IRT34 Communications numériques (TP-1)

2024

Partie I : Transmission en présence de bruit blanc gaussien

Un processus aléatoire très couramment utilisé est le bruit blanc. Le bruit blanc est souvent utilisé pour modéliser le bruit thermique dans les systèmes électroniques. Par définition, le processus aléatoire $X(t)$ est appelé bruit blanc si $S_X(f)$ est constant pour toutes les fréquences. Par convention, la constante est généralement désignée par $\frac{N_0}{2}$.

Le processus aléatoire $X(t)$ est appelé processus de bruit blanc si

$$S_X(f) = \frac{N_0}{2}, \quad \text{pour tout } \ f.$$

Avant d'aller plus loin, calculons la puissance attendue en $X(t)$. Nous avons

$$\begin{aligned} E\big[X(t)^2\big] &= \int_{-\infty}^{\infty} S_X(f)\, df \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{N_0}{2}\, df = \infty. \end{aligned}$$

Ainsi, le bruit blanc, tel que défini ci-dessus, a une puissance infinie ! En réalité, le bruit blanc est en fait une approximation du bruit observé dans les systèmes réels.

Le bruit thermique dans les systèmes électroniques est généralement modélisé comme un processus de bruit gaussien blanc. On suppose généralement qu'il a une moyenne nulle $\mu_X = 0$ et qu'il est gaussien.

On appelle rapport signal sur bruit (SNR pour *Signal-to-Noise Ratio*) le rapport entre l'énergie du signal sur l'énergie du bruit b :

$$SNR = \frac{E_s}{E_b}$$

Le SNR est souvent représenté sur une échelle logarithmique (en décibel ou dB) :

$$SNR_{dB} = 10\log_{10}(SNR)$$

$$SNR_{dB} = E_s(dB) - E_b(dB)$$

L'objectif de ce TP est de modéliser une transmission en présence d'un bruit blanc gaussien (*Additive White Gaussian Noise* ou AWGN). Il est demandé de représenter la variation de l'intensité du signal utile. On peut considéré le cas d'un signal sinusoïdal.

$$x(t) = 10\sin(2\pi t)$$

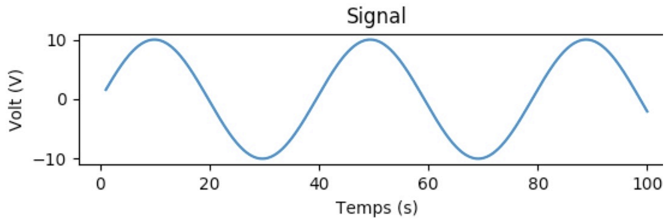
On peut définir une puissance instantanée du signal par :

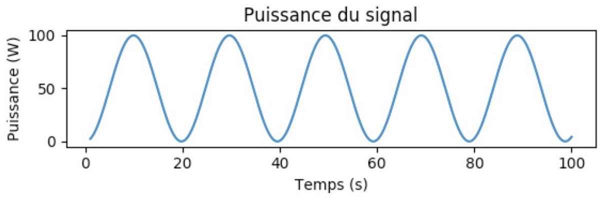
$$P(t) = x(t)^2$$

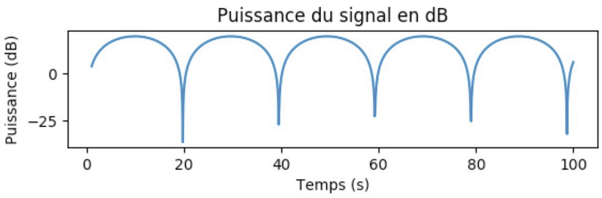
Pour un SNR donné (exemple 20dB), calculer la densité du bruit en fonction d'une puissance moyenne du signal. Donner une expression du bruit aléatoire (utiliser random.normal de numpy).

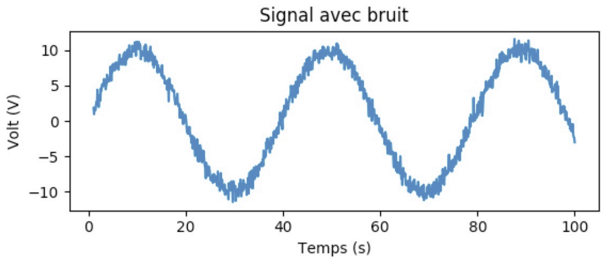
Questions

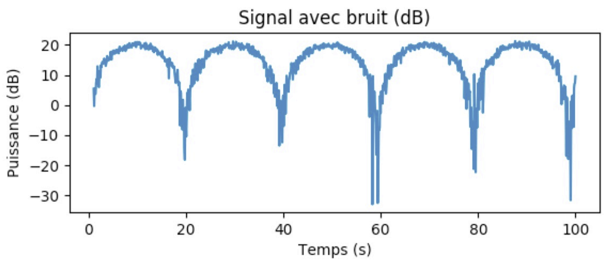
1. Représenter graphiquement la variation du signal en fonction du temps
2. Représenter graphiquement la puissance instantanée du signal
3. Représenter la puissance en dB
4. Ajouter le bruit au signal x(t) et visualiser graphiquement le signal résultant.
5. Refaire (4) pour différents SNR











