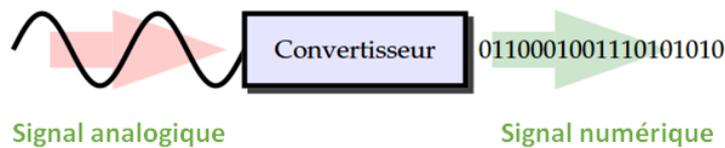




## Conversion : Analogique → Numérique (CAN)

Les signaux que l'on peut capter avec des instruments de mesure sont en général des signaux analogiques, c'est-à-dire des signaux qui varient de façon continue au cours du temps. Par exemple, la température d'un lieu au cours d'un mois est une grandeur analogique.

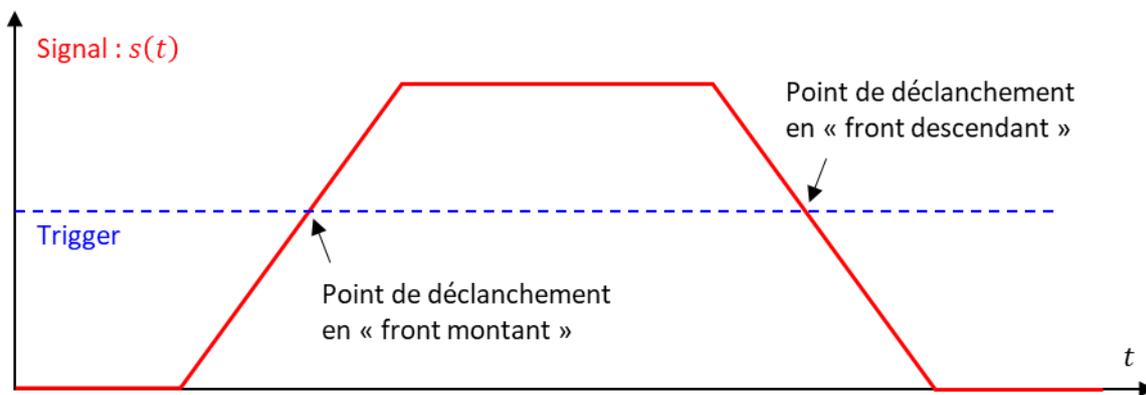
Avec l'usage accru des nouvelles technologies dans la vie quotidienne, la conversion des signaux analogiques en signaux numériques et vice versa est un enjeu crucial. Un signal numérique est un signal qui varie de façon discrète dans le temps. C'est une succession de 0 et de 1, appelés bits (on parle de signal binaire). C'est un signal facile à copier, modifier, envoyer, réceptionner, etc.



Néanmoins, la numérisation « dégrade » le signal. L'objectif de ce TP est de comprendre quels sont les paramètres influençant cette dégradation et quelles sont les précautions à prendre afin de la limiter.

### I - Déclenchement de l'acquisition (le « Trigger »)

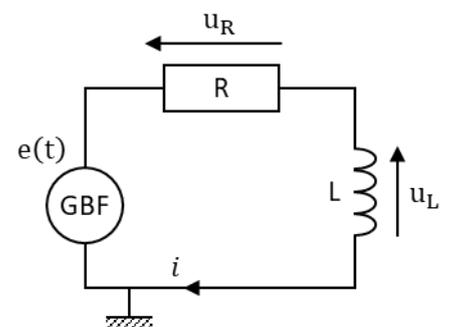
Le dispositif d'acquisition débute l'acquisition du signal à partir du moment où un signal de référence atteint une tension seuil, appelée **tension de déclenchement** ou **trigger**, soit par valeur supérieure (front descendant  $\searrow$ ) soit par valeur inférieure (front montant  $\nearrow$ ). Tant que cette situation ne se présente pas, le dispositif d'acquisition ne déclenche pas l'enregistrement.



