

TP4 - Conversion analogique/numérique (CAN) d'un signal.

Introduction :

Le but de ce travail est double :

- comprendre comment un module de CAN numérise un signal analogique, à quelle(s) condition(s) il sauvegarde le plus d'information possible, et occupe le moins de place mémoire possible,
- tester la conversion analogique-numérique de la carte Sysam SP5.

Matériel poste 1 :

- Une clé USB amenée par l'élève.
- Deux générateurs de fonctions analogiques (GBF AOIP ou Beckman).
- Un générateur arbitraire programmable.
- Deux alimentations RAD88 délivrant une tension continue adaptable.
- Une alimentation symétrique continue (ASC) $[-15V ; 0V ; +15V]$.
- Une plaquette de multiplieur à alimenter en $[-15V ; 0V ; +15V]$ (mettre Z à la masse).
- Un oscilloscope 4 voies.
- Une carte d'acquisition **Sysam SP5** reliée par câble USB, à un ordinateur muni du logiciel **Latispro**.
- 2 plaquettes LAB multiconnexions.
- Des composants Radiospare et des puces d'ALI 081.
- Un ordinateur avec les logiciels Latispro et Python.

I. Rappels théoriques

Analyser - à chaque étape de la CAN - le spectre d'amplitude du signal par application de la (TF), est aisé sous le logiciel Latispro ou grâce à des codes Python (fonctions FFT ou RFFT de Numpy).

La transformée de Fourier (TF), hors programme, est omniprésente en physique, notamment dans le domaine du traitement de signal, analogique ou numérique (Python). Elle est indispensable à la compréhension fine des problèmes.

1. Définition de la CAN :

Opérer une CAN c'est transformer un signal analogique représenté par la fonction réelle $[g(t)]$, en un flot de mots binaires codés sur N bits.

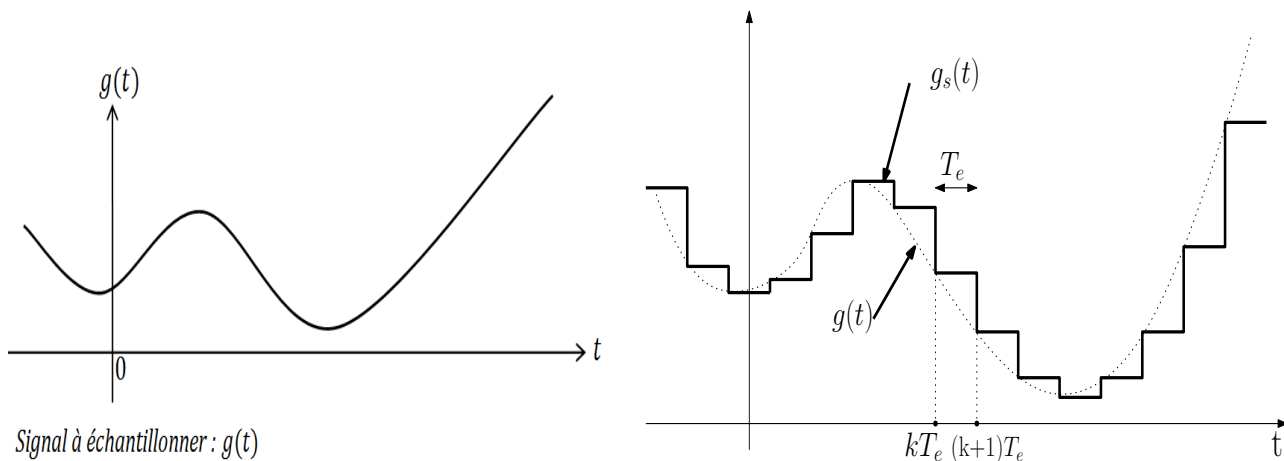


FIGURE 1 – Signal analogique de départ (à gauche). Signal échantillonné-bloqué (à droite).

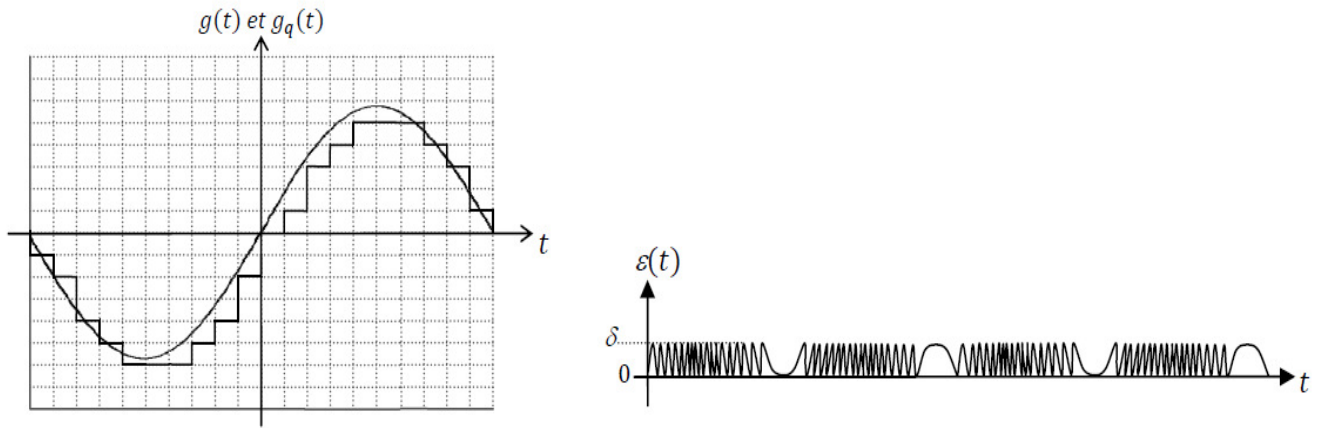


FIGURE 2 – Quantification par défaut et erreur de quantification correspondante.

