

Éléments d'électronique numérique

Les autres documents complémentaires de ce texte 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 ce sont des éléments culturels inévitables pour comprendre ce que l'on peut observer en TP lors de conversion analogique/numérique (LatisPro notamment)

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 PCSI (notamment en informatique), mais une piqure de rappel ne peut pas faire de mal.

Ci-dessous un premier texte introductif

Le monde physique est par nature analogique (dans la quasi-totalité des cas). Il est perçu via des signaux analogiques (son, ondes visuelles, etc.) qui peuvent être traités par des systèmes analogiques (cf. Fig. I.1).



Fig. I.1 – Traitement analogique.

Depuis une vingtaine d'années, le traitement numérique des données prend le pas sur les approches purement analogiques. Le recours au numérique permet en effet un stockage aisé de l'information, une excellente reproductibilité des traitements, la possibilité de développer relativement aisément des fonctionnalités complexes, une réduction des coûts de production, etc.

L'interface nécessaire entre le monde analogique et un traitement numérique donné est réalisé par des convertisseurs analogique – numérique (CAN, ou ADC pour *Analog to Digital Converter* en anglais¹) et numérique – analogique (CNA, ou DAC pour *Digital to Analog Converter*). Le rôle d'un CAN est de convertir un signal analogique en un signal numérique pouvant être traité par une logique numérique, et le rôle d'un CNA est de reconvertir le signal numérique une fois traité en un signal analogique (cf. Fig. I.2).

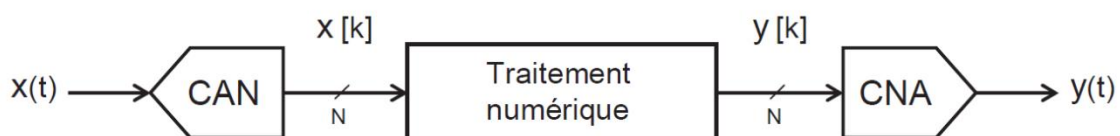


Fig. I.2 – Conversions et traitement numérique des données.

II.1. Principe de la conversion analogique numérique.

Définition : Un convertisseur analogique – numérique (CAN) est un dispositif électronique permettant la conversion d'un signal analogique en un signal numérique.

Cette première définition pour être complète en appelle deux autres, celles des signaux analogiques et numériques :

Signal analogique : signal continu en temps et en amplitude.

Signal numérique : signal échantillonné et quantifié, discret en temps et en amplitude.

Conceptuellement, la conversion analogique – numérique peut être divisée en trois étapes : **l'échantillonnage temporel**, la **quantification** et le **codage**.

La figure II.1 présente successivement ces trois étapes pour un CAN dont la sortie du signal numérique est sur 3 bits :

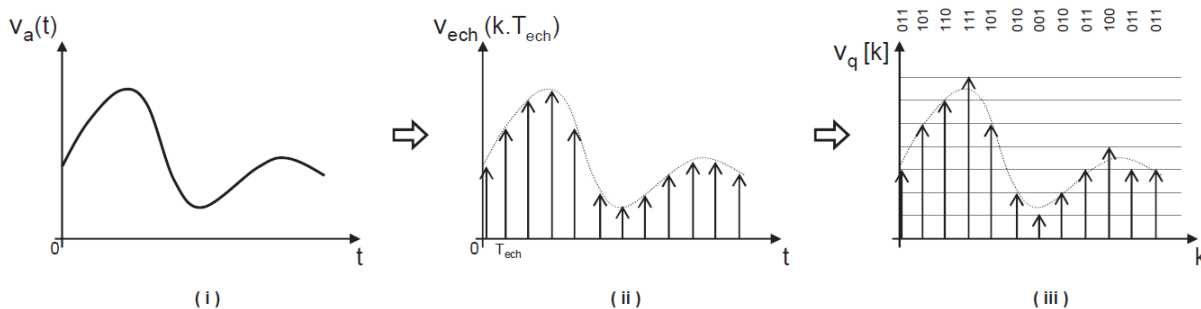


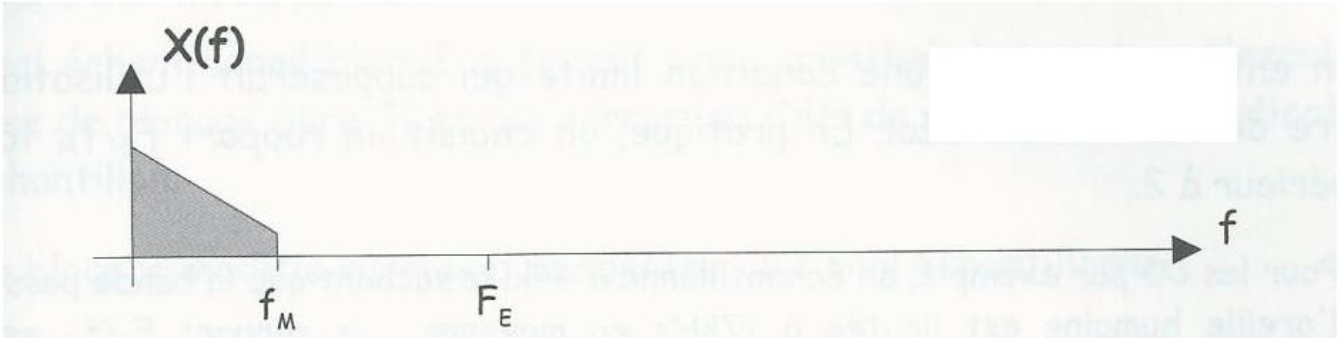
Fig. II.1 – (i) signal analogique (ii) signal échantillonné (iii) puis quantifié.