☞ Réaliser le montage ci-contre. Générer un signal créneau de fréquence 1 kHz et d'amplitude 5 V. Choisir  $R \approx 1 \text{ k}\Omega$  et  $L \approx 15 \text{ mH}$ . Brancher la carte d'acquisition SYSAM afin de visualiser les tensions  $e(t)$  et  $u_L(t)$ . Ouvrir le logiciel LatisPro et choisir les paramètres suivants :  $N_e = 2000$  points,  $T_e = 500 \text{ ns}$  et  $T_{\text{tot}} = 1 \text{ ms}$ .

☞ Réaliser l'acquisition des signaux en déclenchant sur  $e(t)$  ou  $u_L(t)$  (au choix).

☞ Observer l'influence du choix de la valeur du seuil de déclenchement et du sens de déclenchement (montant / descendant). Observer l'influence du « Pre-Trig ».



## II - Numérisation d'un signal analogique

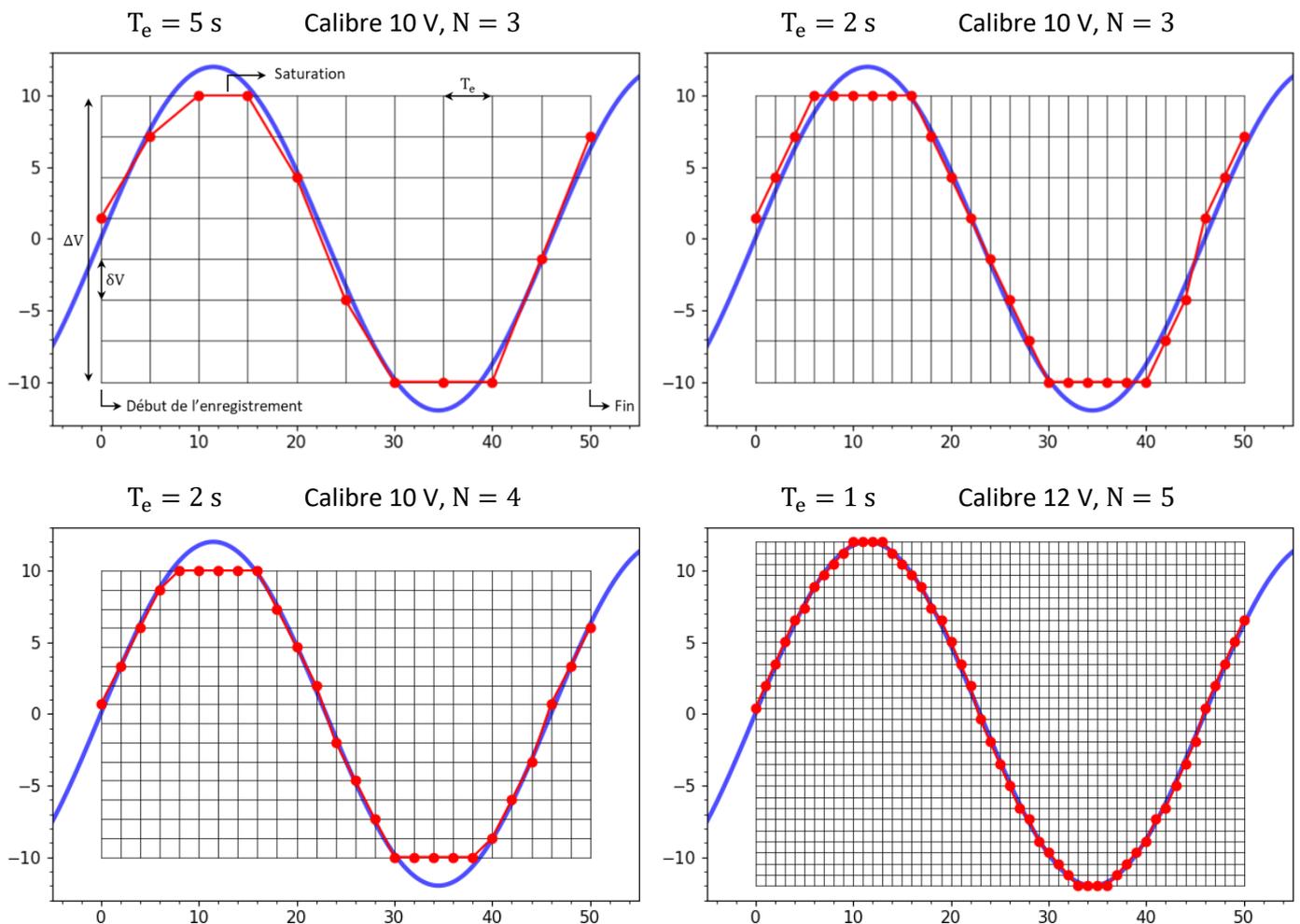
### II.1 - Généralités

Un appareil numérique ne peut enregistrer les valeurs d'un signal que pour :

