

Problématique : comment enregistrer des grandeurs analogiques dans un ordinateur qui ne traite que des informations binaires ?

I) conversion analogique numérique

1) Pourquoi numériser une information?

L'ordinateur ne sait traiter que des informations binaires. On appelle **BIT** (BInary digiT, C. Shannon 1938) le plus petit élément d'information stockable par un ordinateur. **Un bit ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1)** correspondant à deux états possibles d'un élément de circuit électrique (tension présente ou absente aux bornes d'un dipôle). L'opération qui consiste à transformer (ou coder) une information en une suite de bits est appelée **numérisation**. LA numérisation est effectuée par un **convertisseur analogique numérique CAN**.

2) numérisation d'une tension électrique

On se propose de numériser une tension électrique sinusoïdale $U(t)$, produite par un GBF, de fréquence $f = 200$ Hz et d'amplitude:

$$U_m = 2 \text{ V} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2} = U_{\max}$$

$U_m = U_{\max}$ si la tension est symétrique par rapport à 0 V

Cette tension sera numérisée par la carte d'acquisition **Sysam sp5**. La tension électrique $U(t)$ produite par le GBF est appelée **signal analogique**. C'est une grandeur physique qui varie de façon continue au cours du temps. Au cours de sa numérisation, ce signal analogique subit 3 traitements:

- 1) **l'échantillonnage** qui permet de prélever à intervalle de temps régulier T_e , appelé **période d'échantillonnage**, la valeur de la tension analogique. La **fréquence d'échantillonnage** notée **fe** est égale à l'inverse de la période d'échantillonnage: **fe = 1/Te**.
- 2) la **quantification** qui associe à chaque échantillon une valeur déterminée en fonction du nombre de bits d'échantillonnage. Un codage sur n bits permet de coder la valeur de l'échantillon sur 2^n valeurs différentes.
- 3) la **numérisation** qui associe, à la tension analogique, une valeur numérique (1001...)

Exemple 1: considérons une tension comprise entre 0 et 5 V, codée sur 8 bits.

A la tension analogique $U = 0$ V correspondra la valeur numérique 0000 0000

A la tension $U = 5$ V correspondra la valeur numérique 1111 1111

La plus petite variation de tension que peut repérer un CAN est appelée **la résolution ou pas de quantification p** du convertisseur.

Le pas de quantification est donné par la relation:

$$p = \frac{\text{plage de mesure}}{2^n}$$

n : nombre de bits avec lequel le nombre est numérisé
plage de mesure écart entre la valeur U_{\max} et U_{\min} .

Exemple 2: si la tension est stockée numériquement sur 8 bits il existe 2^8 valeurs possibles de tension numérique Si la plage de tension convertible en numérique est de 24 V, le pas de numérisation est :

$$p = \frac{\text{plage de mesure}}{2^n} = \frac{24}{2^8} = 93,75 \text{ mV}$$

Une tension analogique $U = 0$ V correspond au nombre binaire 0000 0000

24 V correspond au nombre binaire 1111 1111

Si la valeur échantillonnée à l'instant 't' est $U = 180$ mV.
 $p < U < 2.p$

La quantification donnera la valeur $2.p$ qui est la valeur la plus proche de U . Le codage binaire de cette tension sera 0000 0010 (ce nombre en base 2 correspond au nombre 2 en base 10).

Q1 Calculer le pas de quantification de l'exemple 1.

Q2 Régler la fréquence du GBF à $f = 200$ Hz. Lorsqu'on mesure avec un voltmètre, en position AC, la tension délivrée par un GBF qui produit des signaux sinusoïdaux, le voltmètre indique la tension efficace U_{eff} telle que:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Calculer la valeur U_{eff} , brancher le voltmètre sur le GBF et régler avec le bouton niveau ou Level la valeur de l'amplitude $U_m = 2$ V.

Q3 Brancher la borne rouge du GBF sur la voie EA0 et la masse du GBF à la masse de la carte d'acquisition.

