

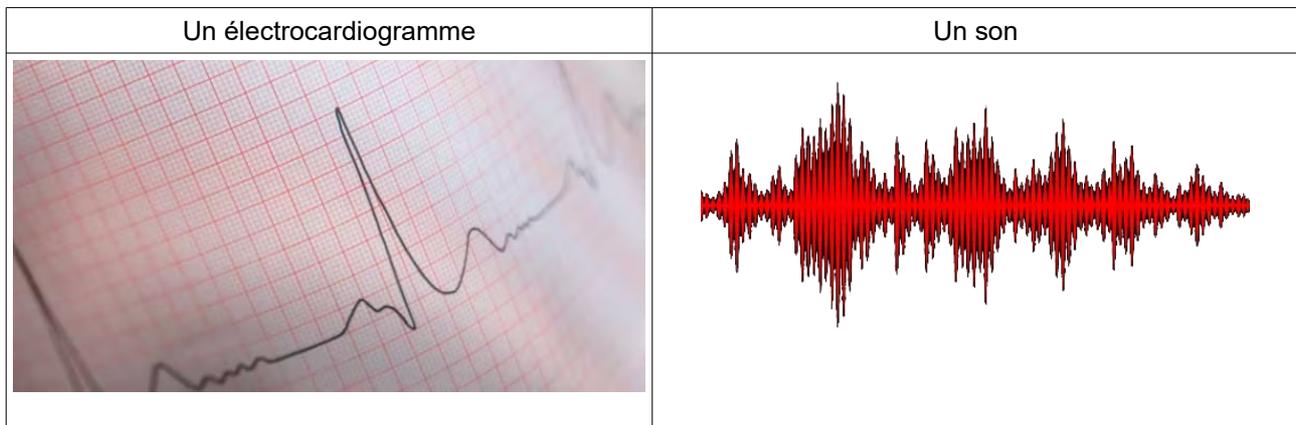
De l'analogique au numérique et réciproquement

1. De l'analogique vers le numérique

Les signaux usuels (musique, images, signaux biologiques, données issues de capteurs...) sont des grandeurs **analogiques** qu'il est difficile de stocker ou de transmettre sans dégradation.

Les dernières années ont été marquées par le passage sans doute irréversible à la **numérisation** des signaux avec des avantages certains.

Exemple de grandeurs analogiques :