2. Les 3 étapes de la CAN réelle :

— Échantillonnage-blocage à fréquence d'échantillonnage f_e (fig. 1) :

c'est la transformation de $g(t)$ en un signal échantillonné-bloqué $g_s(t)$, représenté par une fonction *en marches d'escalier* $[g_s(t)]$ telle que :

$$\forall k \in \mathbb{Z} , \quad \forall t \in [k T_e ; (k + 1) T_e[\quad g_s(t) = g(k T_e) .$$

— Quantification (figure 2) :

c'est la transformation de $[g_s(t)]$ en un signal $[g_q(t)]$ par recalage des «échantillons» $g_s(k T_e)$, sur les valeurs de la grille de quantification sur N bits.

Il existe une quantification par défaut (choix de la valeur immédiatement inférieure) et une quantification centrée (choix de la valeur la plus proche).

La fonction erreur de quantification est donnée par : $t \mapsto \varepsilon(t) = g(t) - g_q(t)$. sa valeur efficace est une mesure du bruit de quantification.

— Codage des valeurs de g_q en mots binaires :

cette opération traduit la valeur de grille $g_q(k T_e)$ en un mot du type 110010110010, et s'effectue en temps réel (dans l'intervalle $t \in [k T_e ; (k + 1) T_e]$).

3. Erreurs introduites par la CAN réelle :

— l'échantillonnage-blocage à fréquence d'échantillonnage f_0 :

- s'il satisfait au critère de Shannon, son seul effet délétère est l'élimination des HF du spectre de g ;

- s'il ne satisfait pas au critère de Shannon (sous-échantillonnage), et en l'absence de filtre anti-repliement, son 2^d effet délétère consiste à injecter au spectre de g_s des fréquences-images appelées *alias*, qui ne font pas partie du spectre de g ;

— la quantification introduit une erreur (ou bruit) de quantification, calculable par un raisonnement statistique, et qui diminue avec le nombre N de bits (figure 2).

— le codage en binaire introduit une erreur aléatoire et assez marginale.

4. Étude spectrale de l'échantillonnage-blocage :

i. Comment obtenir le spectre en TF, du signal échantillonné-bloqué ?

Décomposition du signal échantillonné-bloqué en produit de signaux :

Le signal échantillonné-bloqué $g_s(t)$ est le produit de $g(t)$ par le train d'impulsions $\Theta_{(T_e, \tau)}$ de période T_e et de durée d'impulsion τ , avec $\tau \rightarrow T_e^-$ (**fig. 3**) :

$$g_s(t) = g(t) \times \Theta_{(T_e, \tau)}.$$

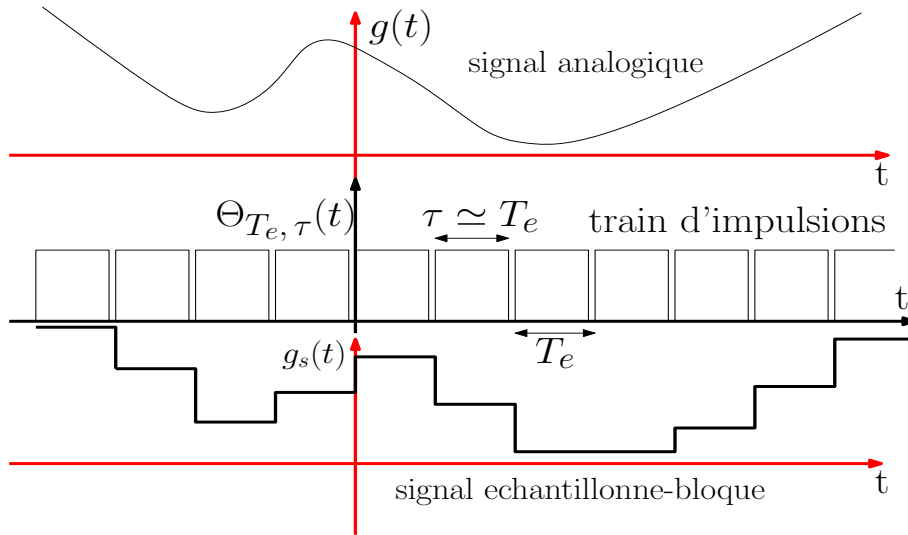


FIGURE 3 – Échantillonner et bloquer un signal, c'est le multiplier par le train d'impulsions.

Spectre de transformée de Fourier :

La (TF) de la fonction $g(t)$ est la fonction :

$$\underline{\hat{G}}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \exp(-j 2 \pi f t) dt.$$

Le spectre en amplitude de g est le graphe de $|\underline{\hat{G}}|(f)$. Son spectre en phase est le graphe de $\arg(\underline{\hat{G}})(f)$ (voir **fig. 4**).

Pour simplifier, supposons que $\underline{\hat{G}}(f)$ a pour support le compact $[-W ; W]$ (**fig. 6**).

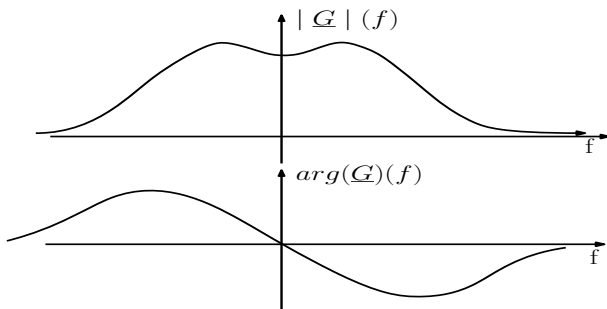


FIGURE 4 – Spectre par TF du signal analogique $g(t)$.

ii. L'échantillonnage idéal du signal $g(t)$ en un signal $g'(t)$ (fig. 5) :

Le signal idéalement échantillonné du signal $g(t)$ est le signal $g'(t)$ qui est le produit de $g(t)$ par le peigne de Dirac $\Pi_{T_e}(t)$:

$$g'(t) = g(t) \times \Pi_{T_e}(t).$$

Si le critère de SHANNON= OK ($f_0 \geq 2W$), alors les spectres sont en figure 6.

