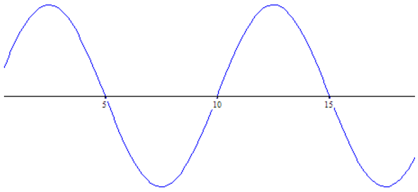
NUMÉRISATION : LE CONVERTISSEUR ANALOGIQUE-NUMÉRIQUE (CAN, OU ÉCHANTILLONNEUR-BLOQUEUR).

Numériser, c'est transformer un signal continu (naturel) en une série de nombres qui correspondent aux valeurs du signal à certains instants. Ces nombres sont codés en binaire pour être transférés ou stockés.

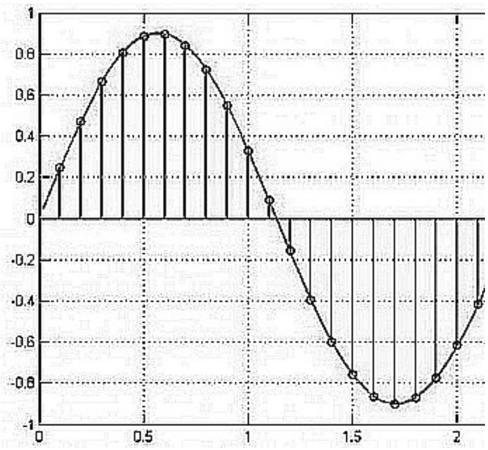
-Un **signal** est constitué par une **tension électrique**, qui représente les variations d'une grandeur mesurée. Cette grandeur peut être un son (le micro transforme le son en tension électrique), une intensité lumineuse (le capteur d'un appareil photo ou d'une caméra transforme la lumière en tension électrique), une information (données transformées en tensions électriques), etc.

-Si le signal suit toutes les variations de la grandeur (signal continu), il s'agit d'un **signal analogique**. Ci-contre, enregistrement analogique du son d'un diapason.



-**Numériser** un signal analogique (avec un **convertisseur analogique numérique**, CAN) consiste à :

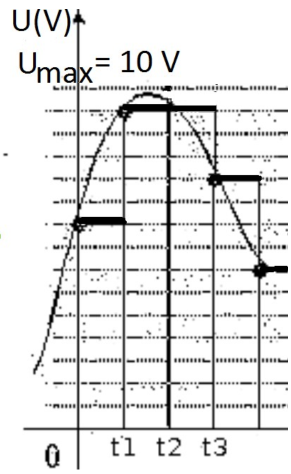
*__échantillonner__ le signal = ne garder que quelques valeurs, à intervalle de temps fixe (cet intervalle de temps est la période d'échantillonnage T_e). Le nombre de valeurs mesurées par seconde est la fréquence d'échantillonnage ($f_e = 1 / T_e$). On passe d'un signal continu à un signal discontinu – on dit « discret ». On parle de discrétisation. Plus la fréquence d'échantillonnage est grande, plus le signal numérisé est proche du signal analogique (mais plus la masse d'information est grande).



Critère de Shannon : la fréquence **minimale** permettant de bien échantillonner un signal est égale à deux fois la fréquence maximale constituant le signal. Si le spectre du signal possède des harmoniques, il faut échantillonner avec une fréquence au moins deux fois supérieure à l'harmonique la plus haute que l'on veut enregistrer.

Ci-contre, numérisation d'un signal sinusoïdal : vérifier que la fréquence d'échantillonnage vaut 10 Hz et qu'elle convient bien au critère de Shannon.

*__quantifier__ le signal = effectuer la mesure = pour chaque valeur choisie (ci-dessus, pour chaque ligne verticale), effectuer une mesure de cette valeur. Le convertisseur conserve cette valeur jusqu'à la prochaine mesure. Le signal est alors transformé en histogrammes, en « marches d'escalier », comme on peut le voir ci-contre.



