

PRES "Centre - Val de Loire Université"
COMUE "Université Confédérale Léonard-de-Vinci"



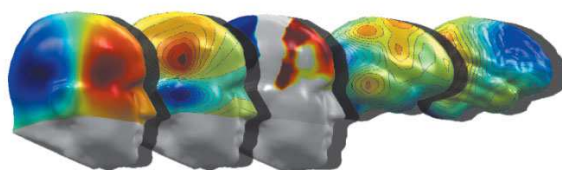
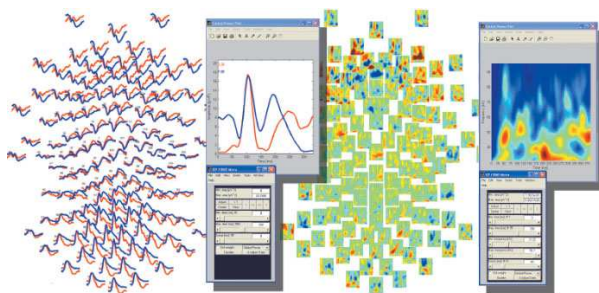
Institut National des Sciences Appliquées
Centre Val de Loire
Département Génie des Systèmes Industriels (GSI)



TRAITEMENT DU SIGNAL

ÉLÉMENTS DE CORRECTION DES TD

Signaux Aléatoires (TS2)



Serge DOS SANTOS, Maître de Conférences, HDR, serge.dossantos@insa-cvl.fr

Chers élèves,

vous trouverez ci-joint quelques éléments de correction des Travaux Dirigés proposés dans le cadre de l'enseignement du Traitement du Signal (TS2) du département Génie des Systèmes Industriels (GSI) de l'INSA Centre Val de Loire. Le deuxième TD, effectué par Martin Lints de l'Université de Tallinn a été corrigé en cours. La correction au tableau a été faite en anglais et vous trouverez ci-joint une correction détaillée en français.

Le fichier pdf des corrections est disponible sur le serveur de la Faculté de Médecine de l'Université François Rabelais :

Lien du fichier à télécharger :

<http://exotic.univ-tours.fr/nhqj>

ou en cliquant [ici](#) !

ou en flashant ce QR-code



Bonnes révisions
Serge Dos Santos
serge.dossantos@insa-cvl.fr

TD1 : Filtrage des signaux aléatoires

On considère un filtre RC du premier ordre d'entrée $x(t, s)$ et de sortie $y(t, s)$ (Fig.1)

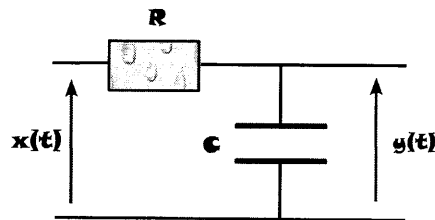


FIGURE 1 – Filtre RC du premier ordre

Première partie : filtrage d'un bruit blanc

1. Déterminer la fonction de transfert $H(j\omega)$ entre l'entrée et la sortie du système
2. Un générateur de bruit blanc gaussien $x(t, s)$ de densité spectrale de puissance (DSP) $S_x(\nu, s)$ alimente le système. Exprimer $\gamma_y(\tau)$ la fonction d'autocorrélation de $y(t, s)$ en fonction de $\gamma_h(\tau)$ la fonction d'autocorrélation de la réponse impulsionnelle du filtre
3. Calculer la DSP $S_y(f)$ de $y(t, s)$.

Deuxième partie : détection d'un signal périodique noyé dans du bruit

On étudie à présent un signal $x(t, s) = s(t) + b(t, s)$, avec $s(t) = A \cos(2\pi f_0 t)$ et $b(t, s)$ un bruit blanc gaussien de DSP $S_b(\nu) = S_b$.

1. Calculer $\gamma_s(\tau)$ la fonction d'autocorrélation de $s(t)$. En déduire sa DSP
2. Calculer et représenter $\gamma_x(\tau)$. Proposez une méthode de détection de $s(t)$ à partir de $\gamma_x(\tau)$
3. Calculer le SNR de $x(t)$. Qu'en pensez vous ?
4. Le signal $x(t)$ est à présent bruité par un bruit blanc gaussien $b(t)$ de DSP $S_b(\nu) = S_b$ et de bande spectrale limitée B (bruit blanc "réel"). Quelle est sa puissance ? En déduire le SNR de $x(t)$
5. Déduire de la DSP de $b(t)$ sa fonction d'autocorrélation. Quelle est l'effet de la bande spectrale limitée du bruit sur $\gamma_b(\tau)$?
6. On souhaite détecter le signal utile $s(t)$ à partir de $\gamma_x(\tau)$. À partir de quel temps τ_m l'amplitude de $\gamma_s(\tau)$ sera 100 fois plus élevée que l'amplitude de l'enveloppe de $\gamma_b(\tau)$?

Application numérique : $A = 1mV$; $S_b = 1.10^{-9} V^2 / Hz$

Travaux dirigés de traitement du signal Signaux aléatoires

TD 2 : Probabilité et statistique des signaux aléatoires /
TD 2 : Probability and statistics of stochastic signals

Exercice 1 : Filtrage de signal aléatoire gaussien / Gaussian stochastic signal filtering

Soit un signal aléatoire gaussien centré $x(t)$ de densité spectrale constante dans la bande $\Delta\nu = [-f_0, f_0]$ et de puissance $\mathcal{P}_x = 0$ dBm, avec $f_0 = 8$ MHz.

Let us consider a gaussian centered stochastic signal $x(t)$ with a constant spectral density in the bandwidth $\Delta\nu = [-f_0, f_0]$. The total power of the signal is $\mathcal{P}_x = 0$ dBm, with $f_0 = 8$ MHz.

