

# UE Sciences et lumière

## Ingénierie Physique

TP3 - questions

houda.hassini@onera.fr

28/03/2024

L'objectif de ce cours est de vous faire découvrir les bases du **traitement du signal**, discipline à la croisée de la physique, des mathématiques et de l'informatique

L'objectif de cette séance est que vous puissiez **choisir la**

**fréquence d'échantillonnage adaptée à l'enregistrement de votre signal, et donc :**

1. connaître le théorème de Shannon
2. connaître l'impact d'un mauvais choix de fréquence d'échantillonnage

Le TP est divisé en plusieurs questions, auxquelles vous pourrez répondre après avoir manipulé les scripts associés.

Le compte rendu peut être fait de façon manuscrite ou informatique. La version informatique permet d'ajouter des images. Ce compte rendu est à rendre sur eCampus à la fin de la séance.

## **1 Un outils d'analyse des fréquences : le spectre**

**Script** : Exercice\_spectre.py

On rappelle que la composition d'un numéro de téléphone sur un téléphone "classique" s'effectue selon la norme DTMF (dual-tone multi-frequency).

Chaque touche correspond à une somme de deux fonctions sinus à deux fréquences différentes. Ces fréquences appartient à un jeu de fréquences "basses" (697 Hz, 770 Hz, 852 Hz, 941 Hz) et un jeu de fréquences "hautes" (1209 Hz, 1336 Hz, 1477 Hz, 1633 Hz). On obtient ainsi 16 combinaisons possibles de fréquences, correspondant aux 16 touches de certains claviers de téléphones :

	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

**Question :**

1. Numériquement, quel est le lien entre la valeur maximum de l'axe des abscisses et la fréquence d'échantillonnage ?
2. Que représente un point sur le graphique de l'analyseur de spectre ? Pour vous aider, expliquer :
  - a) la position en abscisse des pics visibles sur le spectre
  - b) le facteur de proportionnalité entre la valeur en ordonnées des pics

Le numéro de téléphone est 01 45 81 81 29.

(minimum 50 mots, soit environ 5 lignes)

## 2 Impact de la décimation

**Script** : Exercice\_decimation.py

**Attention** : les lignes permettant l'écoute des

## signaux sont commentées. Dé-commentez les pour écouter les signaux avant et après décimation

La décimation d'un signal numérique consiste à réduire le nombre d'échantillons d'un signal en gardant de façon régulière des échantillons :

- Une décimation d'un facteur 2 consiste à garder 1 échantillon sur 2
- Une décimation d'un facteur 4 consiste à garder 1 échantillon sur 4

sans en changer la durée.

### Question :

1. Quel est l'impact de la décimation sur la fréquence d'échantillonnage du signal ?
2. La décimation a-t-elle un impact sur la fréquence du signal retranscrit :
  - a)  $a/4$  ?
  - b)  $a/6$  ?

(minimum 50 mots, soit environ 5 lignes)

## 3 Le théorème de Shannon

**Script** : Exercice\_Shannon.py

La recherche d'un nombre **par dichotomie**<sup>1</sup> correspond à un algorithme itératif permettant de trouver une valeur seuil  $v_0$  au sein d'un intervalle de valeurs que l'on se donne  $[v_{\min}, v_{\max}]$ , à partir de laquelle une propriété donnée est vérifiée.

On sait que la propriété est vérifiée en  $v_{\min}$ , et n'est pas vérifiée en  $v_{\max}$ . Chaque itération vise à diminuer l'amplitude de l'intervalle de valeurs à laquelle la valeur seuil appartient. A la première itération :

1. On détermine la valeur testée  $v$ , correspondant au

---

1. La connaissance de cet algorithme ne vous est pas demandé à l'examen

centre de l'intervalle que l'on se fixe :

$$v = v_{\min} + (v_{\max} - v_{\min}) / 2 = (v_{\min} + v_{\max}) / 2,$$

2. On teste la propriété pour la valeur  $v$ .
3. En fonction du résultat du test, il y a 2 possibilités :
  - Si la propriété est vérifiée, cela veut dire  $v_0$  est supérieure à  $v$ . On met à jour l'intervalle de recherche  $[v_0, v_{\max}]$
  - Si la propriété n'est pas vérifiée, cela veut dire que  $v_0$  est inférieure à  $v$ . On met à jour l'intervalle de recherche  $[v_{\min}, v_0]$
  - On recommence à la première étape avec ce nouvel intervalle de recherche.

Au fil des itérations, la longueur de l'intervalle de recherche diminue et la précision avec laquelle  $v_0$  peut être estimée augmente. L'algorithme se termine lorsque :

- soit un nombre d'itérations donné est atteint (fixé en amont de la recherche de  $v_0$ )
- soit la longueur de l'intervalle est inférieure à une

valeur donnée (fixée en amont de la recherche de  $v_0$ )

### Question :

1. Trouvez, par dichotomie, la fréquence à partir de laquelle la décimation d'un facteur deux modifie la fréquence du signal retranscrit ?

Dans notre cas, la propriété que l'on test dans l'algorithme de dichotomie est : *Le signal décimé d'un facteur 2 retranscrit-il fidèlement le signal de départ ?* Par l'exercice précédent, vous savez que la propriété est vérifiée pour la fréquence  $v_{\min} = 440\text{Hz}$ , mais n'est pas vérifiée pour la fréquence  $v_{\max} = 1760\text{Hz}$ . Vous pouvez vous servir du graphique de la figure 1 pour retrouver la valeur  $v_0$ . Nous nous limiterons à 4 itérations.

2. Reliez cette valeur à la fréquence d'échantillonnage, et à valeur maximale de l'axe des abscisses de

l'analyseur de spectre. Déduisez-en la la valeur minimum de  $f_{ech}$  que vous devez choisir, si vous savez que la fréquence maximale de votre signal est  $f_{max}$ .

(minimum 50 mots, soit environ 5 lignes)

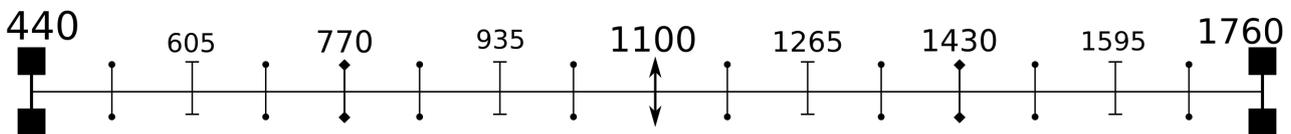


Figure 1 – Graphique permettant la recherche par dichotomie

## 4 La fréquence d'échantillonnage dans le convertisseur numérique analogique

Script : Exercice\_CNA.py

**Question** : Pourquoi est-ce que la fréquence entendue n'est pas celle du signal de référence si je change la fréquence d'échantillonnage lors de la conversion du signal vers l'analogique ? (minimum 50 mots, soit environ 5 lignes)