On définit de **pas de quantification, p** = variation minimale de tension que peut détecter le CAN (le convertisseur). C'est la **résolution** du convertisseur. Si, entre deux mesures, la variation de tension ne dépasse pas un certain niveau (représenté ci-contre par l'une des droites horizontales), la valeur reste la même. Sinon, elle bascule à un niveau supérieur ou inférieur (ci-contre, à t_1 et à t_2 bascule au-dessus alors qu'à t_3, bascule au-dessous).

Ci-contre, l'intervalle $[0 - U_{max}]$ est divisé en 15 intervalles, le CAN peut retourner 16 valeurs (de 0 à 15). Comme $16 = 2^4$, c'est que le CAN travaille en 4 bits.
Vérifier que, ci-contre, l'écart de tension minimale que l'on peut détecter vaut environ 700 mV (7.10^2 mV). Explication : $10/(2^4-1)=0,7$ environ.
Dans ce cas particulier, tant que la tension est inférieure à 7.10^2 mV, la valeur enregistrée vaut 0. Puis, entre 7.10^2 et 14.10^2 mV, la valeur mesurée vaut 7.10^2 mV, etc.

Exemple 1 : pour un CAN travaillant en 8 bits, le nombre de valeurs possibles vaut 2^8, le pas de quantification vaut donc, si la tension maximale mesurable est toujours de 10 V, $10 / (2^8-1) = 3,9.10^{-2}$ V = 39 mV. Résolution de 39 mV.
Exemple 2 : on veut mesurer une plage de tensions comprises entre -20 V et +20 V en utilisant un CAN 16 bits. Le pas de quantification est donné par $40 / 2^{16}$ (le -1 est négligeable) = $6,1.10^{-4}$ V = 0,61 mV. Résolution de 0,61 mV.

*coder** le signal = transformer la valeur mesurée en nombre binaire (en base 2, écrit uniquement à l'aide de 0 et de 1). Pourquoi en base 2 ? Car c'est très simple à fabriquer. En effet, matériellement, on associe 0 V à 0 et 3V à 1. Les signaux deviennent donc des séries de 0 V et de 3 V, que peuvent contrôler des interrupteurs, ou une électronique simple.

Écrire un nombre décimal N en base 2 : $N = a_0.2^0 + a_1.2^1 + a_2.2^2 + a_3.2^3 + \ldots + a_{k-1}\ 2^{(k-1)}$ s'il est codé sur k bits. Les a_i valent 0 ou 1. Voyons des exemples.

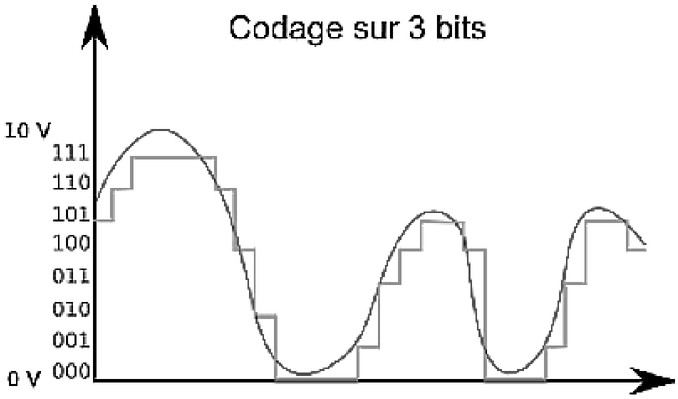
Prenons le cas simple d'un CAN fonctionnant sur 3 bits. Cela signifie que le nombre doit être codé avec un triplet et que l'on peut écrire 2^3 = 8 valeurs, de 0 à 7.