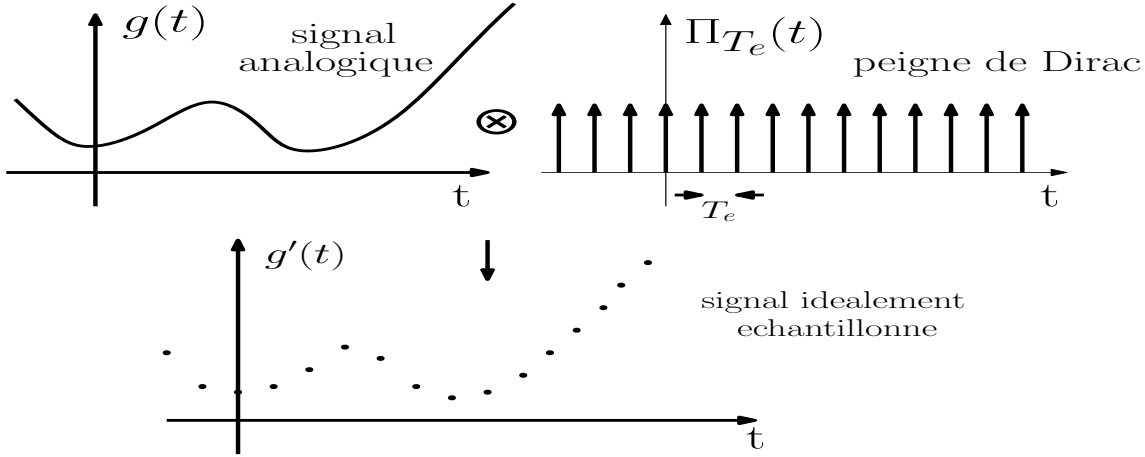


FIGURE 5 – Échantillonnage idéal du signal $g(t)$ donnant le signal idéalement échantillonné $g'(t)$.

Le spectre en amplitude de $g'(t)$ est obtenu par périodisation-réplication aux abscisses $(k f_e)_{k \in \mathbb{Z}}$, du spectre en amplitude de g , sans chevauchement des motifs.

En maths, cette périodisation-réplication se traduit par un produit de convolution (\otimes) :

$$\underline{\hat{G}}'(f) = \underline{\hat{G}}(f) \otimes \hat{\Pi}_{f_e}(f)$$

où $\hat{\Pi}_{f_e}(f)$, [TF du peigne de Dirac $\Pi_{T_e}(t)$ dans le domaine des temps, de période T_e], est le peigne de Dirac $\hat{\Pi}_{f_e}(f)$ dans le domaine des fréquences, de période f_e .

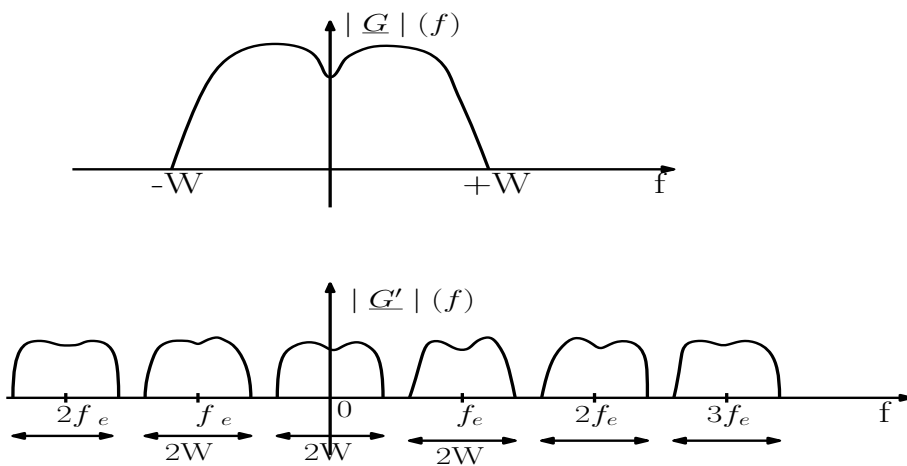


FIGURE 6 – Spectre de $g(t)$ et spectre de $g'(t)$ [cas $f_e \geq 2W$] obtenu par échantillonnage idéal.

Le sous-échantillonnage (idéal \Leftrightarrow prise d'échantillon instantanée) : cas à rejeter ! :

Si le critère de Shannon n'est pas réalisé ($f_0 < 2W$), les motifs répliqués se chevauchent (**fig. 7**).

L'addition de tous les motifs périodisés-répliqués, donne un spectre $|\hat{G}'(f)|$ présentant des fréquences images (alias ou «raies repliées»), conséquences du sous-échantillonnage.