1. Comment s'appelle ce bruit ? Calculer sa densité spectrale de puissance $S_x(\nu)$. *What's the noise name ? Evaluate its spectral density $S_x(\nu)$*
2. Calculer la probabilité pour que $x(t) > 0.3$. *Evaluate the probability that $x(t) > 0.3$*

Dans un deuxième temps, on filtre ce signal avec un filtre passe bas idéal de fréquence de coupure $f_0/2$. *Now, the signal is filtered with a ideal lowpass filter (LPF) with cutoff frequency $f_0/2$*

3. Calculer la puissance de ce bruit (en dBm). *Evaluate the total power of the filtered noise (in dBm)*
4. Calculer la probabilité pour que $x(t) > 0.3$. *Evaluate the probability that $x(t) > 0.3$*

Finalement, on constate que la loi de probabilité n'est pas une loi Gaussienne, mais une loi uniforme dans l'intervalle centré $[-X_m, X_m]$. *Finally, it is observed that the law is not a Gaussian law, but a uniform law in the centered interval $[-X_m, X_m]$.*

5. Calculer la valeur maximale X_m du bruit en considérant sa puissance. *Evaluate X_m considering the noise power*
6. Calculer la probabilité pour que $x(t) > 0.3$. Comparer avec la question 2. *Evaluate the probability that $x(t) > 0.3$. Compare with point 2.*
7. Calculer la fréquence de coupure du filtre f_1 qu'il faut utiliser pour que cette probabilité soit identique avec celle de la question 2. *Evaluate the filter cutoff frequency f_1 that should be applied in order to have the same probability as those found in point 2.*

ANNEXE /ANNEX (D'après l'examen de TS2 Année 2008-2009)**Intégrale $\Pi(t)$ de la Loi Normale Centrée Réduite $\mathcal{N}(0; 1)$**

$$\Pi(t) = P(X \leq t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad \text{et} \quad \Pi(-t) = 1 - \Pi(t)$$

t	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Travaux Dirigés de Traitement du Signal TD3 : Corrélation, covariance, interprétations physiques et bruit

Questions de cours

1 : Tracer, pour le bruit blanc gaussien et le bruit blanc uniforme, les fonctions suivantes : densité spectrale de puissance, fonction d'autocorrélation, densité de probabilité

2 : Soit un bruit blanc gaussien filtré ($f_{max} = 1\text{MHz}$) et de variance 4 (mV)^2 . On veut réduire la puissance de ce bruit avec un filtre passe bas. Quelle doit être la fréquence de coupure de ce filtre pour avoir une variance de 2 (mV)^2

Exercice 1 : Corrélation de signaux d'amplitude aléatoire

Considérons le signal aléatoire suivant

$$x(t, s) = A(s) \cos \omega t + B(s) \sin \omega t \quad (1)$$

où $A(s)$ et $B(s)$ sont des variables aléatoires continues centrées réelles et du second ordre indépendantes. Appelons σ_A^2 et σ_B^2 les variances respectives de $A(s)$ et $B(s)$ et γ_{AB} la covariance statistique entre $A(s)$ et $B(s)$.

1. Calculer la valeur moyenne statistique $m(t)$ de $x(t, s)$.
2. Calculer la fonction de covariance statistique $\gamma_x(t_1, t_2)$ en fonction des quantités σ_A^2 , σ_B^2 et γ_{AB} .
3. Dédurre la condition nécessaire et suffisante pour que le signal soit stationnaire du second ordre.

Exercice 2 : Bruit de l'amplificateur OPA378 (D'après examen Traitement du Signal, janvier 2013)

Considérons un amplificateur opérationnel OPA378 nouvelle génération (octobre 2009) faible bruit dont les caractéristiques techniques sont données en Annexe 1. Cet amplificateur possède un bruit interne qui peut être modélisé (Fig.1) par deux sources aléatoires de tension e_n et de courant i_n . Dans l'annexe, les densités spectrales sont exprimées en $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ et en $\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$ (rappel : $1\text{ fA} = 10^{-15}\text{A}$). L'objectif de cette étude est de calculer la puissance de la tension de bruit de sortie de l'amplificateur.

1. Donner les unités de la densité spectrale de puissance de bruit dans le cas où le signal aléatoire est une tension (exprimée en Volts) et un courant (exprimé en Ampères)
2. Calculer la puissance dans le domaine spectral du bruit de tension e_n dans la bande $[1, 10]\text{Hz}$
3. Calculer la puissance dans le domaine spectral du bruit de courant i_n dans la bande $[1, 10]\text{Hz}$

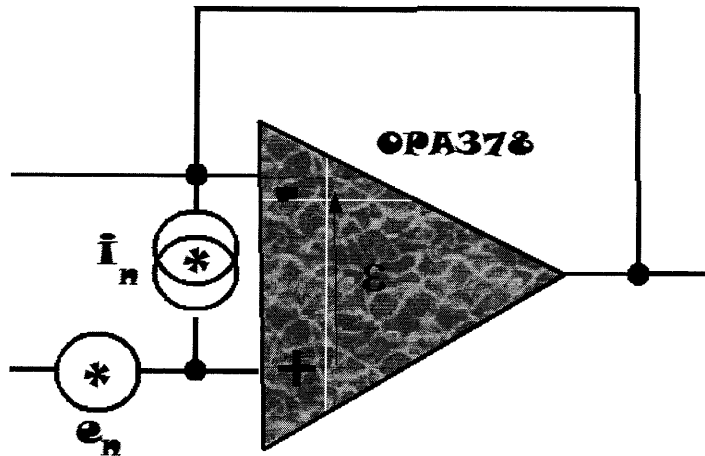


FIGURE 1 – Amplificateur OPA378 bruité en montage suiveur

4. Lorsqu'il est utilisé en montage suiveur, l'OPA378 délivre un bruit de sortie e_s donné par

$$e_s = e_n + R_e i_n, \quad (2)$$

où R_e est la résistance d'entrée de l'OPA378. En supposant les deux sources de bruit i_n et e_n non corrélées, montrer que la puissance du bruit e_s (dans le domaine temporel) est donné par

$$e_s^2 = e_n^2 + R_e^2 i_n^2. \quad (3)$$

5. Calculer la puissance du bruit dans le cas $R_e = 10\text{k}\Omega$
6. En supposant la distribution gaussienne du bruit (Annexe 2), calculer la probabilité pour que la tension du bruit dépasse 80 nV. Comparez cette valeur avec la figure 1 de l'Annexe 1

ANNEXE 1



www.ti.com

SBOS417D – JANUARY 2008 – REVISED OCTOBER 2009

OPA378
OPA2378

TYPICAL CHARACTERISTICS

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$, $V_S = +5.5\text{V}$ and $V_{OUT} = V_S/2$, unless otherwise noted.

