$ et on regarde pour quelle valeur de k la valeur de la partie imaginaire est minimale.

La valeur de df estimée est de :
-881

La valeur de df initial est de :
-881

>>

Pour le tracé du TEB, nous observons pas de grandes différences :



6 Tâche 6

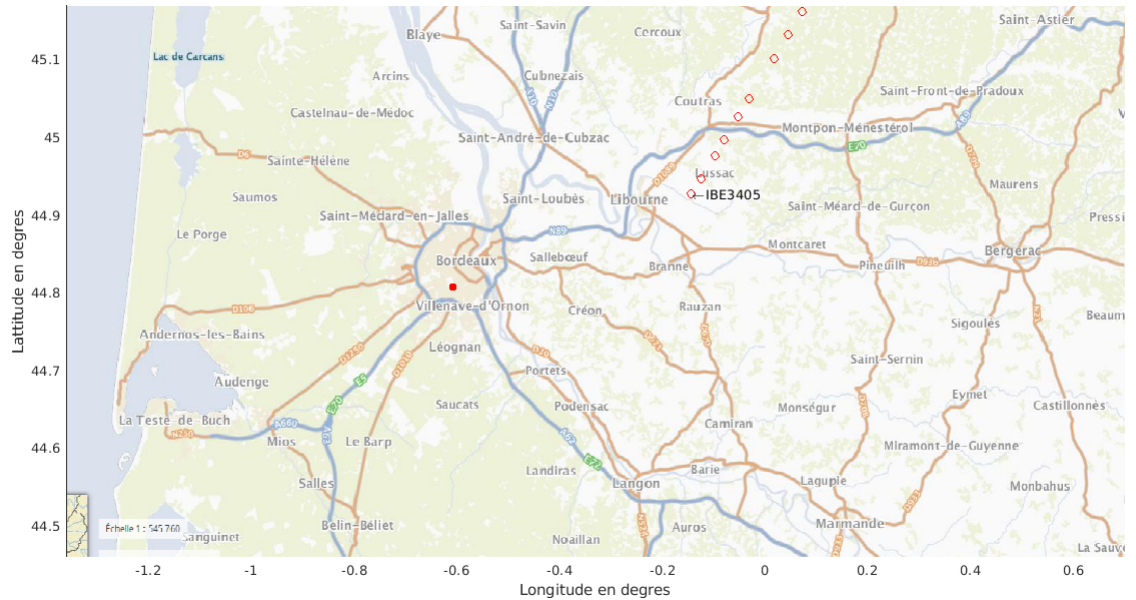
6.1 Sous-tâche 1

Les valeurs de FTC correspondant à des trames de position de vol sont entre 9 et 18 et entre 20 et 22 compris.

Les valeurs de FTC correspondant à des trames des messages d'identifications sont entre 1 et 4.

Voici le résultat que nous obtenons à partir du fichier adsbmsgs.mat :

Le résultat trouvé est concluant, on retrouve effectivement le nom de l'avion IBE (ibéria lineas aereas de Espana) et sa trajectoire semble bonne également



