

# Eléments d'électronique numérique

Intro : Ci-dessous sont recopiées les exigences du programme de PSI concernant l'électronique numérique. Elles sont peu nombreuses et sont toutes d'ordre expérimental.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<b>4. Électronique numérique</b>	
Échantillonnage.	Décrire le mouvement apparent d'un segment tournant observé avec un stroboscope. Expliquer l'influence de la fréquence d'échantillonnage.
Condition de Nyquist-Shannon.	Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'un logiciel de calcul numérique.
Analyse spectrale numérique.	Choisir les paramètres (durée, nombre d'échantillons, fréquence d'échantillonnage) d'une acquisition numérique afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon.
Filtrage numérique.	Réaliser un filtrage numérique passe-bas d'une acquisition, et mettre en évidence la limitation introduite par l'échantillonnage.
Porte logique.	Mettre en œuvre une porte logique pour réaliser un oscillateur.

Le TP n°1 aborde les notions d'échantillonnage, de critère de Shannon et de résolution spectrale.

Un filtre numérique sera réalisé lors du TP n°2.

Un oscillateur à porte logique sera mis en œuvre au TP n° 4.

Les documents joints abordent quelques aspects de la conversion analogique-numérique (CAN), notamment l'échantillonnage et l'explication mathématique du phénomène de repliement de spectre.

Rien de tout cela n'est exigible au programme, mais c'est un vernis culturel inévitable pour résoudre d'éventuels exercices sur ce sujet aux concours.

On retiendra d'ailleurs la **notion de quantification des données** lors d'une conversion analogique → numérique. Elle a sûrement déjà été rencontrée au lycée ou en sup (notamment en informatique), mais une piqûre de rappel ne peut pas faire de mal.

## Description des documents joints :

1. « **ADS\_elecnum.pdf** » : texte donné à l'oral de TIPE, à l'époque où existait encore l'épreuve d'analyse de documents scientifiques. Ne pas lire la page de présentation, mais toute la suite.

On y explique :

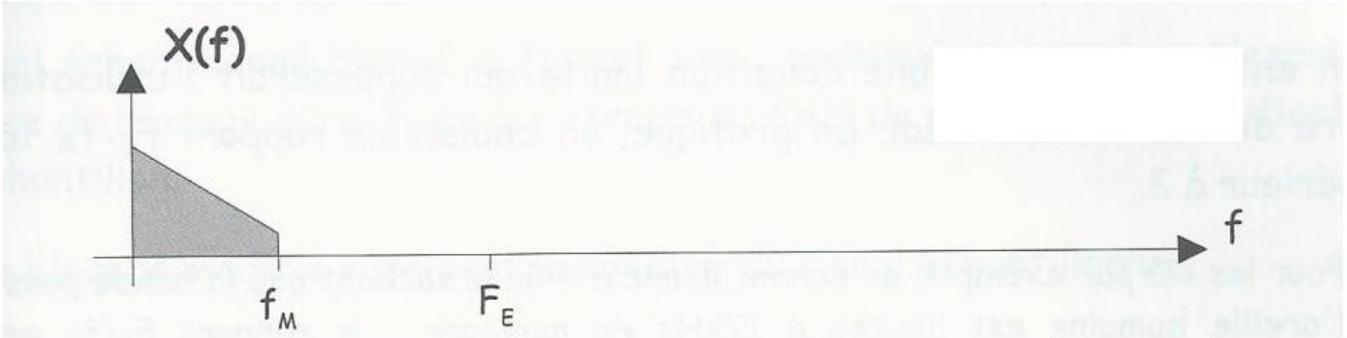
- l'intérêt de la numérisation
- l'échantillonnage, le critère de Shannon et le phénomène de repliement du spectre
- une analogie avec l'effet stroboscopique
- la quantification du signal, i.e. sa discrétisation lors passage analogique (continu) à numérique (discret)

2. Deux fichiers sonores, correspond à la numérisation de trois sons de fréquence comprises dans l'intervalle [1 kHz, 2 kHz]. L'un est échantillonné à 8 kHz (Shannon OK), l'autre à 2 kHz (Shannon pas respecté). Un fichier pdf explique les sons perçus. On entend l'effet de repliement de spectre sur le fichier 2 kHz.