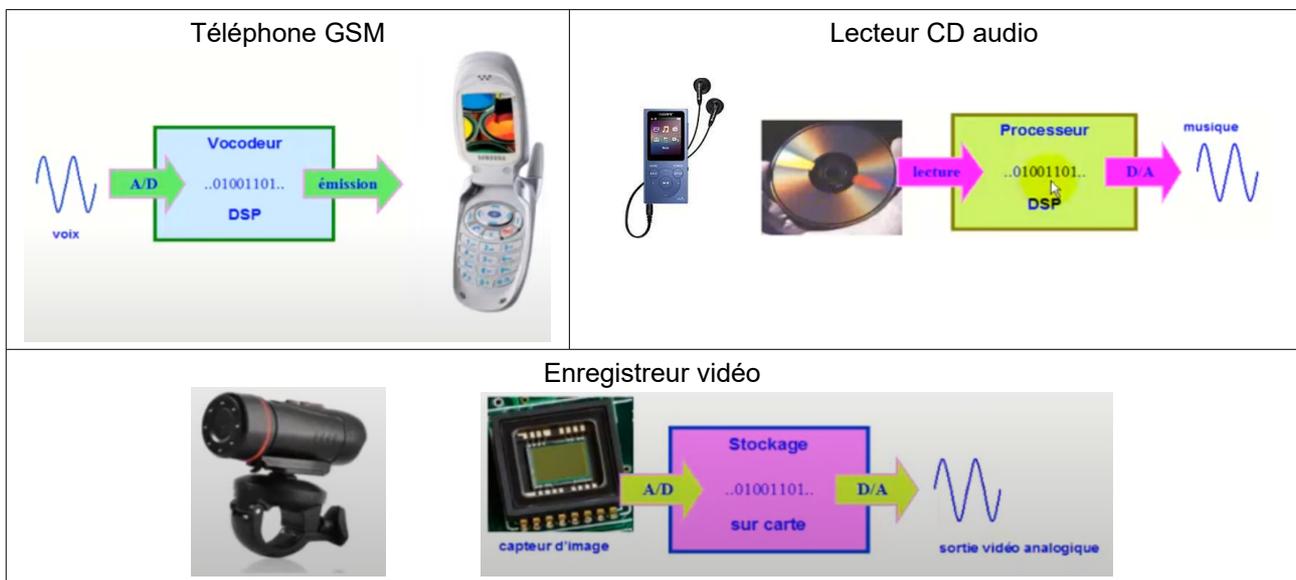


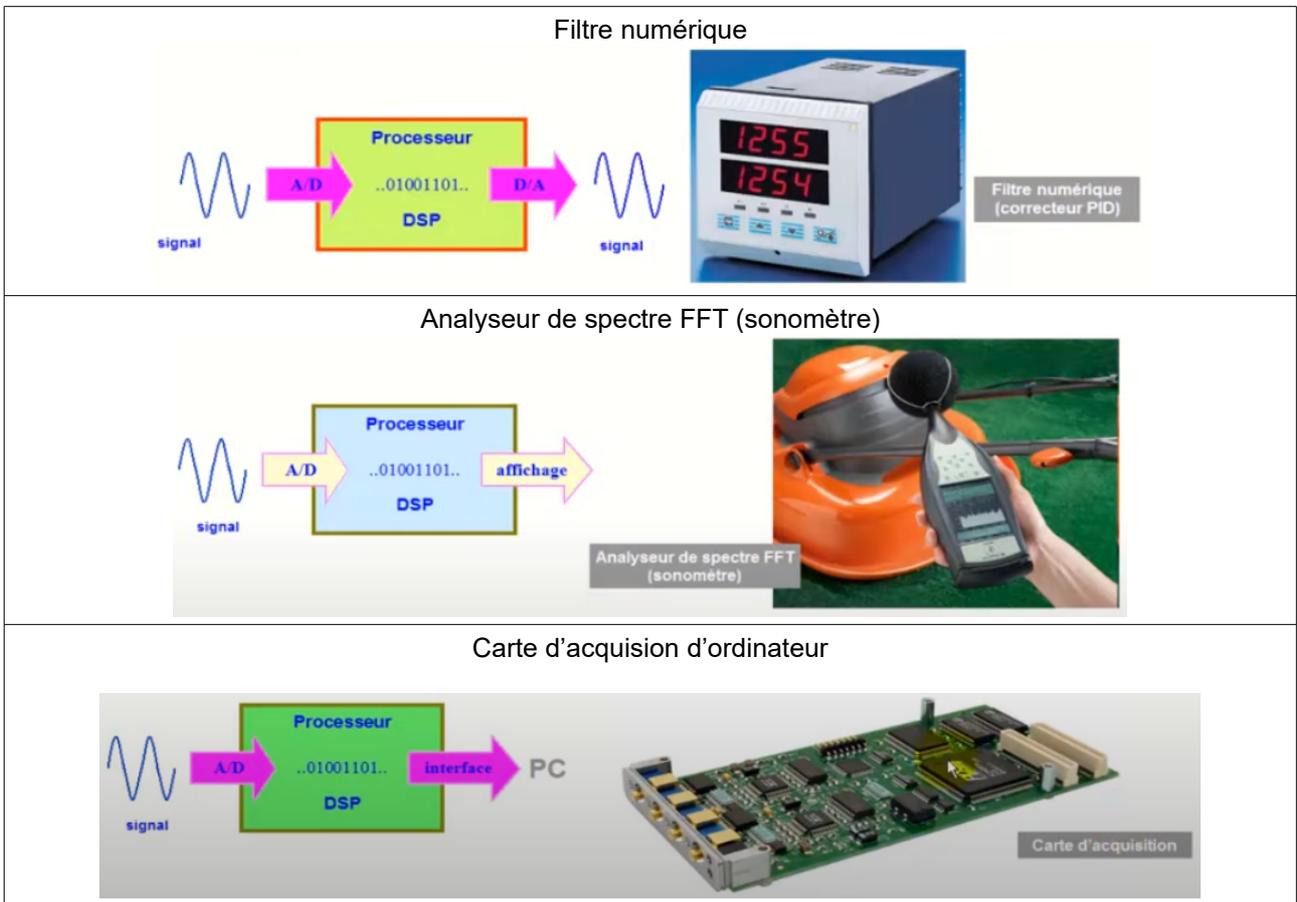
2. Exemples de systèmes numériques grand-public

Vocabulaire :

Convertisseur Analogique Numérique (Analog to Digital Converter) : convertit une grandeur analogique en grandeur numérique. (Acronymes utilisés : **CAN** ou **ADC** ou **A/D**)

Convertisseur Numérique Analogique (Digital to Converter Analog) : convertit une grandeur numérique en grandeur analogique. (Acronymes utilisés : **CNA** ou **DAC** ou **D/A**).

