

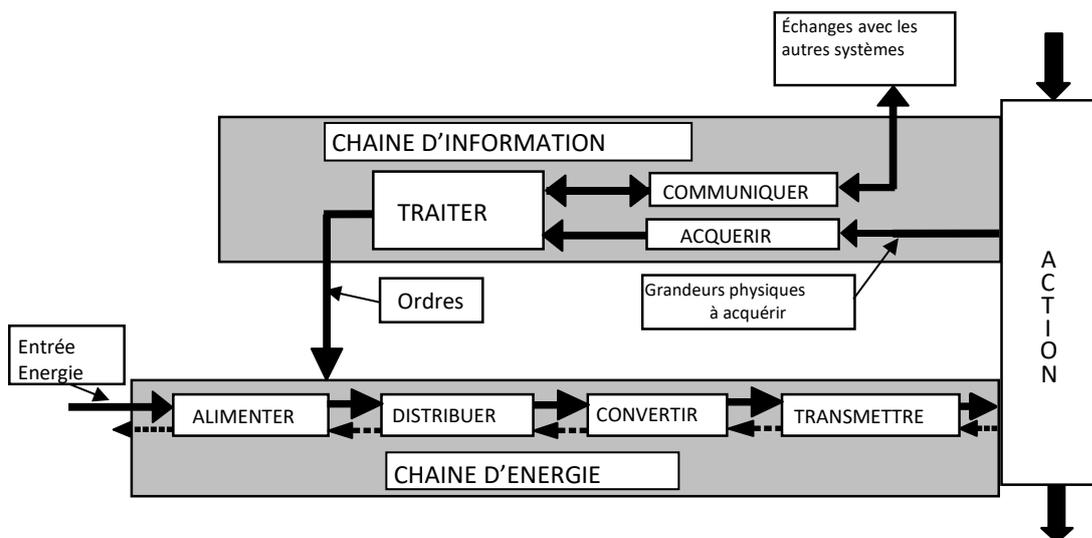
CHAINE D'INFORMATION

Table des matières

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | MISE EN SITUATION | 2 |
| 2 | CHAINE D'ACQUISITION | 2 |
| 2.1 | CAPTEURS :..... | 2 |
| 2.2 | CLASSIFICATION DES CAPTEURS | 3 |
| 2.2.1 | <i>capteurs ANALOGIQUES</i> | 3 |
| 2.2.2 | <i>capteurs LOGIQUES</i> | 4 |
| 2.2.3 | <i>capteurs NUMERIQUES</i> | 4 |
| 3 | CONDITIONNEMENT DU SIGNAL..... | 4 |
| 3.1 | AMPLIFICATION, MISE A L'ECHELLE, POSITIONNEMENT DU ZERO (OFFSET) | 4 |
| 3.2 | FILTRAGE..... | 5 |
| 3.3 | MISE EN FORME PAR COMPAREUR A HYSTERESIS (A DEUX SEUILS) | 5 |
| 4 | TRANSMISSION DU SIGNAL | 5 |
| 4.1 | LIAISON ANALOGIQUE 4-20 MA : | 6 |
| 4.2 | LIAISON NUMERIQUE : | 6 |
| 4.3 | LIAISON OPTRONIQUE..... | 7 |
| 4.4 | LIAISON RADIO | 7 |
| 4.5 | COMBINAISON DES TRANSMISSIONS | 8 |
| 5 | FONCTION TRAITER..... | 8 |
| 5.1 | TRAITEMENT NUMERIQUE ET CONVERSION ANALOGIQUE / NUMERIQUE | 8 |
| 5.2 | RAPPELS SUR LA NOTATION NUMERIQUE | 9 |
| 5.3 | PRINCIPE GENERAL DE LA CONVERSION NUMERIQUE ANALOGIQUE OU CNA | 10 |
| 5.4 | PRINCIPE GENERAL DE LA CONVERSION ANALOGIQUE NUMERIQUE OU CAN : | 11 |
| 5.4.1 | <i>Principe général</i> :..... | 11 |
| 5.4.2 | <i>Exemple Convertisseur numérique - analogique 4 bits.</i> | 11 |
| 5.4.3 | <i>Résolution et quantum</i> : | 12 |
| 5.4.4 | <i>Multiplexage</i> | 12 |
| 5.4.5 | <i>Filtrage numérique</i> | 12 |

1 MISE EN SITUATION

Tout système automatisé peut se décomposer suivant la schématisation suivante avec différentes chaînes : information et énergie, l'action donnant une valeur ajoutée à la matière d'œuvre.