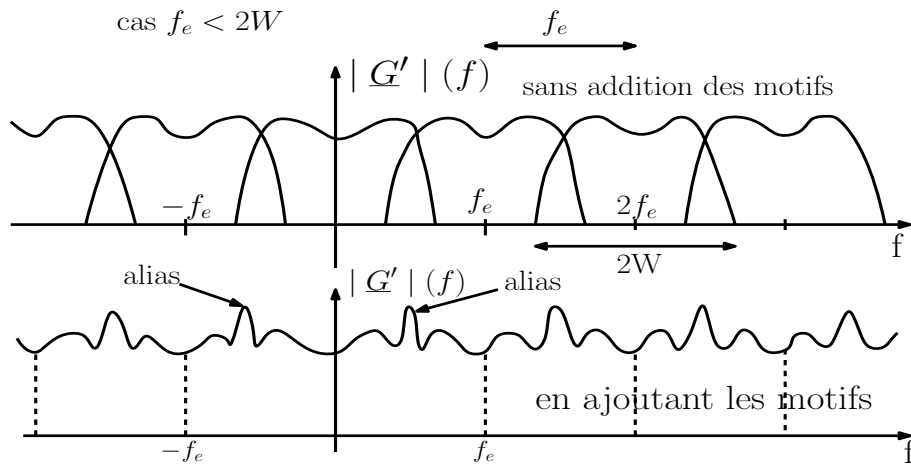


FIGURE 7 – Spectre du signal g' dans un cas de sous-échantillonnage [cas où $f_e \leq 2W$].

Le spectre du signal échantillonné-bloqué $\boxed{g_s(t)}$:

On montre que sa TF est $\boxed{\hat{G}_s(f) = \text{sinc}(\pi f \tau) \times \hat{G}'(f) = \text{sinc}(\pi f \tau) \times [\hat{G}(f) \otimes \hat{\Pi}_{f_e}(f)]}$.

Le graphe de la fonction $|\text{sinc}(\pi f \tau)|$ est en **fig. 8**. Les spectres de $g_s(t)$ et de $g'(t)$ sont en **fig. 9**, **fig. 10** et **fig. 11**.

Le facteur multiplicatif $\text{sinc}(\pi f \tau)$ (TF de la fonction-porte de durée τ), est présent si on bloque l'échantillon $g(t_k)$ pendant la durée τ , et absent lors d'un échantillonnage idéal.

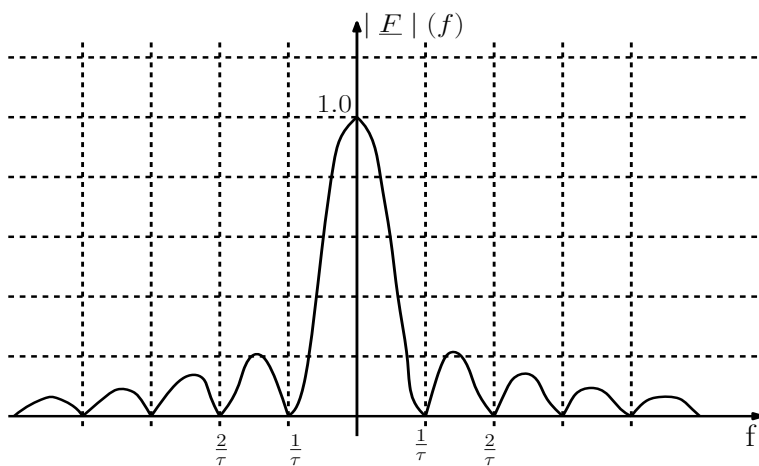


FIGURE 8 – Graphe de $|\text{sinc}(\pi f \tau)|$.

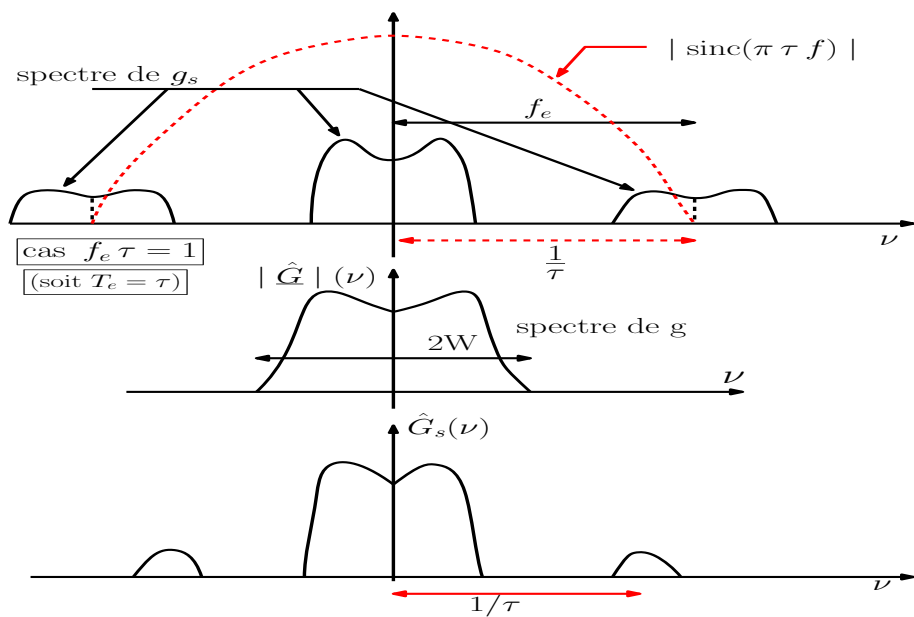


FIGURE 9 – Spectre du signal échantillonné-bloqué quand $\tau \rightarrow T_e$.

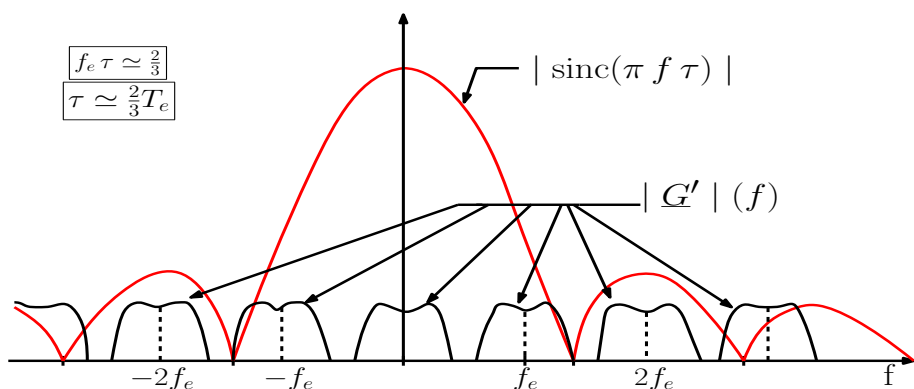


FIGURE 10 – Pour $\tau \rightarrow \frac{2}{3}T_e$: graphe de $f \mapsto |\text{sinc}(\pi f \tau)|$ et de la TF du signal $g'(t)$ avec critère de Shannon.