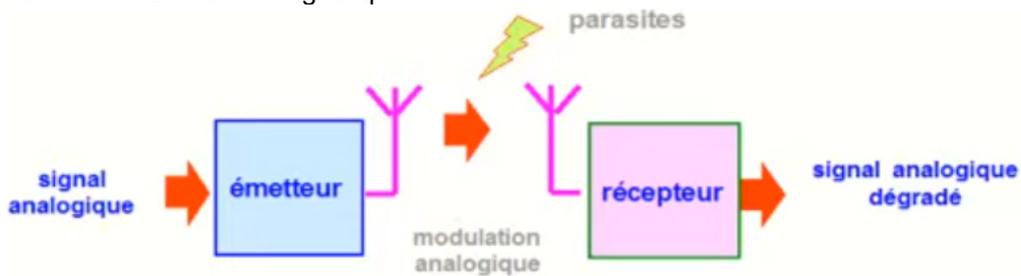




Les avantages du numérique par rapport à l'analogique

Chaîne de transmission analogique

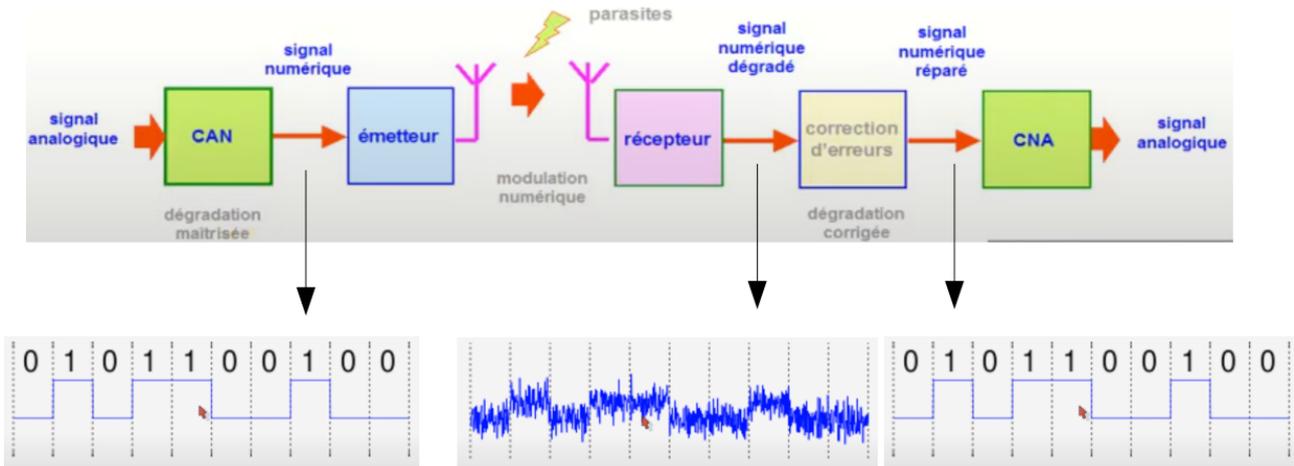
Soit le système de transmission radio-fréquences devant transmettre un message d'un endroit à un autre par l'intermédiaire d'une onde électromagnétique.



Le signal analogique initial est dégradé dans la chaîne de transmission par les imperfections de l'émetteur et du récepteur. Par ailleurs, malgré la modulation utilisée (d'amplitude, de fréquence ou de phase) les parasites électromagnétiques (foudre, machine qui démarre, parasites industriels) vont affecter les ondes transmises d'où un signal analogique dégradé à l'arrivée.

Chaîne de transmission numérique.

Le schéma suivant illustre la chaîne de transmission d'une information numérique.



Le signal de départ reste un signal **analogique** mais il est transformé en **numérique** (par le CAN). La transmission radio-fréquences est une **modulation** numérique (toujours sous forme d'onde électromagnétiques). Le signal numérique sera également **dégradé** par les imperfections de l'émetteur, du récepteur et des perturbations électromagnétiques. Cependant par un **traitement du signal** il est possible de retrouver le signal numérique **originel**.

Par ailleurs des **algorithmes de correction d'erreurs** de transmission sont mis en œuvre permettant de reconstituer le signal même si quelques informations numériques sont perdues.

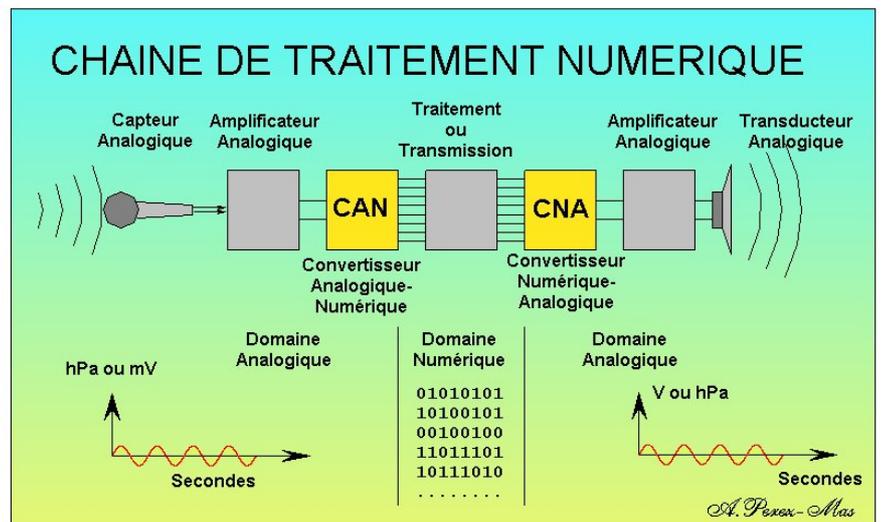
Passer d'un signal analogique à numérique et réciproquement

La figure ci-contre illustre la conversion analogique-numérique et numérique-analogique d'une transmission audio.

L'entrée est un microphone (capteur) qui capte l'onde mécanique acoustique et la transforme en tension analogique.

La sortie est un haut-parleur (actionneur) qui transforme un signal électrique analogique en onde mécanique acoustique audible.

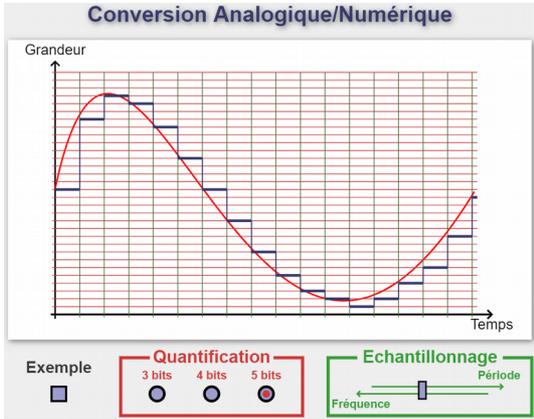
Tout le traitement et la transmission sont réalisés en numérique.