Réponse

$$\text{Q1 } p = \frac{\text{plage de mesure}}{2^n} = \frac{5,0}{2^8} = 0,019 \text{ V} = 19 \text{ mV}$$

$$\text{Q2 } U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{2,0}{\sqrt{2}} = 1,4 \text{ V}$$

3) importance de la fréquence d'échantillonnage

Q1 Lancer le logiciel Latis pro. Calculer la durée totale d'acquisition pour afficher 2 périodes sur l'écran. Régler le nombre de points d'acquisition à 200 points. En déduire la période d'acquisition T_e et la fréquence d'échantillonnage f_e (on pourra vérifier cette valeur directement dans la boîte de dialogue acquisition). Lancer l'acquisition en appuyant sur la touche F10. Observer la tension numérisée, la fréquence d'échantillonnage est-elle bien adaptée à la conversion du signal analogique?

Q2 Régler maintenant le nombre de point à 10. Lancer l'acquisition en appuyant sur la touche F10. Observer la tension numérisée, calculer la fréquence d'échantillonnage f_e . Est-elle bien adaptée à la conversion du signal analogique? Conclure sur la relation qu'il doit exister entre la fréquence d'échantillonnage et la fréquence de la tension

numérisée afin d'obtenir un signal numérisé de bonne qualité.

Q3 Régler 2000 points de mesure en laissant la même durée totale d'acquisition, lancer l'acquisition, puis, à l'aide de la loupe déterminer le pas p de quantification.

Q4 Sachant que la plage de mesure de la carte d'acquisition est $U = 20 \text{ V}$ (acquisition de tension comprise entre 10 V et -10 V) et que la tension est numérisée sur $n = 12$ bits, calculer le pas théorique et le comparer au pas trouvé expérimentalement.

Réponse

Q1 durée totale d'acquisition:

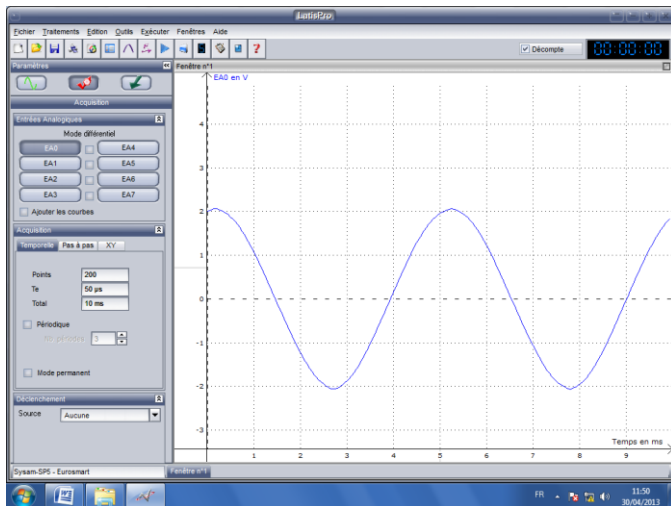
$$\Delta t = 2.T = 2. \frac{1}{f} = \frac{2}{200}$$

$$\Delta t = 2,0 \times 10^{-2} \text{ s} = 10 \text{ ms}$$

$$\Delta t = (\text{nombre de point s}).T_e$$

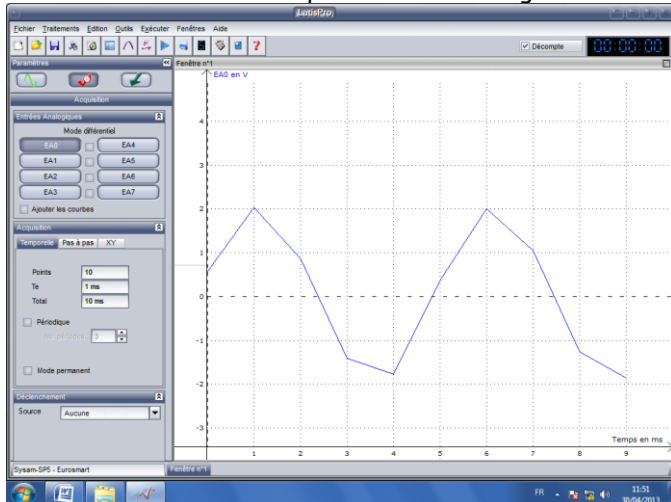
$$T_e = \frac{\Delta t}{\text{nombre de point s}} = \frac{10}{200} = 0,050 \text{ ms}$$

$$f_e = \frac{1}{T_e} = \frac{1}{0,050 \times 10^{-3}} = 2,0 \times 10^4 \text{ Hz}$$



Q2 $f_e = 1/T_e = 1/(10 \text{ ms}/10 \text{ points}) = 1000 \text{ Hz}$

La tension numérisée n'est plus conforme au signal



analogique.