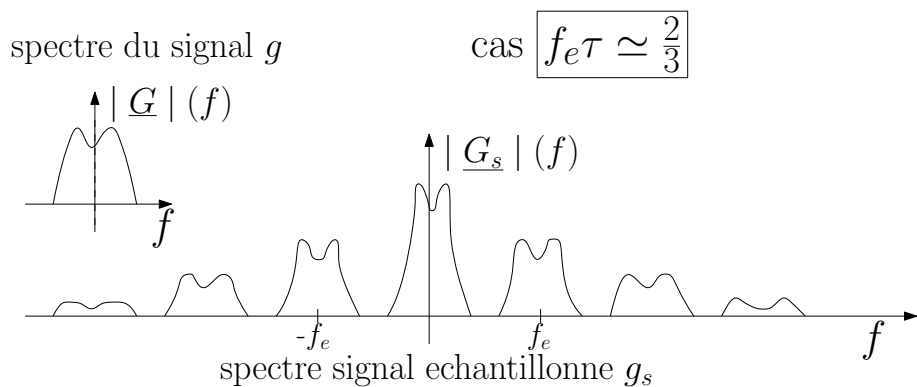


FIGURE 11 – Spectre du signal échantillonné-bloqué pour $\tau \rightarrow \frac{2}{3}T_e$.

iii. Conditions d'un échantillonnage-blocage respectueux du signal :

Test de la restitution après échantillonnage :

l'échantillonnage est valable si on peut restituer le signal $g(t)$ en appliquant à $g_s(t)$ un filtre passe-bas de fréquence de coupure telle que $f_c \simeq \frac{f_e}{2} \gtrsim W$. Ainsi, est-ce la plage spectrale $[0; \frac{f_e}{2}]$ qui est pertinente.

Il est crucial que dans $[0; \frac{f_e}{2}]$, le spectre de g_s soit aussi conforme que possible à celui de g .

Les figures 9 à 11 montrent que le blocage de chaque échantillon pendant une durée τ :

- module le spectre en amplitude du signal $g'(t)$ par $|\text{sinc}(\pi f \tau)|$, le pic principal du sinus cardinal étant d'autant plus large que τ est plus faible ;
- affine ainsi le motif principal (centré sur $f = 0$) du signal échantillonné-bloqué, l'amputant des termes de HF du spectre d'amplitude de g ; cette perte de fréquences aigües est d'autant plus importante que τ est plus grande (dans l'intervalle $[0; T_e]$).

Cependant, on choisit $\tau \rightarrow T_e$, afin que le module de quantification et codage ait le temps d'opérer.

II. Première manip. : l'échantillonnage-blocage réalisé avec un GBF arbitraire et un multiplieur

On réalise un échantillonnage «maison» en utilisant un multiplieur (**fig. 12**), et en générant un train d'impulsions $\Pi_{T_e, \tau}(t)$ et un signal à échantillonner $V_a(t)$ au GBF arbitraire.

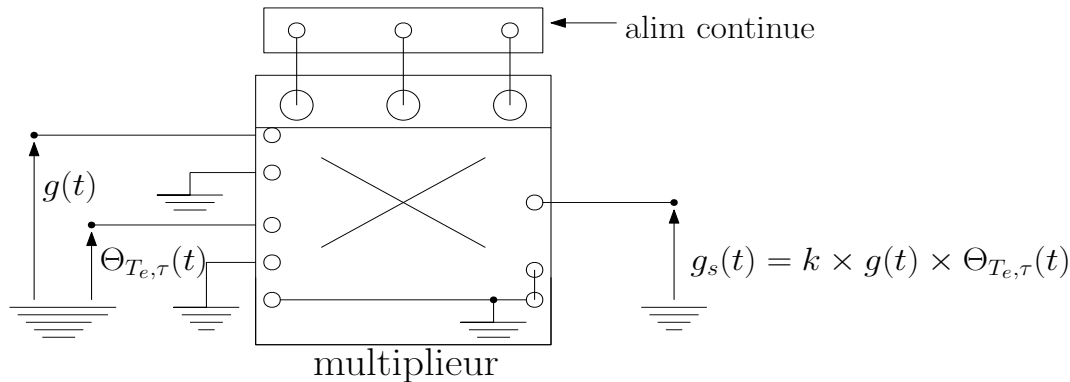


FIGURE 14 – Montage échantillonneur à multiplieur.

1. Spectre d'un signal $V_a(t)$ et de son signal échantillonné :

- Le multiplieur (bien polarisé, de Z à la masse, de masse reliée à celle du générateur arbitraire) va multiplier le signal $g(t)$ analogique, par le train d'impulsions $\Theta_{T_e, \tau}(t)$. Le produit (signal échantillonné) est noté $g_s(t)$.
- Le premier signal d'entrée $g(t)$, délivré par le générateur arbitraire en sortie 2, est **sinusoïdal** (Sine), de fréquence $f = 50\text{Hz}$, d'amplitude crête à crête $V_{pp} = 12\text{V}$.
- Le second signal d'entrée est le **train d'impulsions** $\Theta_{T_e, \tau}(t)$ (PULSE) délivré par le générateur arbitraire en sortie 1, de fréquence $f_e = 2\text{ kHz}$, de largeur d'impulsions $\tau = \eta T_e$ fixée à l'aide de DUTY (η exprimé en %), d'amplitude crête à crête $V_{pp} = 5\text{V}$.