0.1Hz TO 10Hz NOISE

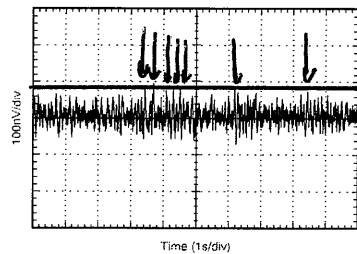


Figure 1.

INPUT CURRENT AND VOLTAGE NOISE
SPECTRAL DENSITY vs FREQUENCY

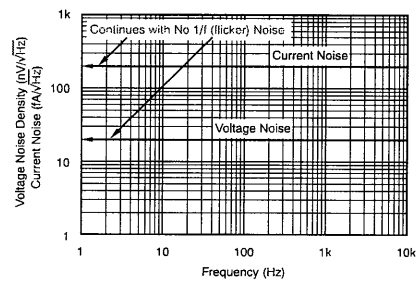


Figure 2.

OFFSET VOLTAGE
PRODUCTION DISTRIBUTION

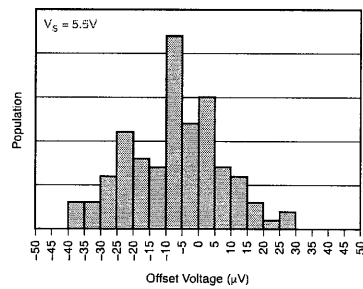


Figure 3.

OFFSET VOLTAGE DRIFT DISTRIBUTION

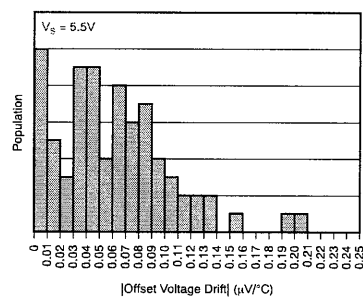


Figure 4.

ANNEXE 2

Intégrale $\Pi(t)$ de la Loi Normale Centrée Réduite $\mathcal{N}(0; 1)$

$$\Pi(t) = P(X \leq t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad \text{et} \quad \Pi(-t) = 1 - \Pi(t)$$

t	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Travaux Dirigés de Traitement du Signal : Signaux Numériques

Traitement de Signaux Numériques

Extraction de propriétés de signaux
d'enveloppe gaussienne dans le bruit

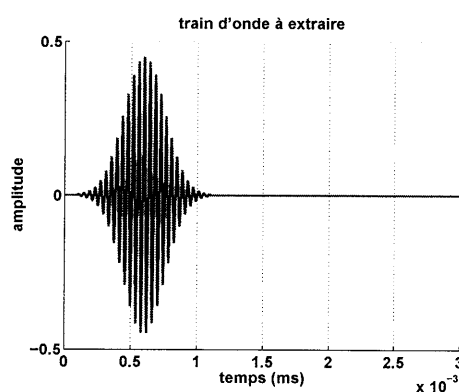
Programmation MATLAB

Extraction d'un signal gaussien dans le bruit

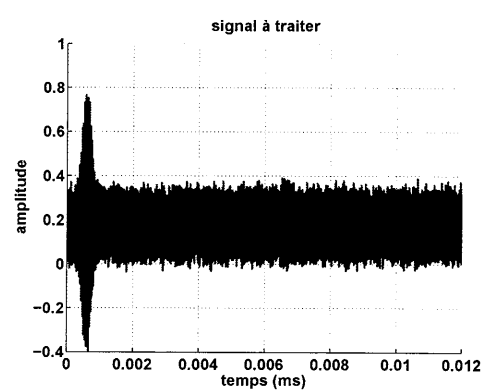
Il s'agit de traiter le signal numérique enregistré dans le fichier 'TDxxxx.mat' et constitué de 2 trains d'ondes d'enveloppe gaussienne (signal utile). Chaque train d'onde gaussien a été généré avec la fonction `gauspuls(t, f_hf, bw)` (taper "help gauspuls" pour plus d'info). Ces 2 trains d'ondes sont noyés dans un bruit filtré.

Le but du TD est d'utiliser la FFT et les fonctions d'autocorrélation afin de déterminer le plus précisément possible :

- la fréquence de coupure du bruit blanc filtré
- la fréquence d'échantillonnage du signal
- les abscisses temporelles des maximums des 2 trains d'ondes
- l'amplitude maximale des 2 trains d'ondes
- les fréquences des 2 porteuses f_{hf} des 2 trains d'ondes
- l'écart temporel entre les deux trains d'ondes