Un signal analogique, $v_a(t)$ continu en temps et en amplitude (i) est échantillonné à une **période d'échantillonnage** constante T_{ech} . On obtient alors un signal échantillonné $v_{ech}(k.T_{ech})$ discret en temps et continu en amplitude (ii). Ce dernier est ensuite quantifié, on obtient alors un signal numérique $v_q[k]$ discret en temps et en amplitude (iii). La quantification est liée à la **résolution** du CAN (son nombre de bits) ; dans l'exemple précédent $v_q[k]$ peut prendre huit amplitudes différentes (soit 2^3 , 3 étant le nombre de bits du CAN). La figure II.1.iii présente également le code numérique sur trois bits (en code binaire naturel) associé à $v_q[k]$ en fonction du temps.

Description des documents accompagnant ce fichier :

1. 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 n'est pas lisible. Ce logiciel doit sûrement détecter que les sons ont été mal échantillonnés. Essayez plusieurs lecteurs jusqu'à en trouver un qui fonctionne (Windows Media par ex)..
2. Ci-dessous un exemple représentant clairement le phénomène de **repliement de spectre**.

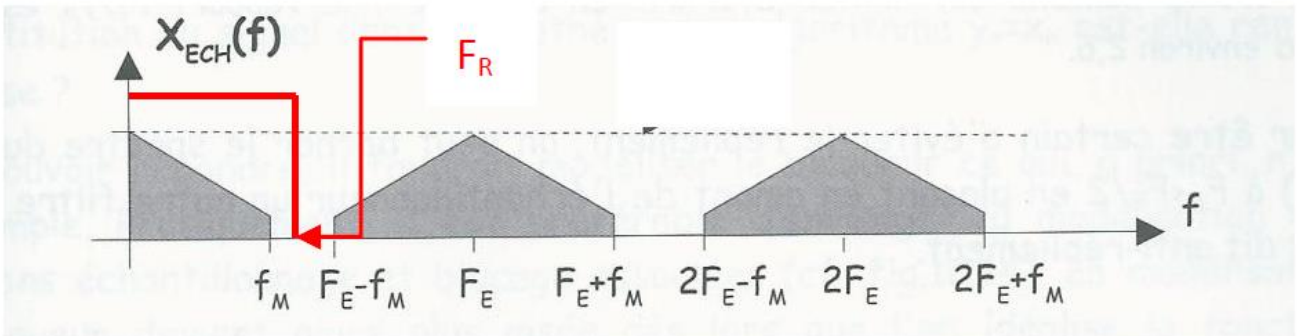
On considère un signal analogique $X(t)$, dont le spectre est représenté sur la 1^{ère} figure.



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

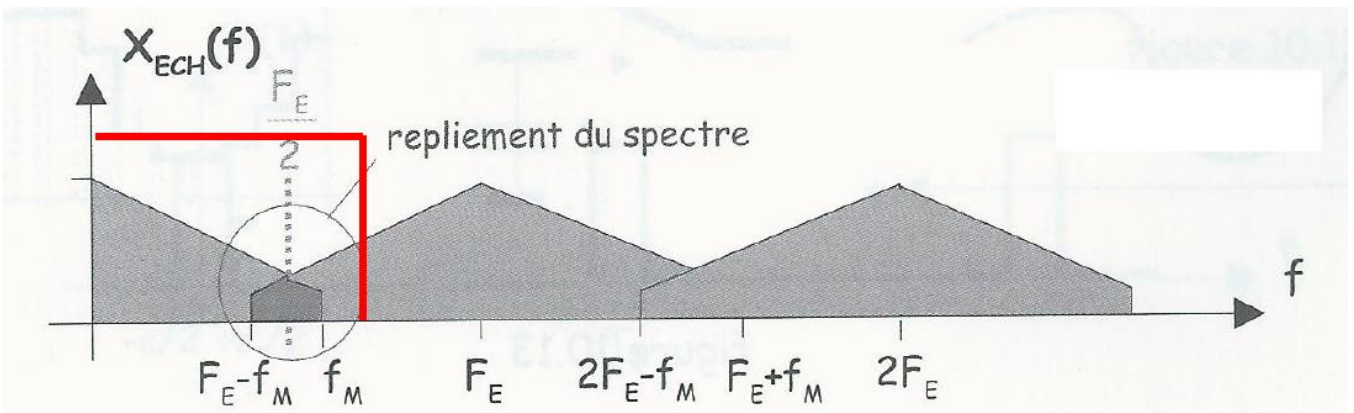
La 2^e figure représente le spectre de X_{ech} lorsque le critère de Shannon est respecté : $F_E > 2 f_m$.

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^e 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.

3. (Pour aller plus loin, facultatif) « TP1_doc2_CAN.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)