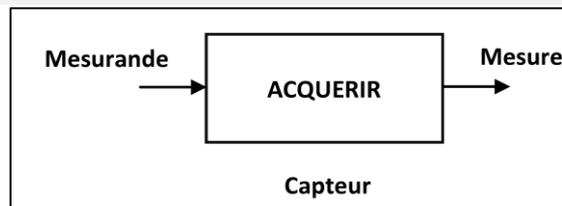
La chaîne d'information permet de rendre le système plus autonome, d'assurer son contrôle et sa sécurité. Elle agit par des ordres sur la chaîne d'énergie et acquière des informations de tous types (position, accélération, pression, température, ...) grâce à des capteurs. La transmission et le traitement de l'information sont alors nécessaires, ainsi que la communication de résultats entre systèmes autonomes et vers l'utilisateur.

2 CHAINE D'ACQUISITION

2.1 Capteurs :

La fonction acquérir est assurée par des capteurs.

D'une manière générale ils convertissent une grandeur physique quelconque appelée **MESURANDE** en une grandeur appelée **MESURE** sous une forme exploitable par une structure de traitement de l'information (fonction TRAITER).



Organisation fonctionnelle d'un capteur

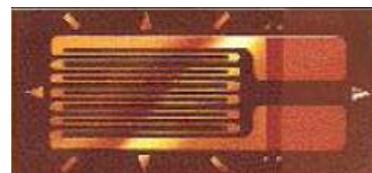
Une chaîne d'acquisition est toujours de la forme suivante :

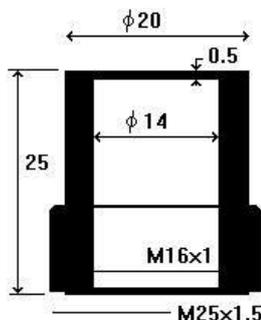


La fonction **détecter la grandeur physique** est assurée par le **corps d'épreuve**, l'organe qui reçoit directement l'action de la grandeur physique et produit un effet transformable en signal mécanique, électrique, pneumatique, etc.

La fonction **transformer la grandeur, lorsqu'elle est nécessaire**, est assurée par le **transducteur** qui produit un signal image de la grandeur physique, porté par une énergie utilisable par les moyens de traitement. La plupart du temps, un signal électrique est produit (tension ou courant mais pas toujours à un niveau électrique exploitable directement par la carte de traitement).

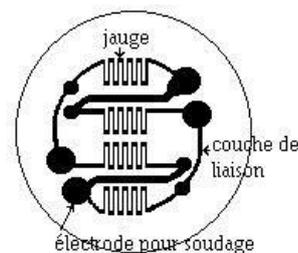
Exemple : Une jauge de contrainte est une micro résistance électrique plane qui collée sur la membrane va, en principe, subir les mêmes déformations qu'elle et voir sa résistance varier en conséquence.





