

TP1φ : Acquisition numérique de signaux périodiques

Objectifs pédagogiques du TP :

- Élaborer un signal électrique analogique périodique simple à l'aide d'un GBF.
- Visualiser un signal électrique à l'aide d'un oscilloscope et d'une acquisition sur ordinateur.
- Choisir les paramètres pertinents pour acquérir un signal sous forme numérique (conversion analogique/numérique) : fréquence d'échantillonnage, durée d'acquisition et calibre.
- Élaborer un protocole permettant de déterminer le nombre de bits d'une CAN.
- Utiliser l'outil numérique pour analyser le spectre d'un signal.

Matériel disponible :

— Générateur basse fréquence, plaquette d'acquisition Sysam-SP5, logiciels Latis Pro et Oscillo5.

Travail demandé

Dans un compte-rendu, vous expliquerez les **objectifs**, les **protocoles** mis en œuvre, les **observations** et **mesures** réalisées puis effectuerez une **analyse** critique des résultats en évaluant les incertitudes de mesures.

1. Conversion analogique-numérique et choix de la durée d'échantillonnage

-  Régler le GBF pour qu'il délivre un signal sinusoïdal d'amplitude 3V et de fréquence 1kHz. Relier à la voie EA0 et à la terre  Lancer Latis Pro. Vérifier que la voie EA0 est bien en mode **automatique** et pas inactif. Rentrer les paramètres nécessaires à l'acquisition puis acquérir le signal (F10) : on choisira $\simeq 1000$ points de mesure et une durée d'échantillonnage de l'ordre de $T/10$.
-  Mesurer son amplitude, sa période et sa fréquence (on pourra utiliser les **curseurs** pour repérer des points ou utiliser l'outil "Mesure automatique" disponible dans l'onglet **Outils**). Essayer d'ajuster par une sinusoïde (outil "Modélisation") et comparer les fréquences. Est-ce conforme aux attentes ?
-  Répéter l'opération pour des durées d'échantillonnage de l'ordre de $T/5$, $T/2$, T , T et αT ($\alpha > 1$). Noter à chaque fois les valeurs d'amplitude et de période mesurées par LatisPro. Combien de points par période sont nécessaires pour que la période mesurée du signal acquis soit la même que celle du signal émis (critère de SHANON) ?
-  Observer l'influence sur le chronogramme d'un changement de fréquence, d'amplitude, de composante continue (*offset*) sur le GBF. On pourra utiliser le mode permanent de Latis Pro.

2. Détermination du pas de quantification de la CAN

-  Acquérir un signal sinusoïdal d'amplitude $\simeq 0.5$ V, de valeur moyenne nulle et de fréquence $\simeq 1$ kHz avec environ 500 points par période.
-  Déterminer le pas de quantification δu à l'aide d'un zoom sur la crête de la courbe et en utilisant le réticule (clic droit \rightarrow Réticule) ou les valeurs du tableur (onglet Tableur en bas à gauche de l'écran). Est-ce cohérent avec l'indication constructeur de 12 bits ?
-  Modifier l'amplitude du signal et déterminer la valeur à partir de laquelle intervient une saturation.

3. Transformation de Fourier rapide et spectre d'un signal :

-  Acquérir un signal sinusoïdal de fréquence $f \simeq 10$ kHz sur Latis Pro et calculer sa transformée de Fourier. Observer l'influence de la période d'échantillonnage T_e sur le signal acquis, notamment $T_e > 1/f$ et $T_e \ll 1/f$ Qu'observe-t-on lorsque l'on ne respecte pas le critère de SHANON ? Comment la fréquence maximale visible sur le spectre est-elle reliée à la valeur de T_e ?
-  Faire l'acquisition numérique d'un signal créneau de fréquence f à l'aide de Latis Pro puis calculer sa transformée de FOURIER. Vérifier que les fréquences des harmoniques ainsi que leurs amplitudes relativement à celle du fondamentales sont cohérentes avec la décomposition de FOURIER du signal.
- Bonus : Observer l'influence de la largeur Δt de la plage temporelle sur laquelle est calculée la transformée de FOURIER (mode manuel). Que se passe-t-il lorsque Δt n'est pas un multiple de la période T du signal ? Comment la résolution en fréquence δf évolue-t-elle avec la valeur de Δt ? Observe-t-on plusieurs harmoniques pour ce signal *a priori* sinusoïdal ?

I Conversion analogique/numérique (CAN)

La conversion analogique/numérique (CAN) réalisée par les appareils numériques (oscilloscopes numériques, ordinateur avec boîtier d'acquisition et logiciel type Latis Pro, ...) repose sur deux étapes distinctes : l'**échantillonnage temporel (horizontal)** puis, pour chaque valeur discrète du temps échantillonné, la **quantification de la mesure de tension (verticale)** sur un certain nombre de bits. On se propose d'étudier la conversion d'un signal analogique délivré par le GBF en signal numérique avec le logiciel Latis Pro.