7 Tâche 7

7.1 Sous-tâche 3

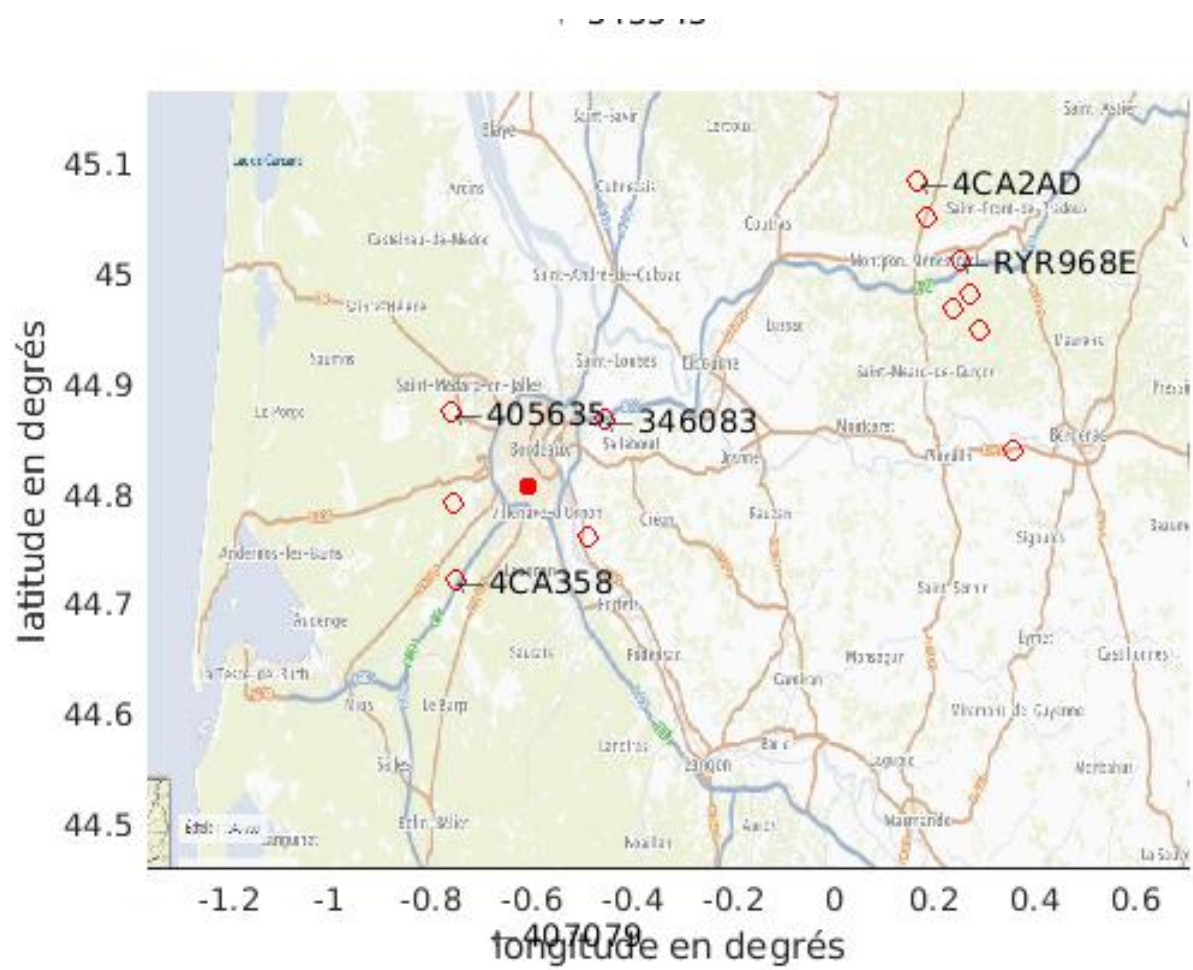
Pour améliorer le calcul de la position en vol, on pourrait cette fois ci, au lieu d'avoir une position de référence de l'appareil à moins de 180 noeuds nautique, avoir deux trames consécutives ayant des bits indicateurs de format CPR différents. Nous n'avons pas réalisé cette partie, mais es sous-tâches 1 et 2 sont faites.

8 Tâche 8

Voici le résultat de notre tâche 8, comme vous pouvez le voir, on obtient la plupart des avions avec leurs nom (on reconnaît le RYR de rayan'air) et leurs adresses lorsqu'ils n'ont pas de nom.

Qu'est ce qui ne va pas ici : nous n'avons pas réussi à relier les points selon les avions, bien qu'ils soient tous affichés correctement.

Il manque quelques rares positions d'avion, dû probablement au treshold un peu haut de notre code.



9 Tâche 9

On a essayé dans le code tache 9 de récupérer en temps réel, mais la fonction `getbuffer` récupérée affichait une erreur donc on a supposé que le récepteur de l'enseirb était éteint.