Pour obtenir un signal numérisé de bonne qualité, il faut que $f_e > 10.f$ au minimum.

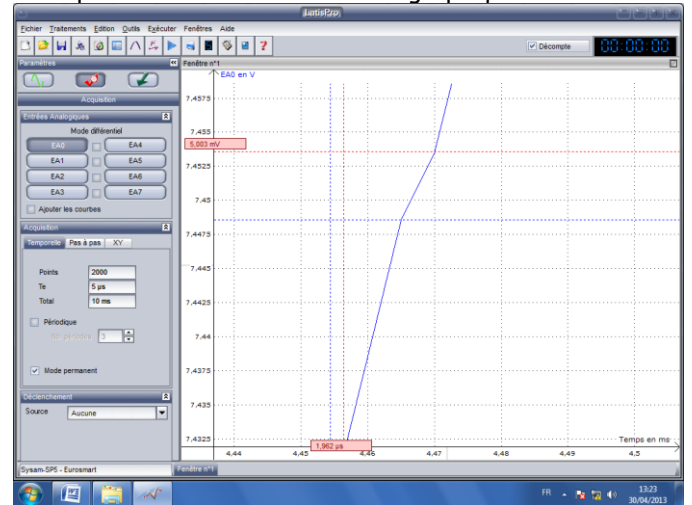
Q3 Le pas de quantification trouvé graphiquement vaut :

$$p = 1,1975 - 1,1925 = 0,005 \text{ V} = 5 \text{ mV}$$

Q4 pas de quantification théorique :

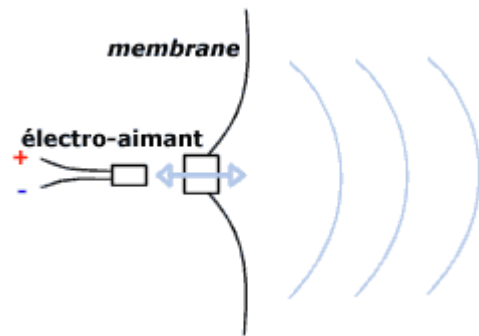
$$p = \frac{\text{plage de mesure}}{2^n} = \frac{20}{2^{12}} = 4,9 \text{ mV}$$

il est peu différent de celui trouvé graphiquement.



II) La numérisation d'un son

1) comment numériser un son dans un ordinateur?



Ce processus s'effectue en plusieurs étapes:

- le signal sonore (correspondant à une vibration mécanique de fréquence f) est converti en vibration électrique de même fréquence f par un microphone.
- le signal analogique électrique est ensuite numérisé (c'est-à-dire échantillonné puis quantifié) par la carte acquisition (carte son) de l'ordinateur.

Fréquence d'échantillonnage, exemple:

fréquence d'échantillonnage f_e	Qualité du son
44 100 Hz	qualité CD
22 000 Hz	qualité radio
8 000 Hz	qualité téléphone

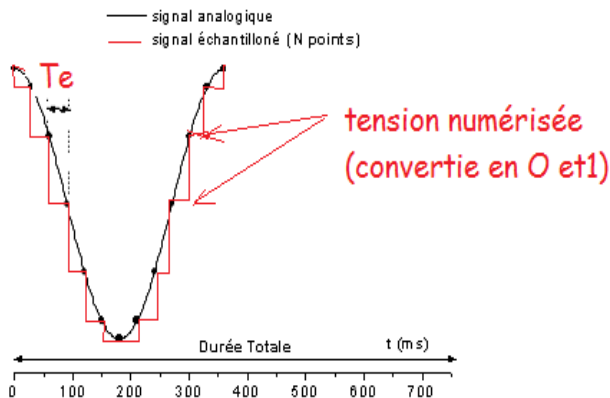
Si la fréquence d'échantillonnage est $f_e = 8000 \text{ Hz}$, 8000 fois par seconde la tension correspondant au son est numérisée puis enregistrée dans la mémoire de l'ordinateur.

Q1 combien de mesure de tension sont enregistrées puis numérisées par seconde dans un morceau de musique enregistrés sur un CD?