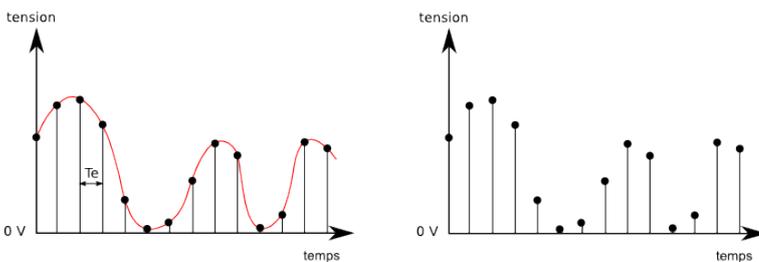
I.1 Échantillonnage : conversion analogique/numérique temporelle

Les phénomènes qui nous entourent sont quasiment tous analogiques, c'est-à-dire décrits par des signaux qui passent d'une valeur à une autre sans discontinuité. Lorsqu'on désire reproduire ou conserver les valeurs d'un phénomène, il faut l'enregistrer sur un support de la façon la plus exacte possible. Deux possibilités s'offrent alors : soit le support physique peut prendre des valeurs continues, auquel cas il va reproduire exactement le phénomène : on parle d'enregistrement **analogique**. Soit le support n'est capable d'enregistrer qu'une suite de nombres, valeurs prises par le phénomène au à des instants discrets du temps : on parle d'enregistrement **numérique**. La mémoire de l'enregistreur n'étant pas infini, il doit se contenter d'un nombre limité de mesures. Les disques vinyles et CD sont le parfait exemple de ces deux types de supports :



À *Gauche* : Signal analogique gravé dans le sillon vinylique d'un 33 tours. Les mouvements du diamant reproduisent de façon continue les variations temporelles de l'onde sonore enregistrée. À *Droite* : Signal numérique gravé à la surface d'un CD : les variations temporelles de l'onde sonore sont enregistrées de façon discontinue par une suite de nombres, codés en binaire par la présence des creux.

De manière générale, tous les moyens modernes de stockage utilisent l'informatique et donc des signaux numériques. En pratique, la numérisation d'un signal (passage de l'analogique au numérique) se fait à l'aide d'une opération d'échantillonnage, qui consiste simplement à mesurer le signal tous les T_e appelée **période d'échantillonnage**.

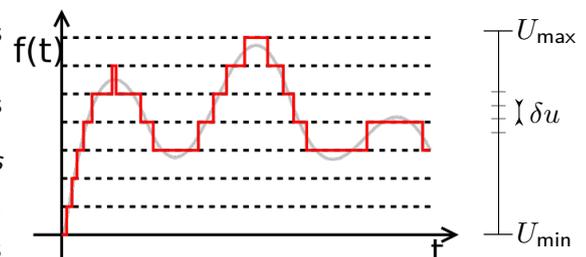


À *droite* : échantillonnage d'un signal physique donc analogique, et à *gauche* le signal numérisé. La représentation temporelle d'un signal analogique est une courbe, tandis que celle d'un signal numérique est une série de points.

I.2 Pas de quantification verticale et nombre de bits de la CAN

À chaque pas d'échantillonnage temporel, le signal mesuré et sa valeur est convertie puis stocké sous forme numérique **binaire**. Ce codage s'appelle la **quantification** : on attribue, à chaque pas de temps, un nombre codé en binaire à la valeur réelle du signal analogique. Le signal qui était continu devient discret (et donc utilisable numériquement par un ordinateur) mais on perd en précision puisque la valeur codée correspond au nombre binaire le plus proche de la valeur vraie du signal (et que deux nombre binaires consécutifs sont espacés d'une valeur fixe).

La tension mesurée est associée à une valeur binaire codée sur n bits. Ces n bits permettent de distinguer 2^n valeurs de tensions différentes. Les tensions minimale et maximale mesurable seront notées U_{min} et U_{max} . Le pas de quantification **vertical** δu est alors défini simplement par $\delta u = \frac{U_{max} - U_{min}}{2^n}$. Plus le nombre de *bits* est grand, plus le pas δu est petit et plus le signal numérisé sera proche du signal analogique : cela revient à pouvoir considérer plus de décimales dans la valeur d'un nombre.