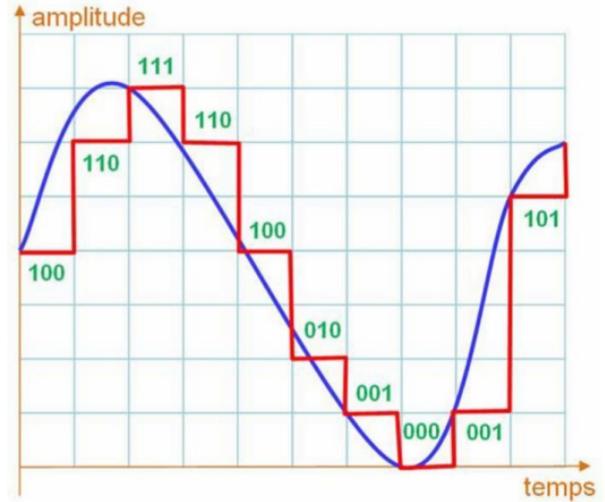
La conversion analogique numérique

La vidéo ci-contre illustre la conversion analogique numérique (cliquer sur l'image).





L'animation ci-contre permet de mettre en évidence l'intérêt d'augmenter la fréquence d'échantillonnage (en Hz) et de diminuer le « pas » de quantification (fonction du nombre de bits du CAN) pour obtenir une numérisation la plus fidèle du signal analogique à convertir en numérique (cliquer sur l'image pour utiliser l'animation).



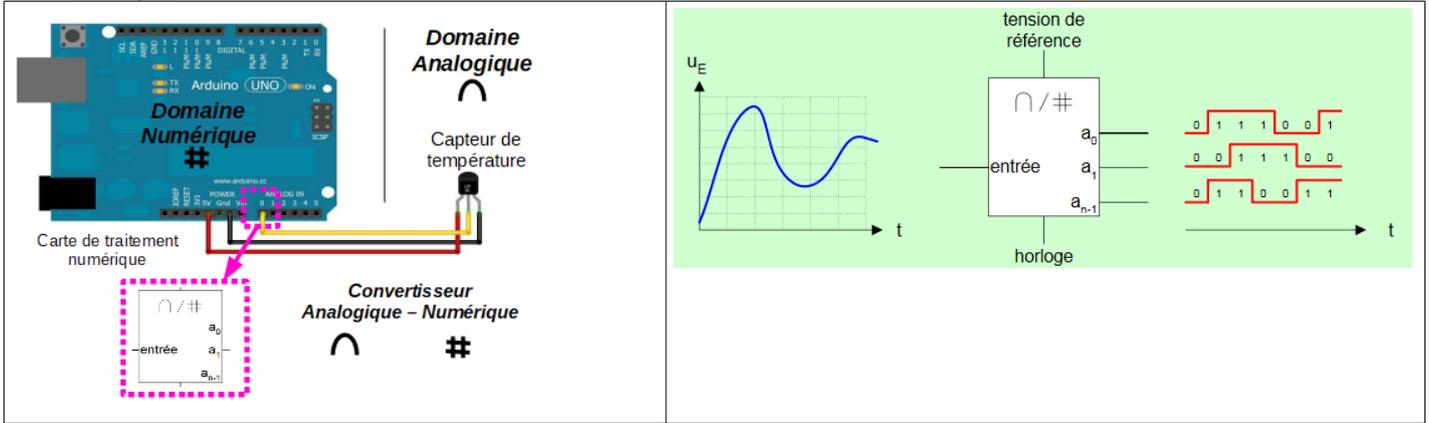
En définitive, un signal analogique est converti en un mot binaire (sur 3 bits dans l'exemple ci-contre) ou le signal bleu continu est le signal analogique à numériser et le signal rouge discret (discontinu en marche d'escalier) le signal numérisé.

Evidemment dans l'exemple ci-contre le signal numérisé ne ressemble plus du tout au signal à numériser dû à un nombre de bits du convertisseur (quantification) trop faible et une fréquence d'échantillonnage trop faible.

Echantillonnage trop faible et pas de quantification trop grand (3 bits)	Echantillonnage plus grand et pas de quantification trop grand (3 bits)	Echantillonnage plus grand et pas de quantification plus petit (5 bits)
Erreur : 0,49V (4,29-3,8)	Erreur : 0,23V (3,57-3,8)	Erreur : 0,07V (3,87-3,8)

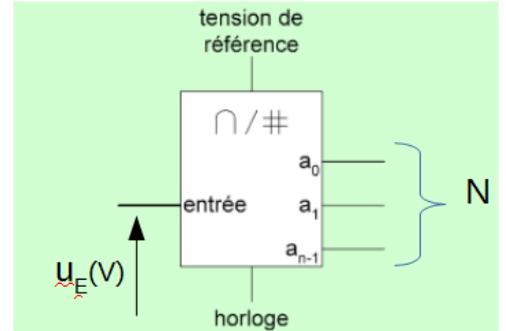
On retiendra que plus la fréquence d'échantillonnage et le nombre de bits du convertisseur sont élevés, plus la précision est bonne. Cependant cela se fera au détriment de la quantité de mémoire nécessaire !