(a) Signal utile



(b) Signal bruité

FIGURE 1 – Il s'agit de traiter le signal donné en (b) pour en extraire les 2 signaux gaussiens du type de (a) séparé d'un écart temporel à évaluer


```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%break
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Quelques petits programmes utiles pour le traitement des fichiers
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% programme qui trace la FFT de amplitude et affiche les fréquences
% échelle des abscisses normalisée en fréquence (Hz)
% échelle des ordonnées normalisée en amplitude
% ATTENTION!!!! il faut avoir préalablement déterminé la fréquence d'échantillonnage
%
fech=500e9; % !!!!!!!!! ATTENTION, VALEUR A DETERMINER DE FACON PRECISE !!!!! ;
fech=1/delta_t;
Nfft = 4096*16;
fft_amplitude = fft(amplitude1,Nfft)/length(amplitude1);
freq = -fech/2-fech/(Nfft-1):fech/(Nfft-1):fech/2-fech/(Nfft-1); %lorsque on utilise la fonction fftshift
figure;
hold on
xlabel('Fréquence (Hz)')
ylabel('Module de la FFT')
title('FFT du signal')
plot(freq,fftshift(abs(fft_amplitude)),'r');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% selection de la partie utile du signal et tracé du spectre FFT
partie_utile = amplitude1(1:40000); % choix du signal dans l'intervalle (1:10000)
Nfft = 4096*16;
fft_partie_utile = fft(partie_utile,Nfft)*2/length(partie_utile);
freq = 0:fech/(Nfft-1):fech;
figure;
plot(freq,abs(fft_partie_utile),'r');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% selection de la partie utile du signal et tracé du spectre FFT
partie_utile2 = amplitude1(25000:35000); % choix du signal dans l'intervalle (25000:35000)
Nfft = 4096*16;
fft_partie_utile2 = fft(partie_utile2,Nfft)*2/length(partie_utile);
freq = 0:fech/(Nfft-1):fech;
figure;
plot(freq,abs(fft_partie_utile2),'k');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% superposition des courbes précédentes (pour comparaison)
figure;
plot(freq,abs(fft_partie_utile),'r');
grid on
hold on
plot(freq,abs(fft_partie_utile2),'k');

%construction d'un signal sinusoidal de longueur Np_eval
fech=13.4e9;
freq_evaluee = 24.25e6;
Np_eval = 3000;
amp_eval = 1.3;
tempstot_eval = 0:1/fech:(Np_eval-1)/fech;
signal_emission = amp_eval*sin(2*pi*freq_evaluee*tempstot_eval);
%amplitude = [zeros(1,Ndebut-1) signal zeros(1,Nt-Np-Ndebut+1)]+bruit_filtre ;
figure;
plot(tempstot_eval,signal_emission);

% tracé de la FFT non normalisée
figure;