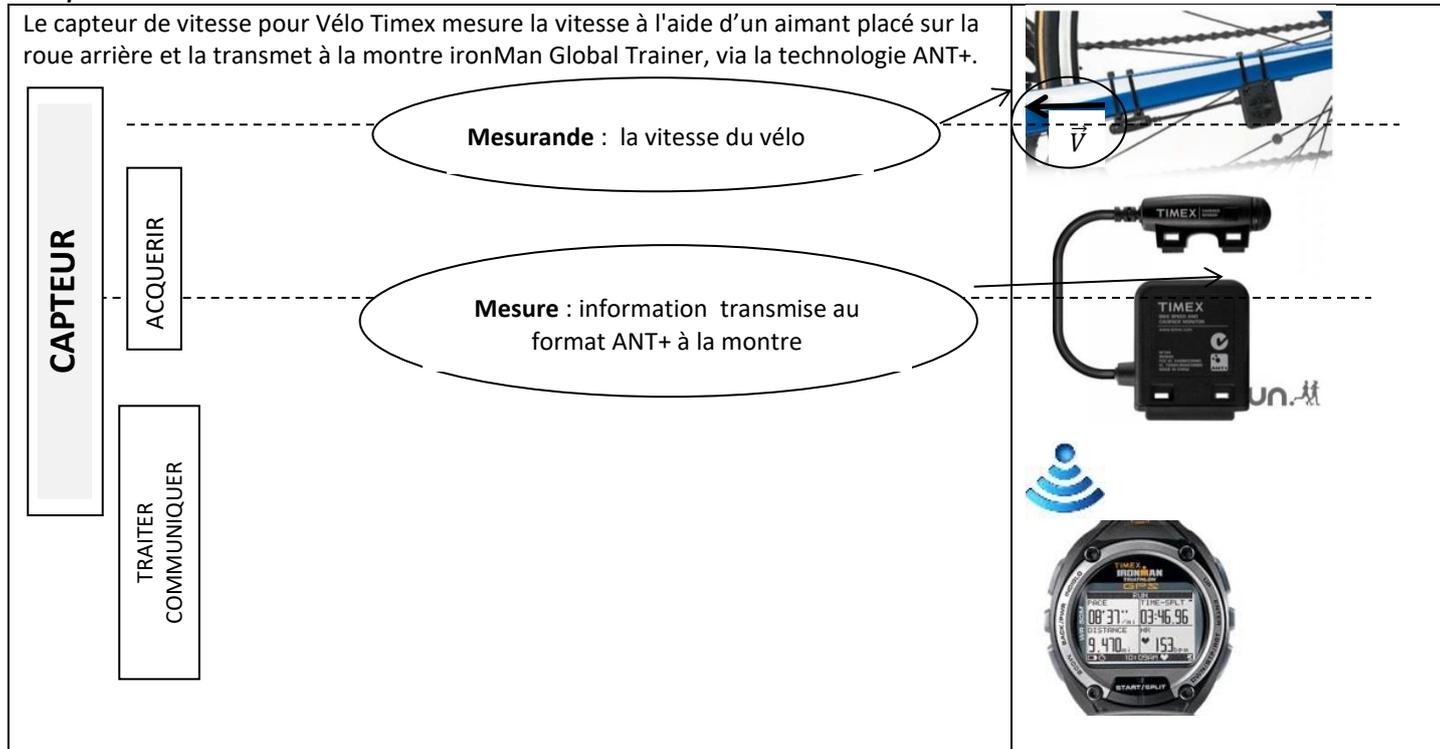
Un élément mécanique, appelé corps d'épreuve, comportant une membrane circulaire en acier spécial qui va subir une déformation du fait de la pression.

Un transducteur, ici un pont de jauges de contrainte collé sur la membrane, qui est chargé de générer un signal électrique lié, selon une relation supposée connue, à cette déformation.



Exemple 2 : Mesure de la vitesse d'un vélo

Le capteur de vitesse pour Vélo Timex mesure la vitesse à l'aide d'un aimant placé sur la roue arrière et la transmet à la montre ironMan Global Trainer, via la technologie ANT+.



2.2 Classification des capteurs

Les capteurs et leurs conditionneurs font l'objet d'une classification par type de sortie.

2.2.1 capteurs ANALOGIQUES

La sortie d'un capteur analogique prend n'importe quelle valeur dans sa plage de fonctionnement. A chaque valeur de la grandeur physique il correspond alors une valeur en sortie sous forme électrique (résistance, tension, courant, fréquence...).

Exemple : sonde de température PT100

La mesure est basée sur le fait que la résistance électrique du platine varie selon la température.

Si R_0 est la résistance d'une pièce de platine à 0 °C, alors à la température ϑ (en degrés Celsius), un modèle linéaire de la résistance de cette pièce donne :

$$R_{\vartheta} = R_0 \cdot (1 + \alpha\vartheta) \quad \text{avec } \alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

à 0 °C $R_{\vartheta} = R_0 = 100\Omega$ d'où le nom PT100 (il existe des PT25, PT1000...)

si on branche la sonde sur une source de courant, on mesure alors à ses bornes une tension proportionnelle à la température.

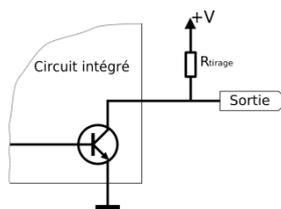


2.2.2 capteurs LOGIQUES

La sortie d'un capteur logique vaut 0 ou 1.