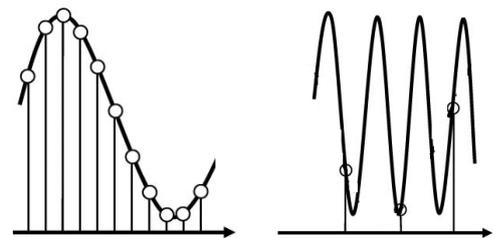
I.3 Interface Latis Pro

The screenshot shows the Latis Pro software interface with the following annotations:

- 6 - Acquisition et la courbe se construit**: Points to the acquisition button in the toolbar.
- 1 - Choix des tensions d'entrée**: Points to the EA0 input selection in the 'Entrées Analogiques' section.
- 2 - Afficher les courbes successives**: Points to the 'Ajouter les courbes' checkbox.
- 3 - Mode d'acquisition**: Points to the 'Temporelle' mode selection.
- 4 - Durée de l'acquisition (peut s'estimer à l'avance) Peut être modifiée en cours de manipulation.**: Points to the '5 s' duration setting.
- 5 - Mode de déclenchement (l'acquisition se lancera lorsque EA0 dépassera 0,01V) Attention, si le condensateur est initialement un peu chargé, et si $U_c > 0,01V$ cela ne déclenchera pas. Peut être modifiée en cours de manipulation.**: Points to the '0,01 V' threshold setting.
- 7 - Clic droit: puis calibrage**: Points to the context menu that appears on the graph.
- * donne les coordonnées du pointeur**: Points to the 'Réticule' option in the context menu.
- * titre, valeurs adoptées...**: Points to the 'Créer Commentaire' option.
- * puis déplacer le pointeur sur la courbe**: Points to the 'Tangente' option.

I.4 Condition de Shannon-Nyquist et repliement de spectre

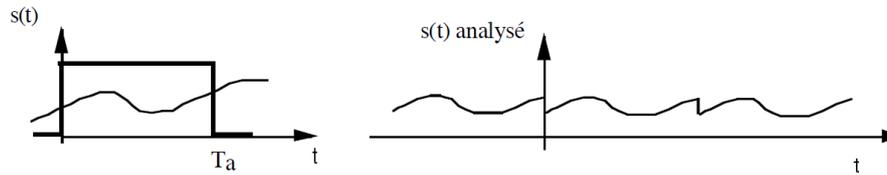
L'opération de numérisation (ou d'échantillonnage) s'accompagne nécessairement d'une perte d'information puisqu'à l'issue de celle-ci on ne possède plus la valeur du signal que pour une liste finie d'instantanés : moins l'échantillonnage est dense et moins le signal sera fidèlement reconstitué à la relecture. Pour réussir à reproduire l'information minimale d'un signal, c'est à dire sa fréquence, il faut au minimum échantillonner deux points par période du signal. Le **théorème de Shannon-Nyquist** traduit ce critère de fiabilité : $f_e > 2f_{max}$



Le spectre d'un signal qui a été échantillonné en violant le théorème de SHANNON fait apparaître des fréquences inexistantes, plus basses que celle du signal original. C'est le phénomène de **repliement de spectre** (aliasing en anglais). Le respect du critère de SHANNON invite donc à choisir une période d'échantillonnage T_e la plus faible qui soit.

II Spectre de signaux numériques – transformation de Fourier numérique

Les algorithmes exécutant l'opération de FFT (*Fast Fourier Transform*) travaillent effectivement sur des signaux de durée finie Δt (**temps d'acquisition** donné) alors que la théorie de FOURIER a besoin de signaux infinis pour établir les harmoniques. Pour remédier à cette contradiction, les logiciels rendent artificiellement le signal infini dans le temps en le "périodisant", c'est à dire en dupliquant régulièrement dans le temps la fenêtre d'acquisition pour le calcul du spectre de FOURIER :



Cette astuce, nécessaire pour un calcul numérique réel, a deux conséquences sur le spectre affiché :

- La fréquence minimale mesurable est bornée du fait de la largeur temporelle finie Δt de la fenêtre sur laquelle est calculée la FFT. La **résolution en fréquence** δf , c'est-à-dire l'écart minimal entre deux fréquences consécutives, est directement reliée à la largeur temporelle Δt de la fenêtre par la relation simple : $\delta f = 1/\Delta t$

- De plus, comme on le voit sur l'exemple ci-dessus, la "périodisation" peut également faire apparaître des discontinuités associées au raccordement des fenêtres. Ces discontinuités, parfaitement répétitives de période Δt , introduisent donc, de façon **parasite**, la fréquence $1/\Delta t$ dans le spectre ! D'où la présence d'un pic parfois très grand sur le premier échantillon du spectre, en $f_r = 1/\Delta t$. Pour y remédier on a recours à un traitement mathématique des bords, appelé **fenêtrage**, qui diminue l'impact de cet effet parasite.

Conclusion : on a intérêt à enregistrer le signal temporel sur un temps $\Delta t = NT_e$ le plus long possible. Cependant, le nombre maximal N de points enregistrables dans la mémoire du support étant borné par le haut ($\simeq 10^5$), il est nécessaire d'augmenter T_e pour atteindre une durée d'acquisition longue. Mais on a vu au paragraphe précédent qu'il était avantageux de diminuer T_e pour respecter Shannon...

Il faut donc trouver un compromis entre l'augmentation de NT_e , profitable pour la résolution fréquentielle, et la diminution de T_e favorable au respect du critère de SHANNON.