```

```

fft_amplitude = fft(amplitude1);
plot(abs(fft_amplitude));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% selection de la partie utile du signal et tracé du spectre FFT
%partie_utile = amplitude1(5400:8400); % choix du signal dans l'intervalle (5400:8400)
partie_utile = amplitude1(1:30400); %
Nfft = 4096*8;
fft_partie_utile = fft(partie_utile,Nfft)*2/length(partie_utile);
freq = 0:fech/(Nfft-1):fech;
figure;
plot(freq,abs(fft_partie_utile),'r');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%break
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% tracé de la fonction d'autocorrélation de amplitude
autocorr_amplitude = xcorr(amplitude1);
figure;
hold on
xlabel('indice du point')
ylabel('correlation')
title('Autocorrelation du signal')
plot(autocorr_amplitude,'g');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%break
% suppression de la composante continue du signal à traiter
amplitude_AC = amplitude1-mean(amplitude1);
%break
% tracé de la fonction d'autocorrélation de amplitude
autocorr_amplitude_AC = xcorr(amplitude_AC);
figure;
hold on
xlabel('indice du point')
ylabel('correlation')
title('Autocorrelation du signal')
plot(autocorr_amplitude_AC,'g');
%break
% tracé de la FFT de cette nouvelle fonction d'autocorrélation
Nfft = 4096*8;
fft_autocorr_amplitude_AC = fft(autocorr_amplitude_AC,Nfft)*2/length(autocorr_amplitude_AC);
freq = 0:fech/(Nfft-1):fech;
figure;
plot(freq,abs(fft_autocorr_amplitude_AC),'r');
% impression d'une figure postscript et png
print -depsc -tiff figure_traitement_signal2.eps;
print -dpng figure_traitement_signal2.png;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% fin de la bibliothèque de programmes %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% fin du programme %%%%%%%%%
% Serge Dos Santos - Dec 2016 - INSA CVL - serge.dossantos@insa-cvl.fr
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

6 9 janvier 2017

(12)

TRAVAIL DIRIGES DE TRAITEMENT DU SIGNAL (4^{ème} année GSI - INSA CIVIL Blois) ELEMENTS DE CORRECTIONS.



TD n°2 Filtrage de signaux aléatoires

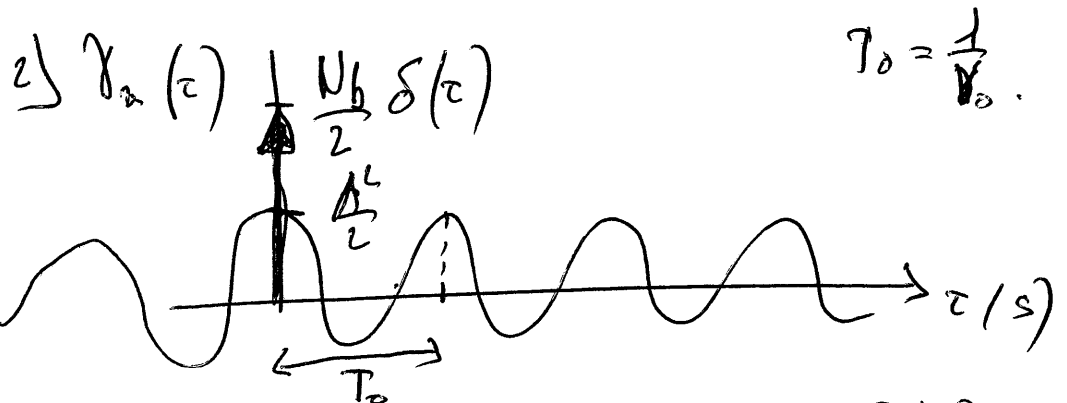
Ce TD a été intégralement corrigé en séance par SOS.TP
s'agit d'un exercice fondamentalement à savoir refaire.

PREMIERES PARTIES : 1) $H(j\omega) = \frac{\alpha}{\alpha + j\omega}$ avec $\alpha = \frac{1}{RC}$

2) $\gamma_y(\tau) = \frac{N_0}{2} \gamma_h(\tau)$

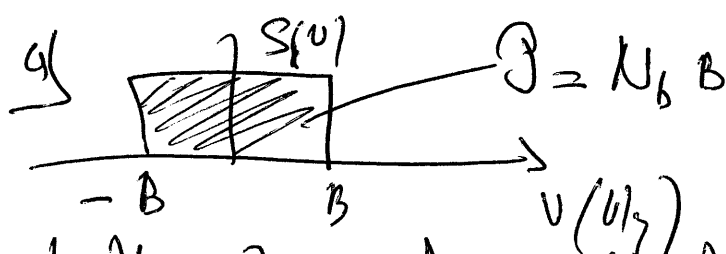
3) $S_y(f) = \frac{N_0}{2} \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + 4\pi^2 f^2}$

DEUXIEMES PARTIES : 1) $\gamma_s(\tau) = \frac{A^2}{2} \cos(\omega_0 \tau)$
2) $S_s(\nu) = \frac{A^2}{4} (\delta(\nu - \nu_0) + \delta(\nu + \nu_0))$
avec $\omega_0 = 2\pi\nu_0$.



$$\gamma_a(\tau) = \frac{A^2}{2} \cos(\omega_0 \tau) + \frac{N_0}{2} \delta(\tau)$$

3) $SNR = 0 \Rightarrow$ impossible.



(13)

$$g) Y_f(z) = N_b f_B \sin(\omega f_B z)$$

$$g) \frac{N_b}{z} > 100 \frac{N_b}{2\pi z} \Rightarrow \boxed{z \approx 32 \text{ ms.}}$$

10002. Pour la séquence considérée, ce TD a été effectué en anglais. (Nous lisons, d'habitude à l'ISSA Centre Val de Loire). La correction intégrale est en français. Il a été suédois avec les lettres (B, C) qui indique la qualité RÉMOUVER du compte-rendu.

10003. Covariance, covariance, intercorrélation, bruit.

Exemples de courbes :	DSP = $S(f)$	$Y(z) = TF[S(f)]$	Modulation.
① Bruit blanc gaussien $x_1(t)$			
Bruit blanc uniforme $x_2(t)$			

2) Pour un bruit blanc gaussien $P_1 = P_2 = 4 (mV)^2 S(f)$

$$P_1 = \int_{-1/2}^{1/2} S_x(f) df = 4 (mV)^2$$

Si on peut $P_2 = \frac{P_1}{2}$ alors il faut $f_{max} = \frac{1}{2\omega}$.

Exercice 10002 : Covariance de signal d'angle et d'angle.

$$1) u(t) = 0 ; 2) \gamma(t_1, t_2) = \frac{1}{2} (\sigma_H^2 + \sigma_B^2) \cos(\omega(t_1 - t_2)) + \frac{1}{2} (\sigma_H^2 - \sigma_B^2) \cos(\omega(t_1 + t_2)) + \gamma_{HB} \sin(\omega(t_1 + t_2))$$

3) pour que $\gamma(t_1, t_2) = \gamma(t_1 - t_2)$, il suffit que $\sigma_H^2 = \sigma_B^2$ et $\gamma_{HB} = 0$

Exercice 1: Bruit de l'amplificateur OPA378 (D'après exam TS, janvier 2013)

1) Si le signal est une ~~tension~~ tension (Volts), alors

$$S_x(\nu) = \text{Volts}^2 / \text{Hz}$$

(14)

Si le signal est un courant, alors

$$S_x(\nu) = \text{Amp}^2 / \text{Hz}$$

2)
$$P_{eu} = 2 \int_{1 \text{ Hz}}^{10 \text{ kHz}} S_{eu}(\nu) d\nu$$