Exemple



Théorie à connaître sur le CAN :

Un CAN convertit une tension (ou un courant) en un nombre binaire qui lui est proportionnel.



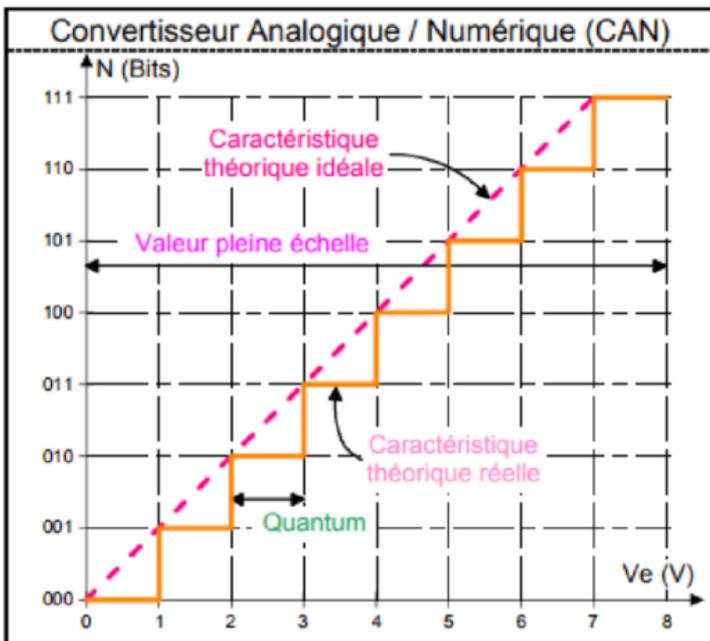
L'entrée est une tension analogique comprise entre u_{Emin} et u_{Emax}

La **résolution numérique** d'un convertisseur correspond à son nombre de bits n ;

La valeur maximale codable de N vaut

$$N_{max} = 2^n - 1$$

exemple avec 12 bits : $N_{max} = 2^{12} - 1 = 4095$



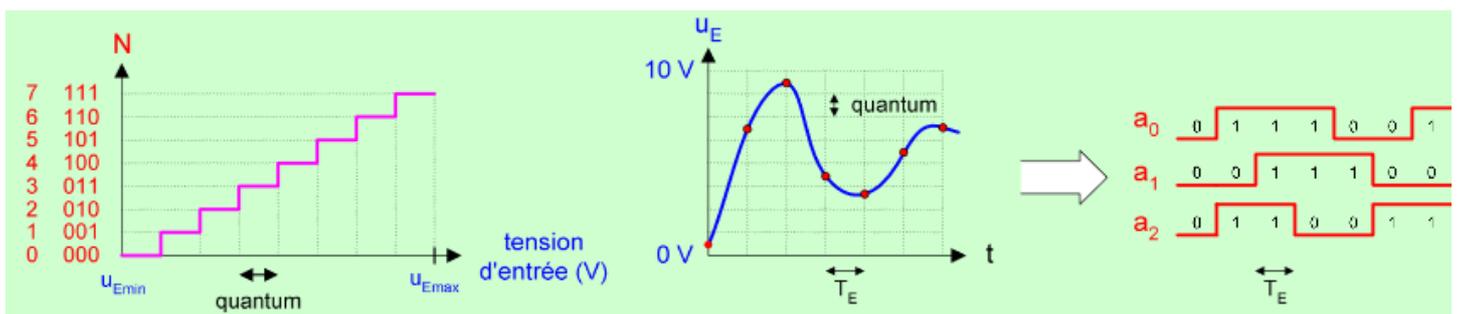
Le **quantum** (q) est la variation minimale de la tension d'entrée qui garantit une variation d'une unité de la donnée numérique de sortie. **Le quantum s'exprime dans l'unité de la grandeur analogique d'entrée.**

La **précision** est le **quantum** :

$$q = \frac{\Delta u_{pleine\ échelle}}{2^n - 1} = \frac{u_{Emax} - u_{Emin}}{2^n - 1}$$

Déterminer la valeur de N en fonction d'une tension d'entrée u_E : $N = \frac{u_E - u_{Emin}}{q}$

Remarque : $\frac{1}{q}$ représente la pente



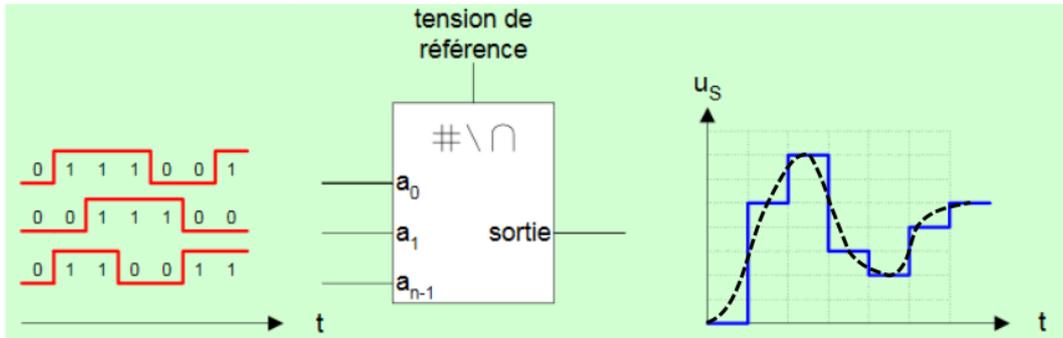
Conversion Analogique / Numérique (CAN – ADC – A/D)