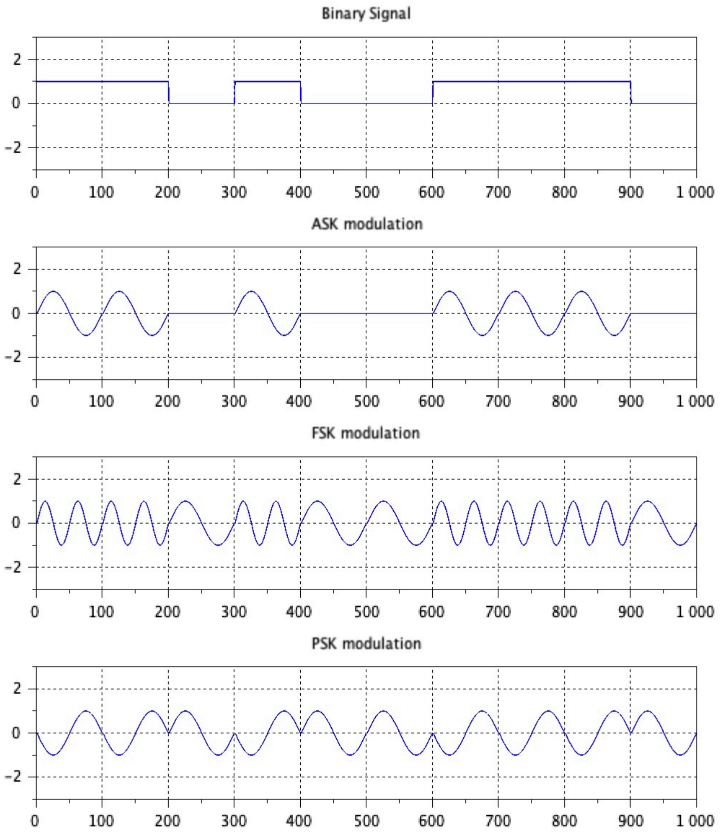
Pseudo code Python :

```python
# Generation du signal
# matplotlib, numpy

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

t = np.linspace(1, 100, 1000)
x = 10*np.sin(t/(2*np.pi))
plt.subplot(3,1,1)
plt.plot(t, x)
plt.title('Signal')
plt.ylabel('Volt (V)')
plt.xlabel('Temps (s)')
plt.show()

P_watts = x ** 2
plt.subplot(3,1,2)
plt.plot(t, P_watts)
plt.title('Puissance du signal')
plt.ylabel('Puissance (W)')
plt.xlabel('Temps (s)')
plt.show()

x_db = 10 * np.log10(P_watts)
plt.subplot(3,1,3)
plt.plot(t, x_db)
plt.title('Puissance du signal en dB')
plt.ylabel('Puissance (dB)')
plt.xlabel('Temps (s)')
plt.show()
# Ajout du bruit blanc pour un SNR cible
# SNR cible
snr_db = 20
```

Partie 2 : Modulation numérique

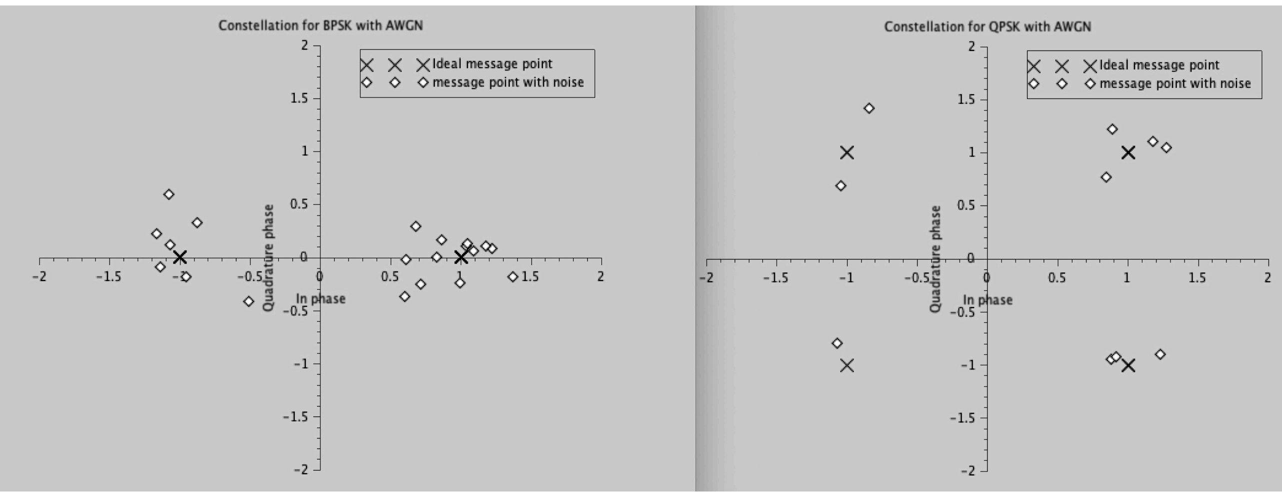
L’objectif de ce TP est de :

1) Représenter les signaux modulés ASK et PSK



2) Représenter la constellation des modulations BPSK et QPSK.

3) Ajouter aux points de la constellation les signaux reçus à travers un canal AWGN.



4) Comparer les performances des modulations BPSK et QPSK sur un canal AWGN.
5) Compare ces performances aux performances théoriques :

$$\mathrm{erfc}(x) \triangleq 1 - \mathrm{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-y^2)\, \mathrm{d}y$$

$$\mathrm{Q}(x) = \frac{1}{2}\mathrm{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$$

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_b}{N_0}}\right)$$