 avec $S_{eu}(\nu) = (20 \text{ nV})^2 / \text{Hz}$.
(Figure 2, Annexe 1.)

$$\hookrightarrow P_{eu} = 2 \cdot 9 \cdot 400 \cdot 10^{18} \text{ V}^2 = 72 \cdot 10^{-16} \text{ Volt}^2$$

$$P_{eu} = 72 \cdot 10^{-16} \text{ Volt}^2$$

3) A voir
$$P_{iu} = 2 \int_{1 \text{ Hz}}^{10 \text{ kHz}} S_{iu}(\nu) d\nu$$
 avec $S_{iu}(\nu) = (200 \text{ pA})^2 / \text{Hz}$.
 $1 \text{ pA} = 10^{-15} \text{ A}$.

$$\hookrightarrow P_{iu} = 2 \cdot 9 \cdot 4 \cdot 10^4 \cdot 10^{30} (\text{Amp}^2)$$

$$\hookrightarrow P_{iu} = 72 \cdot 10^{-26} (\text{Amp}^2)$$

4) Si le bruit e_s est donné par $e_s = e_n + R e_{in}$, alors la puissance du bruit est donnée par la fonction d'autocorrélation du bruit:

$$\begin{aligned} \sigma_s^2 &= \gamma_s(\tau_{20}) = E[x_s(t) x_s(t+\tau)]_{\tau_{20}} \\ &= E[(e_n + R e_{in})(t) \cdot (e_n + R e_{in})(t+\tau)]_{\tau_{20}} \\ &= E[e_n(t) e_n(t+\tau)] + E[e_n(t) R e_{in}(t+\tau)] \\ &\quad + R e_{in}(t) E[e_{in}(t) e_{in}(t+\tau)] + E[R e_{in}(t) R e_{in}(t+\tau)] \end{aligned}$$

ou $E[e_n(t) e_{in}(t+\tau)] = E[e_n(t+\tau) e_{in}(t)] = 0$ car les bruits sont non corrélés.

$$\text{Finalement } \sigma_s^2 = e_s^2 = \gamma_s(\tau_{20}) = e_n^2 + R^2 e_{in}^2$$

$$S.A.N: e_s^2 = 72 \cdot 10^{-16} + (10 \cdot 10^3)^2 \cdot 72 \cdot 10^{-26}$$

$$= 72 \cdot 10^{-16} + 72 \cdot 10^{-18} \approx 72 \cdot 10^{-16} \text{ Volts}^2$$

$$\hookrightarrow \boxed{e_s^2 = 72 \cdot 10^{-16} \text{ Volts}^2}$$

(Note: seul le bruit de courant e_n^2 est prépondérant).

$$\hookrightarrow \text{Si le bruit possédait une puissance de } \sigma_s^2 = e_s^2 = 72 \cdot 10^{-16} \text{ V}^2$$

$$\text{donc } \sigma = \sqrt{72 \cdot 10^{-16}} = \sqrt{72} \cdot 10^{-8} \approx 80 \text{ nV}$$

D'après les propriétés de la loi gaussienne de variance σ^2 , la probabilité pour que $P(e_s > \sigma) = 1 - 0,84 = 0,16 = 16\%$

$$\hookrightarrow \boxed{P(e_s > \sigma) = 16\%}$$

Si l'on compare la valeur de $\sigma = 80 \text{ nV}$ avec la figure 2, on constate que la valeur max du bruit est de l'ordre de 100 nV .

D'après la figure, on compte 7 dépassements de la valeur de $\sigma = 80 \text{ nV}$.

Si on suppose que l'on a un signal sinusoïdal échouillé de $16 \approx 0,5 \text{ mm}$.
 La largeur de la feuille est de 43 mm , soit 86 échouillures. On trouve alors la probabilité à $P(e_s > \sigma) = \frac{7}{86} \approx 8\%$ ce qui est proche de la valeur recherchée.

TD n°4 Extraction de propriétés de signaux d'enveloppe gaussienne dans le bruit.

Voici le listing de programmes qui a permis la construction de fichiers. Afin de répondre aux questions, il faut calculer la FFT et la fonction d'autocorrélation qui permettent d'estimer l'écart temporel entre les deux trains d'onde d'enveloppe gaussienne.

La fréquence des deux trains d'onde dépend du fichier selon les lois:

$$\left. \begin{aligned} f_{HF1} &= 18,015 \text{ e6} (1 + jj \times 0,01) \\ f_{HF2} &= 18,915 \text{ e6} (1 + jj \times 0,01) \end{aligned} \right\} \text{ pour le fichier } 70100 \text{ jj. mat}$$

Bonnes Révisions!

Serge Des Sentes

Année 2016-2017

(TD effectués en anglais)
(corrigé en français).

TD2 Probabilités et statistiques (16) des signaux aléatoires Probability and statistics of stochastic signals.

Exercice n°2: Filtrage de signal aléatoire gaussien

1) Il s'agit d'un bruit blanc gaussien

$$\text{Car } P_2 = \int_{-f_0}^{f_0} S_X(u) du \text{ avec } S_X(u) = c \delta$$

$$\Leftrightarrow S_X(u) = \frac{P}{2f_0} = 3,02 \cdot 10^{-9} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

$$S_X(u)_{\text{dBm/Hz}} = P_{\text{dBm}} - 10 \log(2f_0) = -72 \text{ dBm/Hz}$$

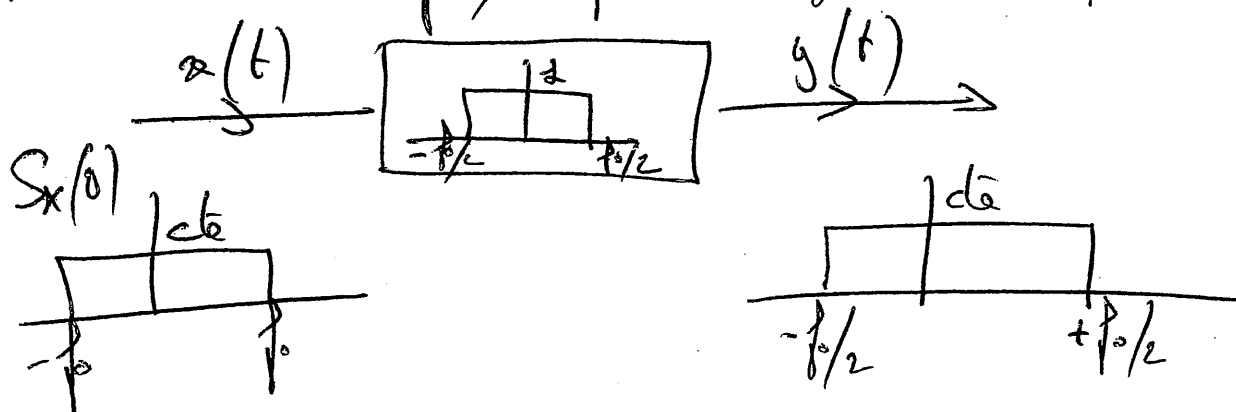
$$\Leftrightarrow S_X(u) = -72 \text{ dBm/Hz}$$

2) Après le TP, $P = \sigma^2 = -8 \text{ dBm} = (0,22)^2 \text{ V}^2 \Rightarrow \sigma = 0,22 \text{ Volt}$

Après le table, $P(X > 0,3) = 1 - P(X \leq 0,3) = 1 - P\left(\frac{X}{0,22} \leq \frac{0,3}{0,22}\right)$

D'où $P(X > 0,3) = 1 - 0,9131 = 8,69\%$

Dans un deuxième temps, on filtre le signal avec un passe bas idéal:



3) La puissance de signal s'écrit:

$$\mathcal{P}_g = S_X(v) / f_0 = \frac{\mathcal{P}_a}{2f_0} f_0 = \frac{\mathcal{P}_a}{2}$$

(17)

$$\mathcal{P}_g = -3 \text{ dBm}$$

4) De la même manière, on peut calculer $P(y > 0,3)$ avec $\mathcal{P}_y = \sigma_y^2 = \frac{\mathcal{P}_a}{2}$