- des valeurs de temps discrètes → c'est le processus d'**échantillonnage** ;
- des valeurs de tension discrètes → c'est le processus de **quantification**.

Dis autrement, un signal analogique  $s(t)$  vit dans le plan  $\mathbb{R}^2$  mais son analogue numérique vit sur une grille finie de dimension 2.

Exemples :



Nous allons traiter, dans la suite, l'échantillonnage puis la quantification de manière indépendante, sans se soucier de l'autre.

### II.2 - Fréquence d'échantillonnage

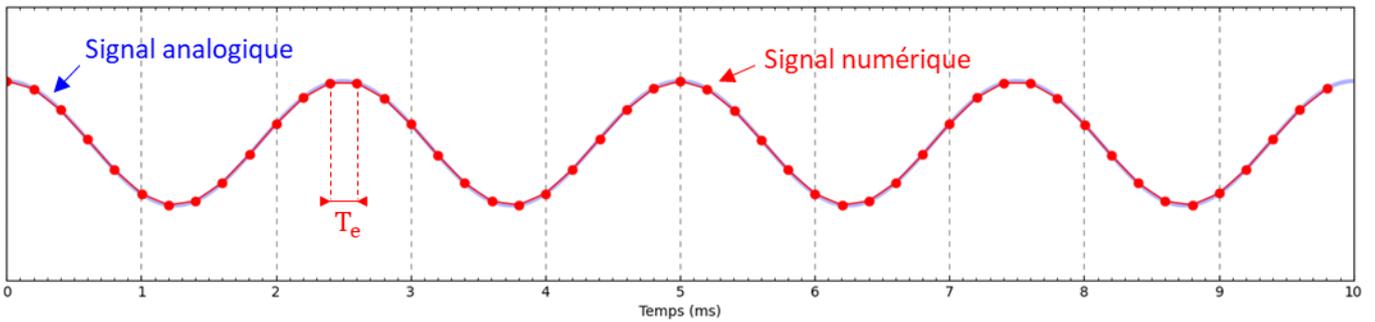
On appelle **période d'échantillonnage**  $T_e$  le temps entre deux mesures successives de la valeur du signal. La durée totale d'acquisition  $T_{\text{tot}}$ , le nombre d'échantillons  $N_e$  et la période d'échantillonnage  $T_e$  sont reliés par :

$$T_e = \frac{T_{\text{tot}}}{N_e - 1}$$

On définit la **fréquence d'échantillonnage**  $f_e$ , égale au nombre d'échantillons par unité de temps.