Le convertisseur numérique/analogique permet de communiquer d'un système numérique vers un système analogique

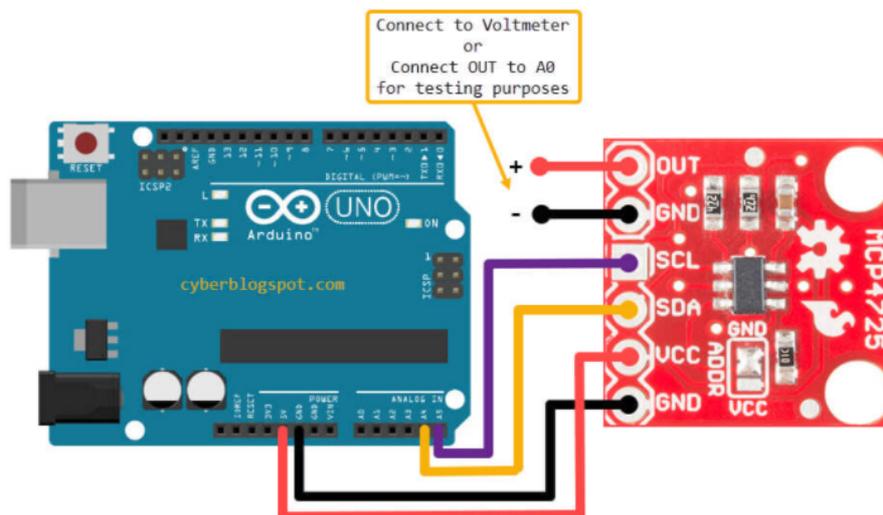
Des filtres en sorties de convertisseurs permettent d'obtenir une courbe lissée (en pointillés).

Exemples :

- Ordinateur # → Carte-son → amplificateur et haut-parleurs ∩
- CD # → Lecteur CD → amplificateur et haut-parleurs ∩



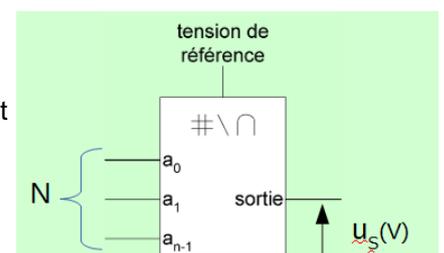
Exemple : la carte arduino ne possédant pas de sortie analogique, il est possible de lui ajouter un CNA (ici le MCP4725).



Théorie à connaître sur le CNA :

Un CAN convertit un nombre binaire en une tension (ou un courant) qui lui est proportionnelle.

La sortie est une tension analogique comprise entre u_{Smin} et u_{Smax}



Déterminer la tension de sortie en fonction de mot numérique N :

$$u_S = q \cdot N + u_{Smin} \quad \text{Avec le quantum (précision)} \quad q = \frac{\text{tension de référence}}{2^n - 1} = \frac{V_{ref}}{2^n - 1}$$

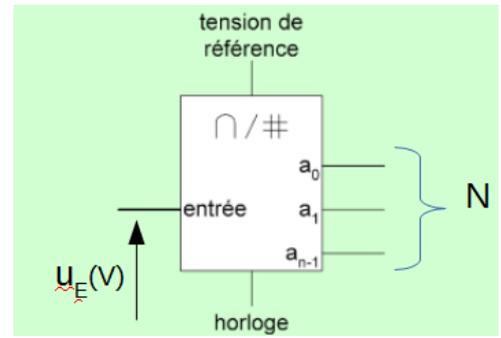
La **résolution numérique** d'un convertisseur correspond à son nombre de bits **n**.

Le **quantum s'exprime dans l'unité de la grandeur analogique de sortie**

Exercice 1

Soit un C.A.N 12 bits d'excursion pleine échelle 0/+5 Volts.

- Tracer** la caractéristique de transfert ;
- Déterminer** le quantum (résolution) ;
- Déterminer** N en base 2 et base 10 pour $U_e = 3.2V$

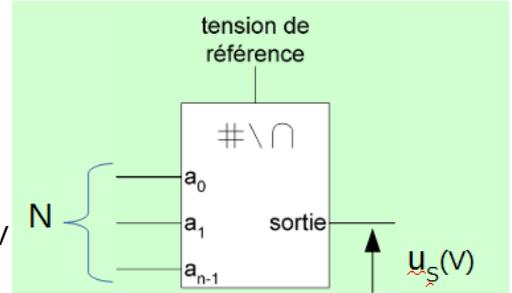


Exercice 2

Soit un C.N.A 10 bits de tension de référence 10V

- Tracer** la caractéristique de transfert ;
- Déterminer** le quantum (résolution) ;
- Déterminer** U_s pour $N=804_{(10)}$

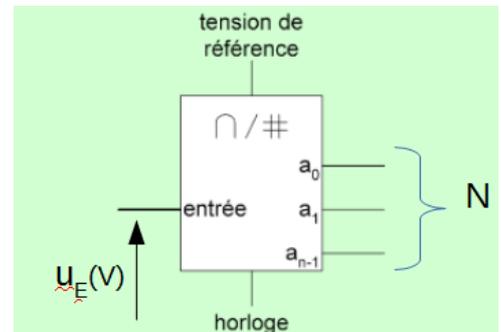
- donner la résolution du CAN ;
- calculer le quantum pour une pleine échelle de mesure de 10V ($U_{Emin}=0$ et $U_{Emax}=10V$) ;
- déterminer la valeur de N pour $u_E = 3,2V$.