$$\text{Dans ce cas, } P(y > 0,3) = 1 - \int_{-\infty}^{0,3} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\left(\frac{a}{\sigma_y}\right)^2} da$$

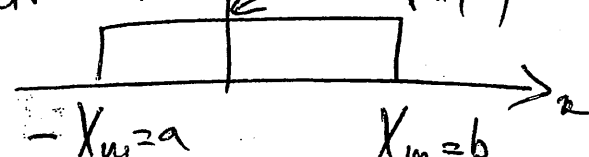
$$\sigma_y = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}}$$

$$= 1 - \pi \left(\frac{0,3}{0,22} \sqrt{2} \right) = 1 - 0,9732 = 2,68\%$$

$$\text{D'où } P(y > 0,3) = 2,68\%$$

Finalement, la loi n'est pas gaussienne, mais uniforme dans $[-X_m, X_m]$

Soit $p_X(a)$ $p_X(a) = \text{cte} = \frac{1}{b-a}$ pour que $\int_{-X_m}^{X_m} p_X(a) da = 1$



5) Dans ce cas, la puissance de signal par (cf cours TS SOS page 85)

$$\mathcal{P}_a = \sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12} = \frac{(2X_m)^2}{12} = \frac{X_m^2}{3}$$

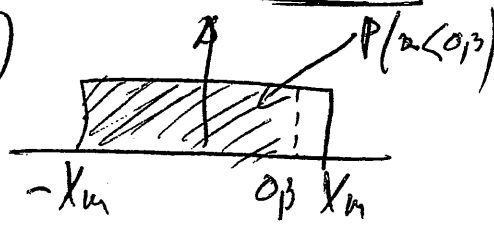
Puisque l'on considère une puissance de $\mathcal{P}_a = (0,22)^2$, on a alors:

$$\frac{X_m^2}{3} = (0,22)^2 \Rightarrow X_m = \sqrt{3} \cdot 0,22 = 0,381 \text{ Volts}$$

$$X_m = 0,381 \text{ Volts}$$

6) De la même manière, on peut calculer $P(a > 0,3)$

D'après le graphique, on a



$$P(a > 0,3) = \frac{1}{b-a} (X_m - 0,3) = \frac{0,081}{2X_m} = 10,6\%$$

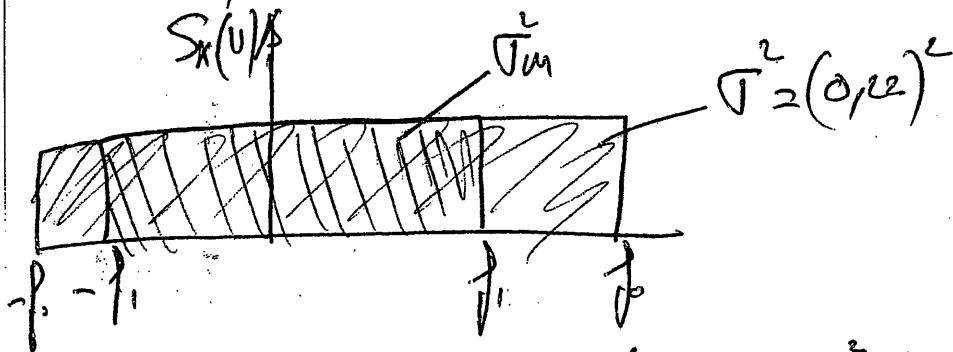
$$\hookrightarrow P_X(a > 0,3) = 10,6\%$$

7) Si on veut une probabilité identique à celle de la question 2, (18)
 il faut filtrer le signal de façon à ce que celui-ci ait une
 puissance plus faible, et ainsi une probabilité de dépasser plus petite.
 On cherche donc une fréquence f_1 telle que.

$$P = 2 f_1 S_x(u) = \frac{(2 X_m)^2}{12} = \frac{X_m^2}{3} \sigma_m^2$$

$$P(x > 0,3) = \frac{X_m - 0,3}{2 X_m} = 0,0869,$$

soit (2) $\Rightarrow X_m - 0,3 = 0,0869 X_m \cdot 2 \Rightarrow \boxed{X_m = 0,363 \text{ Volts}}$



on a donc $S_x(u) = \frac{\sigma^2}{2 f_0} = \frac{\sigma_m^2}{2 f_1} = \frac{X_m^2}{6 f_1}$

$$\hookrightarrow 6 f_1 = \frac{2 f_0 X_m^2}{\sigma^2}$$

$$\hookrightarrow f_1 = f_0 \frac{X_m^2}{3 \sigma^2} = 7,26 \text{ MHz}$$

On vérifie que $f_1 < f_0$ (puissance plus faible).

$$\boxed{f_1 = 7,26 \text{ MHz}}$$

S. Des Sables

TD4: Traitement du signal

19

09/01/17 15:43 C:\Users\sedossantos\Serge\Eivl\2016-...\fichiers_TD4_2016.m 1 of 3

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%                               /  _/  |  /  /  _/  /  |  /  _/  |  |  /  /  /
%                               /  /  /  |  /  \  \  /  /  |  /  /  /  |  |  /  /  /
%                               _/  /  /  /  |  /  _/  /  /  |  /  _/  /  |  |  /  /  /
%                               /  _/  /  /  |  /  _/  /  /  |  \  _/  /  |  _/  /  /
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% TRAVAUX DIRIGES DE TRAITEMENT DU SIGNAL
%
% Serge Dos Santos
% 5 decembre 2016
% INSA CVL, serge.dossantos@insa-cvl.fr
%
% Il s'agit de traiter le signal numérique enregistré dans le fichier
% 'TDlxxx.mat' et constitué de 2 trains d'ondes d'enveloppe gaussienne
% (signal utile).
% Chaque train d'onde gaussien a été généré avec la fonction
% gauspuls(t,f_hf,bw) (taper "help gauspuls" pour plus d'info)
% Ces 2 trains d'ondes sont noyés dans un bruit filtré.
%
% Le but du TD est d'utiliser la FFT et les fonctions d'autocorrélation
% afin de déterminer le plus précisément possible :
% - la fréquence de coupure du bruit blanc filtré
% - la fréquence d'échantillonnage du signal
% - les abscisses temporelles des maximums des 2 trains d'ondes
% - les fréquences des 2 porteuses f_hf des 2 trains d'ondes
% - l'écart temporel entre les deux trains d'ondes
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% programme fichiers_TD4_2016.m à partir duquel les fichiers ont été créés
% Serge Dos Santos - INSA CVL - decembre 2016
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all;
close all;

% définition des variables
Np = 2*2500; % nombre total de points du signal utile
Nt = 60000; % nombre total de points du signal complet
fbf = 7.0e6; % fréquence bf
Ampl = 0.49; % amplitude du signal utile
amplbruit = 0.25; %5 % amplitude du niveau de bruit
Ndebut = 500; % début du signal utile
amplitude_AM = 0.12; % amplitude de la modulation bf

% construction des fichiers en faisant varier les fréquences des trains
% d'ondes
for jj=1:15
    fech = 5e9;
    tempstot = -(Np/2)/fech:1/fech:(Np/2-1)/fech;
    bruit = amplbruit*(1+0.4)*rand(1,Nt);

    % filtrage du bruit