$$f_e = \frac{1}{T_e}$$

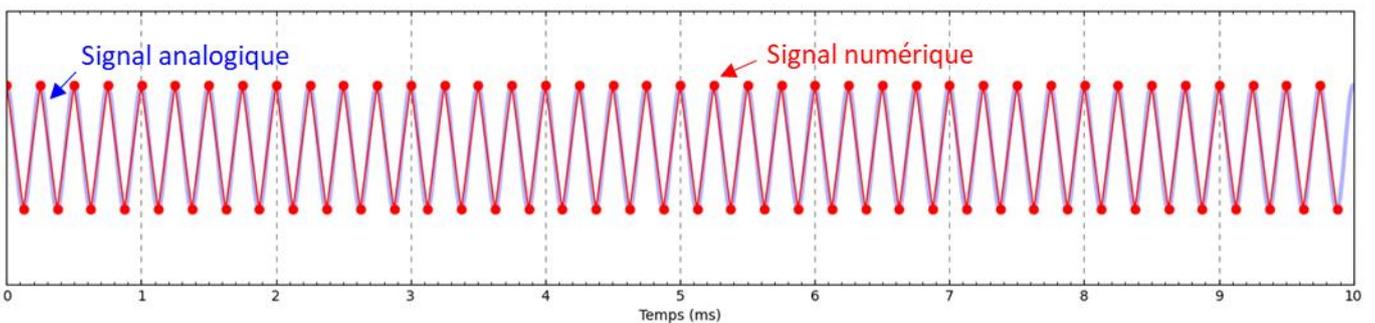
Nous allons voir qu'afin de ne « pas perdre d'information » lors de la numérisation d'un signal, il faut que la fréquence d'échantillonnage  $f_e$  soit « suffisamment » grande, c'est-à-dire que la période d'échantillonnage  $T_e$  soit suffisamment petite.



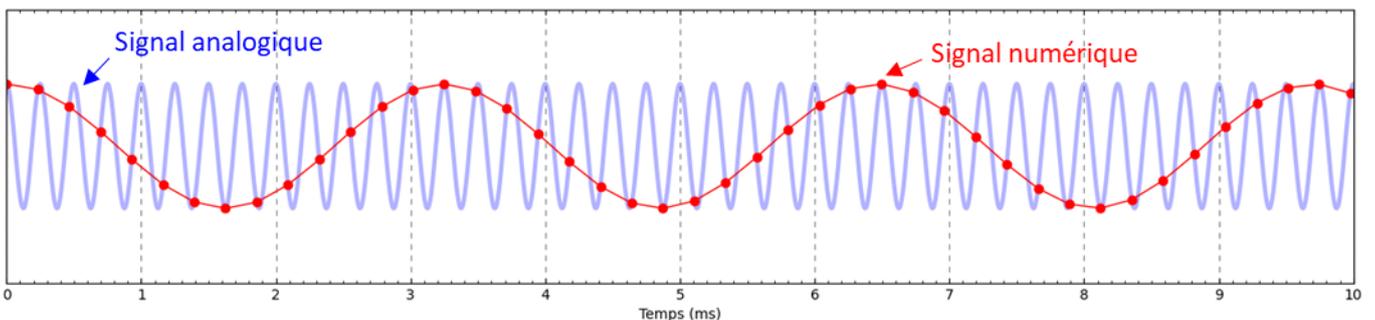
- ☒ Générer un signal sinusoïdal de fréquence  $f_{\text{signal}} = 1 \text{ kHz}$  et d'amplitude 5 V. Acquérir ce signal avec  $N_e = 2000$  points,  $T_e = 50 \mu\text{s}$  (que vaut  $f_e$  ?) et  $T_{\text{tot}} = 100 \text{ ms}$ .
- ☒ Appuyer sur Traitement → Calculs spécifiques → Analyse de Fourier. Cette analyse permet de trouver l'ensemble des fréquences présent dans un signal. Retrouve-t-on bien la fréquence du signal source ?
- ☒ Cocher la case « Mode permanent » pour réaliser une acquisition en continu (appuyer sur « échap » pour arrêter l'acquisition). Augmenter  $f_{\text{signal}}$  et observer en temps direct la fréquence obtenue par l'analyse de Fourier. Déterminer la plus grande fréquence  $f_{\text{signal}}^{\text{max}}$  pouvant être déterminée correctement par l'analyse de Fourier.