Q2 Quelle est la période d'échantillonnage T_e d'un son de qualité radio en micro seconde ?

Q3 la qualité téléphone est-elle supérieure à la qualité radio?

Q4 Déterminer la période T de la tension ci dessus. Déterminer le nombre N de points d'acquisition prélevé par l'ordinateur sur une période T. En déduire la durée T_e d'échantillonnage. Calculer la fréquence d'échantillonnage f_e .



Réponse

Q1 $f_e(\text{CD}) = 44 \text{ kHz}$, 44 000 fois par seconde la tension analogique est numérisée puis enregistrée.

Q2 Qualité radio $f_e = 20000 \text{ Hz}$

$$T_e = 1/f_e = 1/20000 = 5 \times 10^{-5} \text{ s}$$

T_e est égale à 50 micro seconde

3) utilisation d'un logiciel de numérisation du son audacity

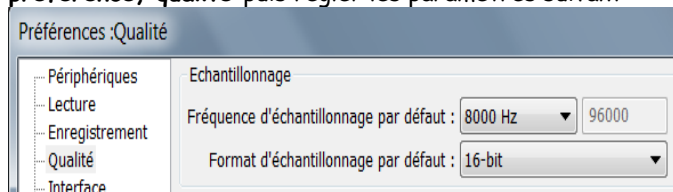
Le logiciel audacity permet d'enregistrer un son puis de le numériser avec une fréquence d'échantillonnage et un nombre de bits n réglables. On branchera la webcam sur l'ordinateur. Elle servira de microphone.

Q5 Imaginer un protocole permettant de mettre en évidence les paramètres fréquence d'échantillonnage et format d'échantillonnage (nombre de bits n de numérisation) sur la qualité du son enregistré.

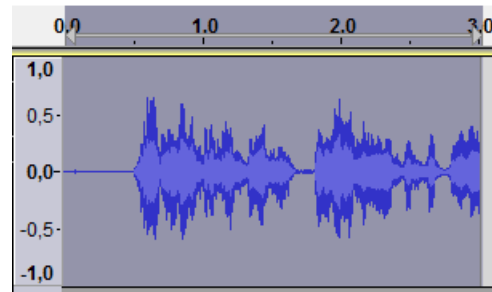
Q6 Quelle est l'intérêt et l'inconvénient d'enregistrer un fichier son avec une fréquence d'échantillonnage et un nombre élevé de bits ?

Réponse

Q5 Ouvrir le logiciel audacity puis cliquer sur **édition, préférence, qualité** puis régler les paramètres suivant:



Enregistrer quelques secondes de lecture de texte (on lira le début de texte correspondant au TP par exemple). On sélectionnera ensuite 3 secondes d'enregistrement puis on cliquera sur l'icône **supprimer en dehors de la sélection**



Enregistrer le fichier sur le bureau au format wav en cliquant sur **fichier exporter en wav** avec le nom suivant: **conversation_8000hz_16bits**. (cliquer sur **fichier, exporter** puis sélection du format de fichier wav).

Noter la quantité d'espace disque en octet occupé par le fichier. Ecouter le son enregistré à l'aide du casque et apprécier sa qualité.

Cliquer sur **édition préférence** et choisir maintenant la fréquence d'échantillonnage maximale, 96000 Hz, ainsi que le nombre de bits égale à 32. Enregistrer la même conversation de 3 secondes. Donner le nom suivant à votre fichier

conversation_96000hz_32bits. Noter la taille du fichier. Ecouter le son et comparer sa taille et sa qualité à celui enregistré précédemment.

Q6 Plus la fréquence d'échantillonnage et le nombre de bits est important meilleure est la qualité mais plus le fichier occupe une taille importante en mémoire.

Q7 Trouver une relation simple entre la taille en octet du fichier sur le disque et la fréquence d'échantillonnage, le format d'échantillonnage et la durée de l'enregistrement dans le cas où $f_e = 96000 \text{ Hz}$ et $n = 32 \text{ bits}$.

Réponse:

Q7

$$\text{taille} = f_e \cdot (\text{durée d'enregistrement(s)}) \cdot 4$$

exemple:

$$\text{taille} = 96000 \times 4 \times 3 = 1,15 \text{ Mo}$$