```

← Aughbech

← $f_{adh} = 5 \text{ GHz} = 5 \cdot 10^9 \text{ Hz}$

```
[cb,ca] = butter(4,0.5*fech/fech);  
bruit_filtre = filtfilt(cb,ca,bruit);
```

$\leftarrow 1ci, 2 f_{cut} = 0,5 f_{ech} \Rightarrow f_{cut} = \frac{f_{ech}}{4}$
 $\approx 1,5 GHz$

```
%figure;  
%plot(abs(fft(bruit_filtre)));
```

```
% signal à trouver  
fhf = 24.015e6*(1+jj*0.01);
```

% fréquence de la porteuse variable pour

le TD du vendredi 16/10/2015

```
fhf = 18.015e6*(1+jj*0.01); % fréquence de la porteuse variable
```

```
signal = Ampl*gauspuls(tempstot,fhf,0.1);
```

```
%signal = Ampl*(1+amplitude_AM*sin(2*pi*fbf*tempstot)).*sin(2*pi*fhf*tempstot);
```

```
amplitude = [zeros(1,Ndebut-1) signal] ;
```

```
fhf = 34.215e6*(1+jj*0.01);
```

% fréquence de la porteuse

```
signal = 0*gauspuls(tempstot,fhf,0.1);
```

```
amplitude = [amplitude zeros(1,Nt-10*Np) signal/4] ;
```

```
fhf = 18.915e6*(1+jj*0.01);
```

% fréquence de la porteuse : légèrement

différente ; -)

deuxième train d'onde

```
signal = Ampl*gauspuls(tempstot,fhf,0.1);
```

```
amplitude = [amplitude zeros(1,Nt-10*Np) signal/9] ;
```

```
fhf = 54.215e6*(1+jj*0.01);
```

% fréquence de la porteuse

```
signal = 0*gauspuls(tempstot,fhf,0.1);
```

```
amplitude = [amplitude zeros(1,Nt-10*Np) signal/16] ;
```

```
amplitude = [amplitude zeros(1,Nt-10*Np-Ndebut+1)] ;
```

```
temps = 0:1/fech:(Nt-1)/fech;
```

```
%figure;
```

```
% plot(temps*1000,amplitude);
```

```
%hold on
```

```
%xlabel('Temps (ms)')
```

```
%ylabel('Amplitude')
```

```
%title('Signal à extraire')
```

```
% signal à traiter
```

```
amplitudel = amplitude+bruit_filtre;
```

```
%amplitude = bruit_filtre ;
```

```
% définition du vecteur temps
```

```
temps = 0:1/fech:(Nt-1)/fech;
```

```
%figure;
```

```
%plot(temps,amplitude);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
figure
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
axes('fontSize', 18, 'FontWeight', 'bold', 'FontName', 'Arial');
```

```
set(legend,'FontSize',18, 'Fontname', 'Bold');
```

```
hold on
```

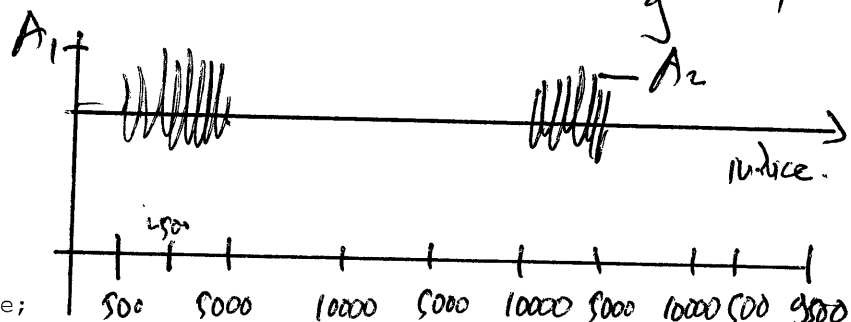
```
plot(temps*1000,amplitudel,'linewidth',2);
```

```
grid on
```

```
hold on
```

```
xlabel('temps (ms)')
```

```
ylabel('amplitude')
```



Amplitude 3 fois plus faible
 $A_2 \approx \frac{0.49}{9} \approx 0.05$

```

title('signal à traiter')
% impression d'une figure postscript et png
%print -depsc -tiff gaussbruit.eps;
%print -dpng gaussbruit.png;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Sauvegarde des données (groupe TD1)
% recfname = './donnees/TD1';          % Nom du fichier du vendredi
recfname = './signaux/TD1';            % Nom du fichier du lundi
extention = '.mat';
[framestring,err] = sprintf('%0.3d',jj);

% nom du fichier avec extention variable
save([recfname framestring extention], 'temps','amplitude');
%save('signalTD12007.mat','temps','amplitude');
%save('TD7_TS_2007.dat','temps','amplitude');

% Sauvegarde des données (groupe TD2)
recfname = './signaux/TD2';            % Nom du fichier
extention = '.mat';
[framestring,err] = sprintf('%0.3d',jj+1);

% nom du fichier avec extention variable
save([recfname framestring extention], 'temps','amplitude');
%save('signalTD12007.mat','temps','amplitude');
%save('TD7_TS_2007.dat','temps','amplitude');

end

%break
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
axes('fontsize', 18, 'FontWeight', 'bold', 'FontName', 'Arial');
set(legend,'FontSize',18, 'Fontname', 'Bold');
hold on
plot(amplitude(1:40000),'linewidth',2);
grid on
hold on
xlabel('temps (u.a.)')
ylabel('amplitude (volt)')
title('train d\'onde à extraire ')
% impression d'une figure postscript et png
print -depsc -tiff figure_traitement_du_signal.eps;
print -dpng figure_traitement_du_signal.png;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% fin du programme %%%%%%%%%

```

Le nom du
fichier est
défini ici !
Exemple, pour
jj=1, le nom
est TD1001.mat
pour jj=8, le nom
est TD1008

Bonne nuit
Serge Dos Santos