Régler le train d'impulsions généré par le GBF :

L'offset du train d'impulsions doit être réglé finement *par retouches successives*, pour que la valeur plancher du train soit égale à **zéro**, le plus précisément possible.

Amplifier progressivement le chronogramme d'oscillo, pour affiner toujours davantage ce réglage d'offset, qui est **crucial** pour le résultat de l'échantillonnage.

Quand le rapport cyclique η (DUTY) est très faible (0.1%), le train d'impulsions tend vers le peigne de Dirac et l'échantillonnage tend vers le cas idéal.

Quand le rapport cyclique η (DUTY) tend vers 100%, l'échantillonneur devient également bloqueur.

Questions :

- i. **Observer** à l'oscilloscope les signaux $g(t)$ et $g_s(t)$, les importer dans Latispro, en tracer et imprimer les spectres, dans différents cas :

critère de Shannon :	réalisé	non réalisé
rapport cyclique du train d'impulsions :	très faible	quasi 100%
signal échantillonné	échantillonnage quasi-idéal	échantillonnage-blocage
	sinusoïdal	en créneaux ou triangulaire

Dans chaque cas, pour une fréquence du signal à échantillonner $f \in (0.6\text{kHz} ; 4\text{kHz})$ et en variant $\frac{\tau}{T_e}$:

- ii. Mesurer les fréquences des raies présentes. **Dire** si le critère de Nyquist-Shannon est vérifié.
- iii. **Expliquer** l'origine $n f$ (normale) ou $(k f_e \pm n f)$ (repliée) de chaque fréquence du spectre de $V_s(t)$.
- iv. **Dire** dans quelle mesure le signal échantillonné-bloqué conserve l'information contenue dans le signal $g(t)$.

Tirer les règles d'un bon échantillonnage

Le critère de Nyquist Shannon est-il suffisant ou un peu *soft*, si l'on veut garder la quasi totalité de l'information du signal analogique $g(t)$?

Le blocage fait-il perdre beaucoup d'aigus ?

Expliquer l'intérêt d'un filtre anti-repliement et où l'on doit le placer.

2. Tracer avec un code Python, le spectre de Fourier d'un signal affiché à l'oscilloscope :

Extraits du programme :

Capacité numérique : calculer, à l'aide d'un langage de programmation, la transformée de Fourier discrète d'un signal numérique.

Calculer la transformée de Fourier discrète d'un signal à valeurs réelles en utilisant la fonction `rfft` de la bibliothèque `numpy.fft` (sa spécification étant donnée).

Au laboratoire :

L'oscilloscope 4 voies (Agilent...) permet de sauvegarder un signal échantillonné par l'oscilloscope au format csv.

Python peut alors récupérer ces données et les traiter pour faire une analyse de Fourier discrète.

Protocole d'acquisition/numérisation du signal $g_s(t)$ sur clé USB :

* Connecter la sortie du générateur BF arbitraire délivrant le signal g_s à une des voies d'entrée de l'oscilloscope Agilent.

* Connecter la clé USB sur la face avant de l'oscilloscope.

"Utility"	"Explor. fichiers"	"Ap. pr aller USB"	⇒ lecture des fichiers de la clé USB
"Save Recall" (face avant oscillo)	"Enregistrer"	"Format PNG" (menu en bas)	choisir le format "Données CSV" en tournant le bouton "Push to select"
"Appuyer pour enregistrer"			

Le message " Fichier enregistré avec succès" apparaît fugitivement.

Protocole de conversion du fichier CSV de données-string en deux listes Python de données-float :

- Enlever la clé de la face avant de l'oscillo pour la brancher sur la face avant de l'ordinateur.
- Ouvrir l'explorateur de fichiers, (3^{eme} icône en bas de l'écran de l'ordi. en partant de la gauche), et sélectionner (en cliquant) " disque amovible".
Si on ne reconnaît pas le fichier de données qu'on vient de sauvegarder sur la clé usb, trier les fichiers de cette clé par dates. Usuellement, ce fichier s'appelle "scope_0" et son type est CSV.
- Cliquer sur le fichier "scope_0". L'ordinateur l'ouvre sous forme d'un tableau Excel. Il possède 2000 lignes et chaque ligne comporte une unique cellule remplie. Cette cellule contient deux données : une date t (en seconde) et une tension $g_s(t)$ (en Volt), séparées par une virgule, le tout encadré par des apostrophes.
- Cliquer sur la première icône du menu situé en bas de l'écran de l'ordi. (globe terrestre), puis sélectionner " tous les programmes", puis sélectionner "Pyzo". Dans la fenêtre "bienvenue dans IEP" choisir "OK".

- Si on s'est loggué au réseau Joffre avec son identifiant et son mdp, on est par exemple dans :

$C : \backslash USERS \backslash BERGER1.$

Pour traiter dans Pyzo le fichier de données "scope_0", il faut se placer dans le dossier de la clé USB.

- Cliquer sur l'icône de forme carrée munie d'une flèche courbe vers le haut. Les différents dossiers de l'ordi. apparaissent. $C : \backslash$ est le disque dur. Chercher celui de la clé qui es usuellement $F : \backslash$. Cliquer sur l'étoile puis sur la petite flèche de l'icône carrée qui les contient.
- Sélectionner "Go to this directory", puis vérifier dans le *shell* de Pyzo (fenêtre du haut de l'écran), que s'affiche la ligne :

$cd f : \backslash$

On est passé dans le dossier de la clé USB !