**Critère de Shannon ou Nyquist-Shannon** : lors de l'acquisition d'un signal de fréquence  $f_{\text{signal}}$ , il faut que la fréquence d'échantillonnage  $f_e$  respecte la condition :

Concrètement, cela signifie qu'il faut au minimum 2 échantillons par période.



Lorsque ce critère n'est pas respecté, le signal numérisé peut sembler très différent du signal analogique, tant pour l'œil humain que pour l'analyse de Fourier.



- ☒ Expliquer pourquoi les CD sont échantillonnés à 44,1 kHz.
- ☒ La voix humaine est comprise dans une bande de fréquence comprise entre 100 et 3400 Hz. Quelle fréquence d'échantillonnage doit-on choisir pour la téléphonie ?

## II.3 - Quantification

Lors de la numérisation d'un signal, il faut également choisir le **calibre** de l'appareil de mesure. Il correspond à l'amplitude maximal que l'appareil de mesure peut mesurer. Par exemple, un calibre 5 V permet de mesurer des tensions dont la valeur est comprise entre  $-5\text{ V}$  et  $+5\text{ V}$ .

### Choix du calibre

Cette plage de valeur est ensuite divisée en  $2^N - 1$  **intervalles**, appelé **pas de quantification**. On dit alors que **le signal est codé sur N bits** (*Binary digit*).

Ainsi, en notant  $\Delta V$  l'intervalle de tension accessible par le calibre choisi, et  $\delta V$  le pas de quantification, on a la relation :

$$\delta V = \frac{\Delta V}{2^N - 1}$$

Exemples :

| Support des sons | CD audio | DVD     | Téléphonie | Radio  |
|------------------|----------|---------|------------|--------|
| Quantification   | 16 bits  | 24 bits | 8 bits     | 8 bits |

🏠 Un chanteur enregistre l'une de ses chansons. La chanson dure 3 minutes et est enregistrée en 16 bits avec une fréquence d'échantillonnage de 16 kHz. Calculer le poids en octet (1 octet = 8 bits) de la chanson numérisée.

### Étude de la carte d'acquisition SYSAM

🔧 Réaliser la mesure d'une tension sinusoïdale d'amplitude 2 V. Choisir le calibre  $\pm 1\text{ V}$  (le calibre peut être choisi en faisant un clic droit sur la voie d'acquisition) et observer la **saturation** du calibre (ie. le signal prend des valeurs supérieures aux valeurs accessibles par le calibre, cf. illustrations II.1). Déterminer la valeur de  $\Delta V$ .

🔧 Garder le même calibre  $\pm 1\text{ V}$ . Réaliser la mesure d'une tension continue (sur le GBF : ARB → LOAD → BUILT-IN → OTHERS → DC) égale à 0,8 V. Réaliser l'acquisition durant 2 s avec 10 000. Zoomer sur la tension enregistrée et observer la **quantification** le signal. Déterminer la valeur  $\delta V$ . Remarque : *ne pas quitter la fenêtre, elle sera utile pour le traitement statistique.*

🔧 En déduire le nombre N de bits de conversion de la carte d'acquisition.

### Traitement statistique

🔧 Exporter les données : Fichier → Exportation, faire glisser la courbe à exporter dans la colonne « courbes à exporter », choisir le format « CSV » et appuyer sur OK. Nommer le fichier « Calibre1V.csv ».

🔧 Aller chercher le fichier Python « Calibre.py » dans le dossier commun de la classe et en créer une copie dans le même dossier que votre fichier CSV.

Un bout de code déjà écrit permet d'importer le fichier CSV dans Python. Les N mesures sont stockées dans la liste « tension ».

🔧 À l'aide du cours D3, écrire un script permettant de calculer la valeur moyenne des mesures  $\bar{E}$  ainsi que son incertitude-type associée  $u(\bar{E})$ .