Exercice 3 :

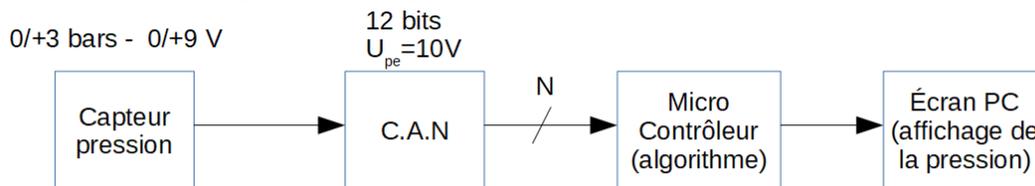
Soit un C.A.N 11 bits d'excursion pleine échelle -5/+5 Volts. Le bit de poids fort (MSB) est utilisé pour le bit de signe.

- Tracer** la caractéristique de transfert ;
- Déterminer** le quantum (résolution) ;
- Déterminer** N en base 2 et base 10 pour $U_e = 2.7 V$

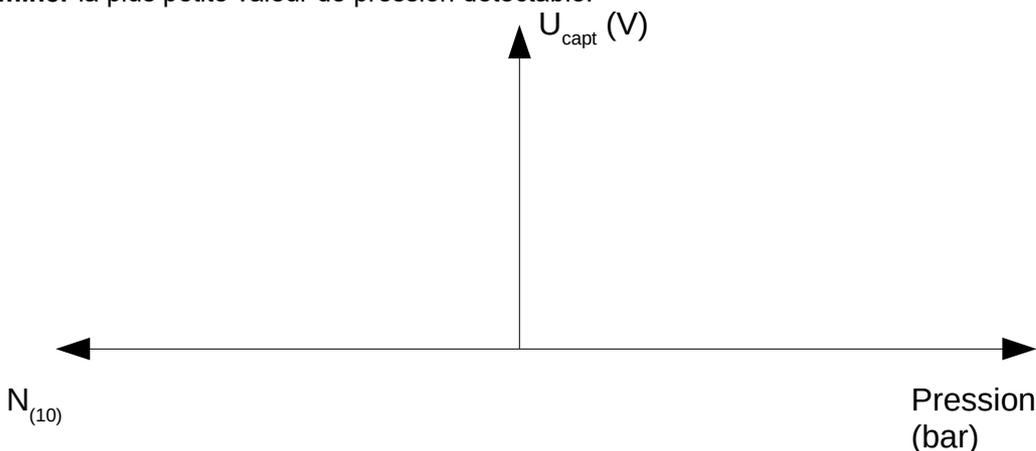


Exercice 4 :

Vous souhaitez afficher sur l'écran d'un Ordinateur (PC) la pression mesurée par un capteur de pression. La chaîne d'information est représentée ci-après.



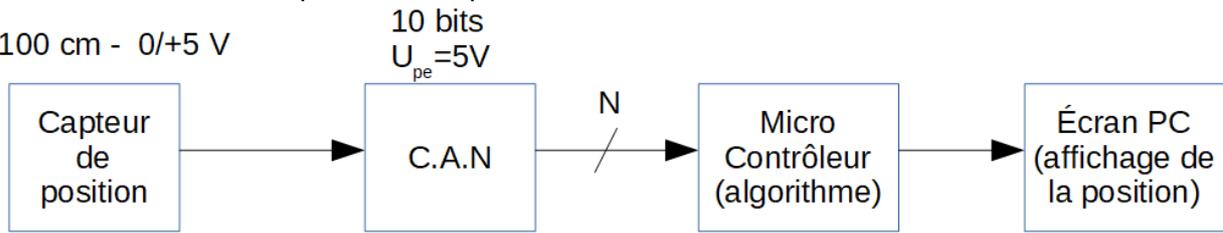
- Tracer** la caractéristique pression/tension du capteur de pression en regard de la caractéristique de transfert du C.A.N (à faire sur la figure ci-après) ;
- Exprimer** $N = f(\text{pression})$ puis $\text{Pression} = f(N)$;
- Déterminer** N pour $p=1,2$ bars ;
- Déterminer** la plus petite valeur de pression détectable.



Exercice 5 :

Vous souhaitez afficher sur l'écran d'un Ordinateur (PC) la position mesurée par un capteur de position. La chaîne d'information est représentée ci-après.