Attention : avec certains lecteurs (VLC par exemple), le fichier 2 kHz ne marche pas. Ce logiciel doit sûrement détecter que les sons ont été mal échantillonnés. Ça marche avec Windows Media (bien-sûr)

3. Ci-dessous un exemple représentant clairement le phénomène de **repliement de spectre**.

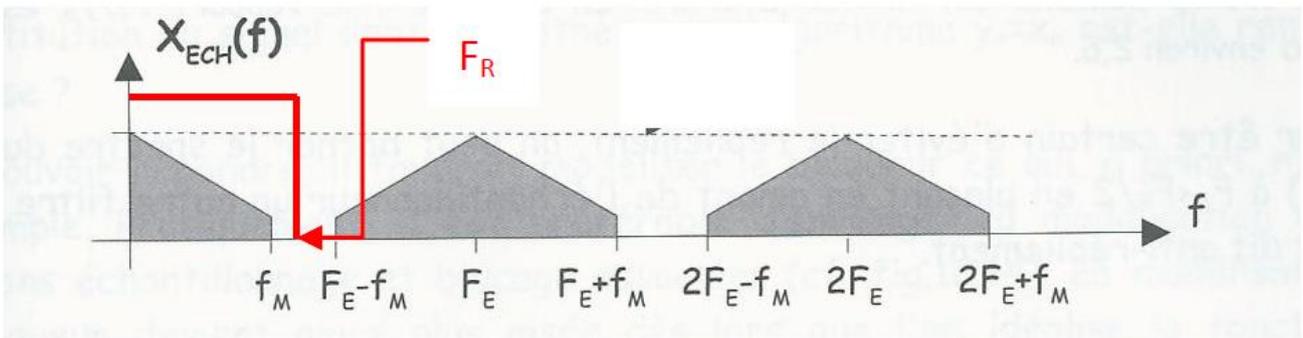
On considère un signal analogique  $X(t)$ , dont le spectre est représenté sur la 1<sup>ère</sup> figure.



Ce signal est échantillonné à la fréquence  $F_E$ . Le signal numérisé obtenu s'appelle  $X_{ech}$ .

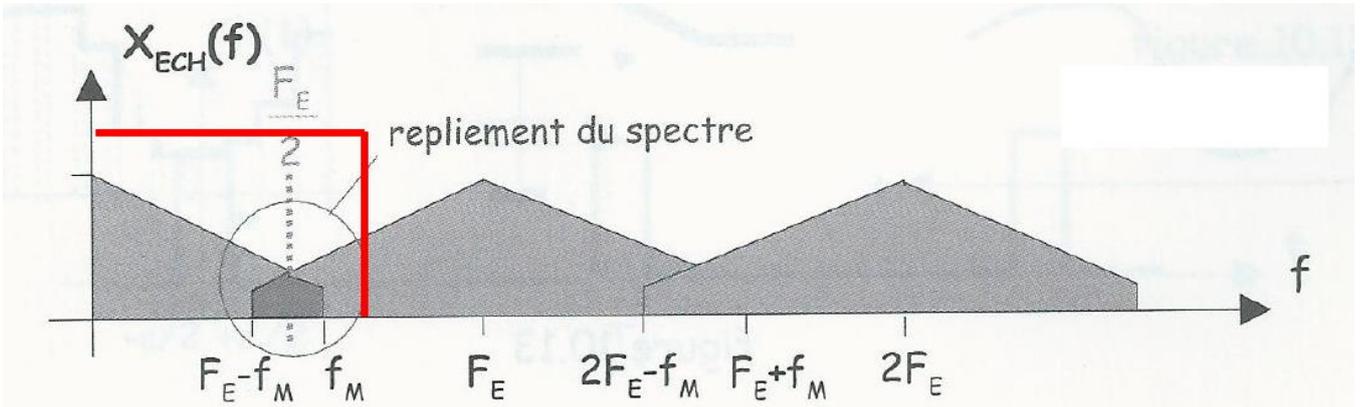
La 2<sup>e</sup> figure représente le spectre de  $X_{ech}$  lorsque le critère de Shannon est respecté :  $F_E > 2 f_m$ .

On remarque qu'un filtre passe-bas idéal (de fréquence de coupure  $F_R$ ) appliqué à  $X_{ech}$  permettrait de retrouver le signal analogique initial  $X(t)$  : *pas de problème*.



La 3<sup>e</sup> figure représente à nouveau le spectre de  $X_{ech}$ , mais le critère de Shannon n'est pas respecté.

On remarque clairement que les différentes parties du spectre de  $X_{ech}$  se chevauchent : c'est le



phénomène de repliement de spectre (NB : les parties qui se recouvrent sont symétriques l'une de l'autre par rapport à une droite située en  $F_E/2$ , comme si on avait replié une partie du spectre sur lui-même).

En appliquant le même filtre passe-bas que précédemment, on ne retrouve pas le spectre du signal analogique d'origine  $X(t)$  : lors de la numérisation, l'information fréquentielle a été « polluée » par le phénomène de repliement de spectre.

4. Vidéo illustrant le repliement de spectre lors de l'échantillonnage de l'enregistrement vidéo (24 images/sec). C'est l'effet stroboscopique dont vous avez déjà entendu parlé (décrit aussi dans le document 1 précédent)

<https://www.youtube.com/watch?v=jHS9JGkEOmA>