- Avec Pyzo, coder une fonction **Lecture_fichier** qui lise le fichier "scope_0" de type CSV, et le transforme en une liste python nommée **data**, dont chaque élément soit une ligne de texte du fichier CSV de départ.
- Coder une fonction **PostTraitement** qui transforme la liste **data** de lignes de texte, en deux listes Python nommées **temps** et **tension**, dont les éléments soient des données de type "float".

Ouvrir à l'aide de Python le code `Code_FFT_VP.py` déposé dans la dropbox de la classe (Sciences Physiques>TP_23_24_nouveaux>TP4_CAN_FOURIER).

Ce code lit un fichier .csv nommé `s_brut`. Il en extrait (à sa manière) les valeurs du temps t et les valeurs de la tension s du signal $s(t)$. Comprendre ce code et l'utiliser pour tracer la transformée de Fourier rapide d'au moins un signal transféré précédemment de l'oscilloscope sur la clé USB.

Dans le même emplacement de la dropbox, vous trouverez un code nommé `conversion-csv`, permettant l'extraction des données du fichier .csv, qui traite également des problèmes de chemin, et absolument commenté. Vous pouvez aussi l'utiliser.

III. 2^{ème} manip. : LA CAN DE LA CARTE SYSAM SP5

1. Réglage possible ou pré-détermination des résolutions :

il y a deux résolutions : l'horizontale et la verticale. En effet, le module CAN comporte :

- un **étage d'échantillonnage blocage** pour lequel on choisit une fréquence d'échantillonnage f_e , où $T_e = \frac{1}{f_e}$ est le pas de temps entre deux prises d'échantillons. Cet étage produit le signal $g_s(t)$ échantillonné-bloqué,
- un **étage de quantification-codage** basé sur une grille de quantification en coordonnées (t, V_s) , de pas horizontal T_e et de pas vertical q .

À l'aide de la grille, cet étage transforme le signal échantillonné-bloqué $g_s(t)$ en un flot de mots binaires codés sur N bits, éjectant un mot toutes les T_e secondes. Le mot éjecté à $t_k = k T_e$ représente la valeur de $g_s(k T_e)$ où $k \in \mathbb{Z}$ [**fig. (2)**].

Supposons qu'on échantillonne un signal $g(t)$ sinusoïdal d'amplitude V_m sur un temps d'enregistrement égal à sa période T . Les résolutions de la CAN sont donc :

- $\frac{T}{T_e} = N_p$ (nombre de colonnes de grille, ou «nombre de points») horizontalement,
- $\frac{2V_m}{q} = 2^N - 1$ (nombre de lignes de grille) verticalement.

Si dans la grille, le niveau bas $-V_m$ correspond au mot 00...00 et le niveau haut au mot 11...11, il y a 2^N mots binaires donc 2^N niveaux et $2^N - 1$ pas de quantification.

$$\text{Donc : } \boxed{q = \frac{2V_m}{2^N - 1}}.$$

La carte SYSAM travaille toujours au maximum de sa résolution car elle met le signal en pleine échelle sur la grille, pleine échelle que l'on peut régler :

- par un réglage de calibre C de tension en échelle verticale,
- par le réglage de T_e et de Δt en échelle horizontale.

2. Mesure d'une résolution verticale : détermination du nombre de bits de codage :

La tension maximale admissible crête à crête sur chaque entrée de la carte SYSAM se règle avec le bouton droit de la souris, en survolant EA0, EA1, ... Selon le calibre C choisi, cette tension maximale est $[-C ; +C]$ avec au choix :

- $[-10\text{V}; +10\text{V}]$
- ou $[-5\text{V}; +5\text{V}]$
- ou $[-1\text{V}; +1\text{V}]$
- ou $[-0,2\text{V}; +0,2\text{V}]$

On veut acquérir un signal sinusoïdal de fréquence $f = 100\text{Hz}$ d'amplitude $V_m = 1\text{V}$ par l'entrée analogique EA0 de la carte. Que vaut C ?

- **Fixer** la durée d'acquisition à $\Delta t = 10\text{ms}$ et le nombre de points (échantillons) à $N = 2000$.
- **Mesurer** la résolution verticale q de la carte pour deux calibres C et C' différents de votre choix (figure 14). Pour cela il faut zoomer, zoomer, zoomer sur un front montant de $V_a(t)$.

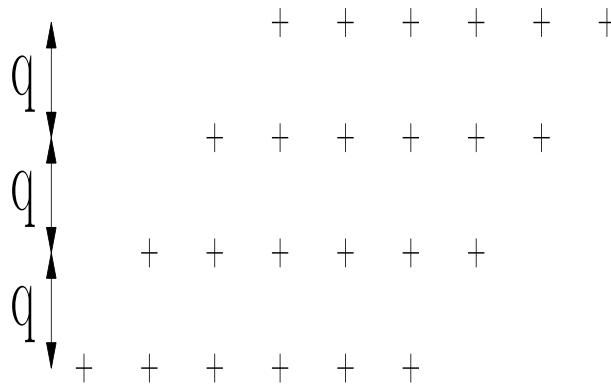


FIGURE 15 – Zoom sur une portion de sinusoïde et mesure du quantum.

- **Établir** que le nombre de bits N est l'entier le plus proche de $\left\lceil \frac{\ln(\frac{2C}{q} + 1)}{\ln 2} \right\rceil$ et le calculer pour chaque calibre possible. Comparer expérience et théorie.

Appeler le professeur pour exposer les résultats obtenus.

3. Choisir la fréquence d'échantillonnage f_e :

f_e est réglable et plus elle est grande, plus le débit du flot binaire généré est grand.

Quel problème un trop grand débit du flot binaire pose-t-il, aux étages situés en aval de la CAN ?