0/+100 cm - 0/+5 V

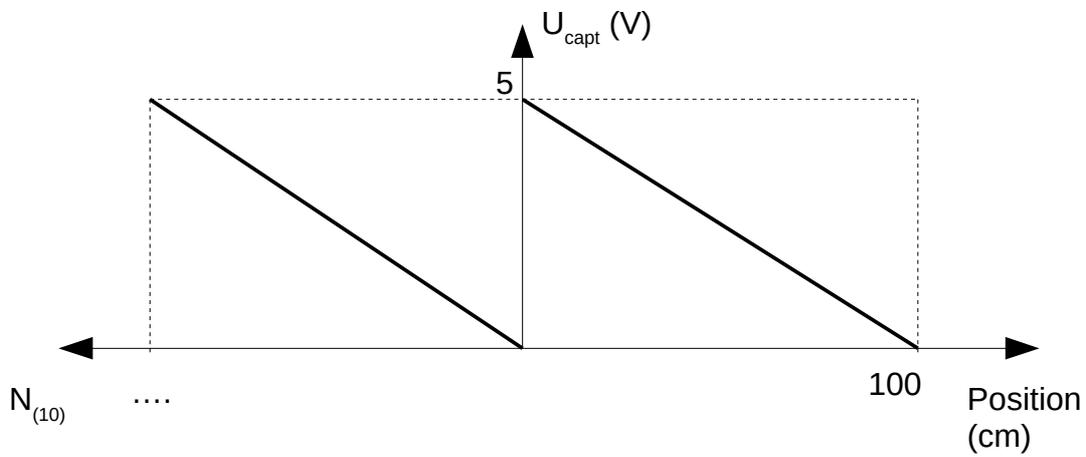


Compléter la caractéristique position/tension du capteur de pression en regard de la caractéristique de transfert du C.A.N (à faire sur la figure ci-après) ;

Exprimer $N = f(\text{position})$ puis $\text{Position} = f(N)$;

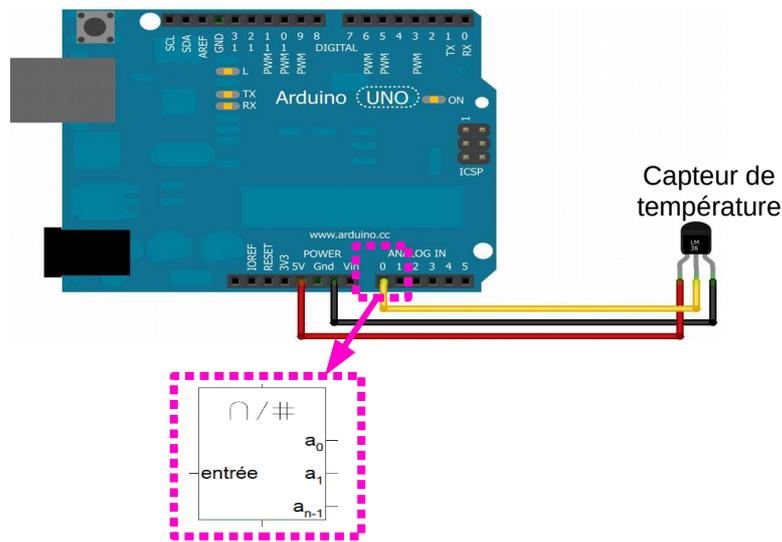
Déterminer N pour position=88 cm ;

Déterminer la plus petite valeur de position détectable.

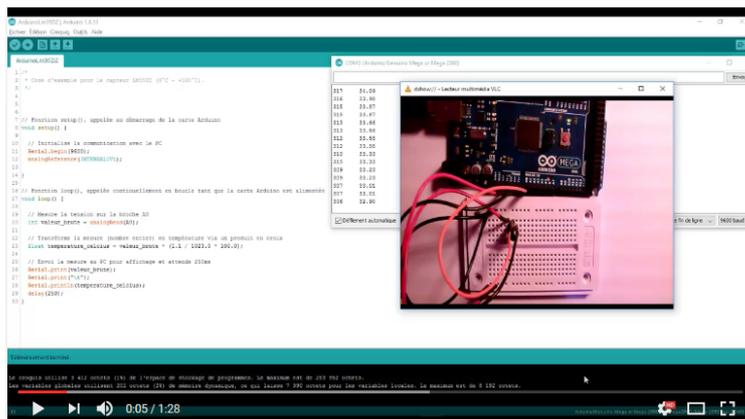


Exercice 6 :

Le C.A.N utilisé dans la carte Arduino est de 10 bits avec une entrée pouvant varier de 0 à 5V. Le capteur de température utilisé figure ci-après, fournit une tension de 10mV/°C (plage de mesure du capteur 0 à 100°C).



La vidéo suivante met en évidence la conversion analogique numérique dans le cas de l'exemple ci-dessus.



- 1- Déterminer le quantum du C. A .N.
- 2- Tracer la caractéristique température/tension du capteur et en correspondance celle du CNA
- 3-Déterminer la valeur numérique N contenue dans la carte Arduino pour une température de 20°C par la méthode « proportionnelle » puis par application de la formule régissant un CAN.
- 4-Déterminer la précision de la mesure en °C (liée à la précision du CNA).

Le quantum peut être amélioré dans une carte Arduino Méga (et par voie de conséquence, la précision du capteur) en ajoutant la commande « analogReference(INTERNAL1V1) ». La conséquence est que l'étendue pleine échelle du CAN passe de 0-5V à 0-1,1V.

Refaire les questions précédentes (de 1 à 4) pour la nouvelle étendue pleine échelle.