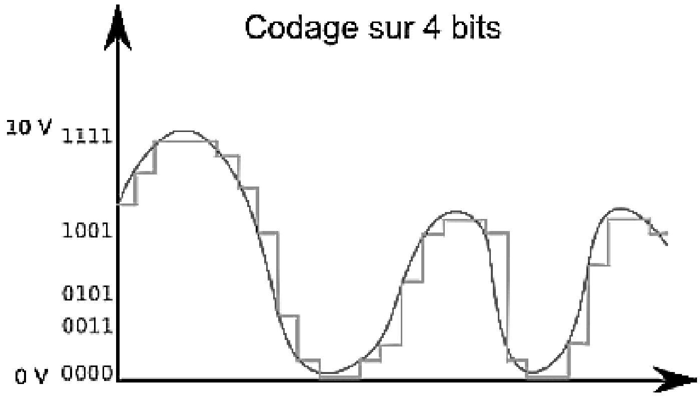
Numéro	Bit 3	Bit 2	Bit 1
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

Si la valeur à coder arrive au niveau 6, elle sera codée 110, il faudra enregistrer les tensions 0V, 3V, 3V. Alors : $1.2^2+1.2^1+0.2^0 = 4+2+0 = 6$. Idem pour tous les autres chiffres.

Cas particulier important : le codage sur 8 bits. On appelle « octet » un ensemble de 8 bits. Il y a alors 8 cases qui peuvent prendre les valeurs 0 ou 1, donc 2^8 = 256 combinaisons possibles : on peut compter entre 0 et 255. On peut coder, grâce à un octet, sur 256 niveaux (255 intervalles). Si on mesure entre 0 et 1 V, la résolution (le pas de quantification) vaut p = 1/255 = $3{,}9.10^{-3}$ V = 3,9 mV. Si on mesure entre -20V et +20V, la résolution vaut p = 40/255 = 0,16V = $1{,}6.10^2$ mV.

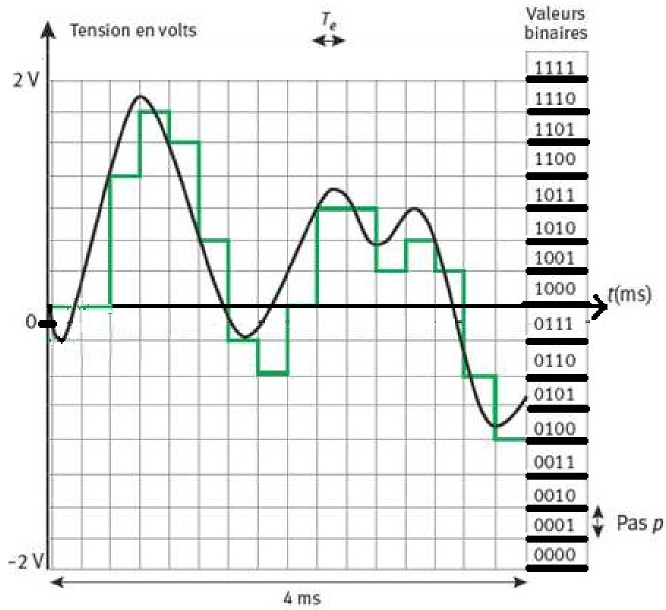
Cas d'un même signal codé sur 3 et 4 bits, avec la même fréquence d'échantillonnage (même nombre de mesures par seconde) : comparer les précisions et vérifier que le codage sur 4 bits est plus précis (lorsqu'il mesure, il arrive plus près de la courbe analogique, la résolution est meilleure, le pas est plus fin : $10/(2^4-1)$ au lieu de $10/(2^3-1)$).





Sur l'exemple ci-contre, mesurer la fréquence d'échantillonnage, le pas de quantification et le nombre de bits du CAN (qui associe le niveau inférieur lorsqu'une valeur continue se trouve entre deux niveaux).

Justifier que le niveau « 0V » soit codé 1000.



Réponses : f_e = 4,0 kHz, le pas p ≈ 0,27 V, N = 4 bits. 0 V est au niveau 8 : 1000 en binaire, car 1000 donne $1.2^3+0.2^2+0.2^1+0.2^0 = 8+0=8$.