Jusqu'à quelle limite peut-on diminuer f_e si l'on veut numériser correctement ? (Penser au critère de Nyquist-Shannon)

La plage des fréquences audibles est $[20\text{Hz}; 20\text{kHz}]$. La fréquence d'échantillonnage du son doit être au moins 40kHz . Les CD échantillonnent à $44,1\text{kHz}$ et codent sur 16 bits. Les DVD/-SACD échantillonnent sur une plage de $[96\text{kHz}; 192\text{kHz}]$ et codent sur 16 ou 24 bits.

i. Généralités, premier exemple :

lors de l'acquisition d'un signal analogique *via* une entrée de la carte, on peut régler 2 des 3 paramètres suivants :

- Points N_p : le nombre de points, c-a-d d'échantillons, noté N dans Latis);
- Période T_e : la période d'échantillonnage,
- Temps total Δt : la durée totale d'acquisition; si on observe $V_a(t)$ à l'oscilloscope, on prend la fenêtre temporelle affichée à l'oscilloscope.

Questions :

- Quelle relation lie ces trois paramètres ?
- Pour un enregistrement sonore mono-voie fait avec un microphone analogique et la carte SYSAM, de durée 1min, comment régleriez-vous ces trois paramètres ?
- Quelle serait la taille en octets (séquences de huit bits) du fichier de données généré ?

ii. Acquisition d'un signal triangulaire :

soit un signal triangulaire impair de pulsation ω de plage de variations $[-V_m ; V_m]$ dont la décomposition en série de Fourier est :

$$g(t) = \frac{8E}{\pi^2} \sum_{p=0}^{\infty} \frac{1}{(2p+1)^2} \cos [(2p+1)\omega_0 t].$$

— Acquisition à nombre de points constant :

On prend $f = \frac{\omega}{2\pi} = 100\text{Hz}$ et $V_m = 6\text{V}$. On acquiert avec l'entrée EA0 et un nombre de points : $N_p = 200$.

Faire une série d'acquisitions en augmentant progressivement T_e . Dans chaque cas, expliciter f_e et T_e , commenter l'allure du signal acquis. Afficher, imprimer et commenter le spectre en amplitude du signal acquis. Qualifier l'échantillonnage.

— Acquisition à durée totale d'acquisition constante :

On prend $f = \frac{\omega}{2\pi} = 100\text{Hz}$ et $V_m = 1\text{V}$. On veut optimiser le nombre de points, compte tenu de la résolution verticale.

Fixer $\Delta t = 22\text{ms}$ de manière à enregistrer un peu plus de deux périodes du signal acquis. Deux points consécutifs doivent avoir des ordonnées séparées d'une valeur au moins égale au pas q de quantification. En déduire $N_{p,max}$, puis $f_{e,max}$.

Mettre en œuvre un protocole illustrant l'existence de $f_{e,max}$ et conclure.

— Comparer les deux méthodes, à N_p constant ou à Δt constant.

Appeler le professeur pour exposer les résultats obtenus.

4. Détecter des erreurs de quantification :

On acquiert une sinusoïde de fréquence $f = 100\text{Hz}$ appliquée sur l'entrée EA0 de la carte.

- Fixer la durée à $\Delta t = 10\text{ms}$ et le nombre des points à $N_p = 2000$. Quelle sont la période et la fréquence d'échantillonnage ?
- Régler l'amplitude du signal sur une valeur faible de l'ordre de 0,1V à 0,2V.
- Lancer l'acquisition sans synchronisation. Utiliser l'échelle automatique dans Latispro et faire un zoom sur une petite partie de l'écran.
- Répondre aux questions suivantes en expliquant la démarche et le protocole utilisés :
 - i. Mesurer la période d'échantillonnage. L'acquisition est-elle satisfaisante ?
 - ii. Y a-t-il des anomalies ? Comment cela apparaît-il sur la courbe ?
 - iii. Quelle est la plus grande erreur que vous relevez ? Comment s'expliquent les erreurs ?

Appeler le professeur pour exposer les résultats obtenus.

IV. Étude de la CNA opérée par la carte SYSAM SP5 :

Le but est de produire au GBF des ondes de fréquences audibles et d'étudier les performances du module CNA de la carte. Bien que nous observions le signal via un oscilloscope numérique (qui fait une CAN au préalable), son chronogramme sera fidèle à ce qu'afficherait pour lui un oscilloscope analogique, car l'oscillo numérique échantillonne très bien.

- Régler le GBF pour générer un signal $g(t)$ triangulaire de fréquence $f = 1\text{kHz}$ et d'amplitude crête à crête $2V_m = 6\text{V}$.
- Brancher quelques secondes le haut-parleur en sortie du GBF et écouter le son produit, son qui constitue la référence. Via la carte SYSAM, on va numériser ce son, puis le reconvertir en signal analogique, l'envoyer dans le HP et le réécouter pour le comparer à la référence.
- Brancher la sortie SA1 de la carte SYSAM sur la voie CH2 de l'oscillo. Dans l'onglet Émission [✓] choisir « Sortie active » puis « Courbe » et sélectionner EA0.
Ainsi, le signal analogique $g(t)$ reçu en EA0 est-il numérisé (CAN) en $g_s(t)$ par la carte, puis dans un second temps, reconverti par elle en un signal analogique $g_2(t)$ (CNA).
- L'écoute du son correspondant au signal $g_2(t)$ se fait sur le HP branché à la sortie SA1 de la carte SYSAM.
- Avec $N_p = 1000$ points, on fait varier la durée d'enregistrement :

$$\Delta t \in [10\text{ms}, 100\text{ms}, 500\text{ms}, 1\text{s}]$$

et on observe la modification du signal sonore ré-émis en fin de chaîne.

Évaluer, dans chaque cas, la fréquence d'échantillonnage, la *waveform* du signal $g_2(t)$ et la qualité du son ré-émis. Conclure.