Exemple : **Détecteur Inductif M12**

Portée nominale 2mm
Sortie NPN à collecteur ouvert



2.2.3 capteurs NUMERIQUES

La sortie d'un capteur numérique est un nombre ou un mot binaire

Exemple : **capteur rotatif de position absolue 845G**

12 bits soit 4096 codes par tour

Par exemple, à la position 12,6°
le capteur va retourner la valeur 10001111 soit 8F en hexadécimal.
Le mot est stocké dans un registre 12 bits

Position 12,6°

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

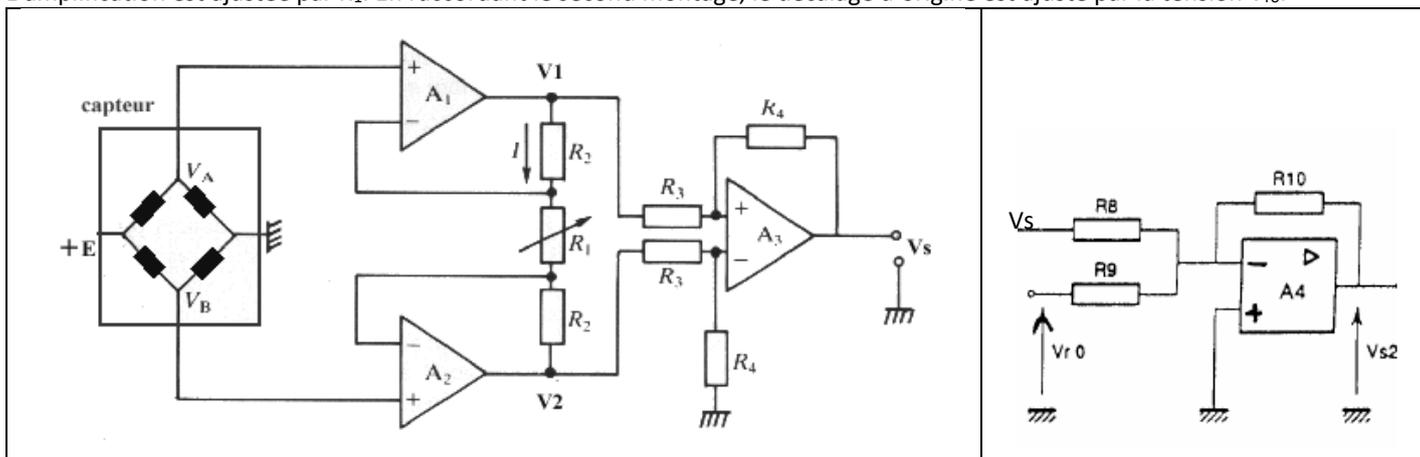


3 CONDITIONNEMENT DU SIGNAL

La fonction **adapter** le signal produit par le transducteur nécessite souvent une **mise en forme ou conditionnement du signal**. Celle-ci consiste à filtrer les signaux (éliminer les signaux parasites) ou à modifier la forme du signal en fonction de l'usage qui en est fait ensuite (l'amplifier, le réduire,...)

3.1 Amplification, mise à l'échelle, positionnement du zéro (OFFSET).

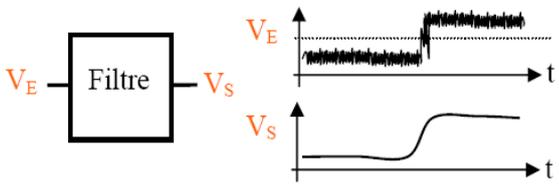
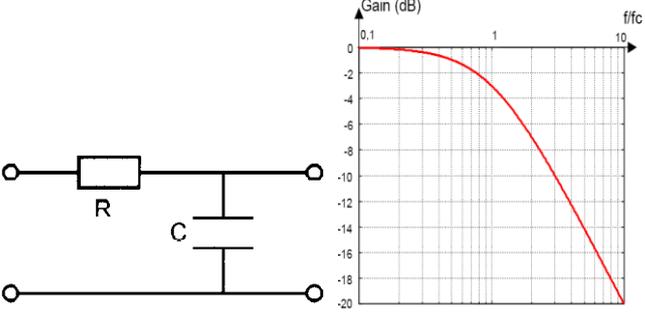
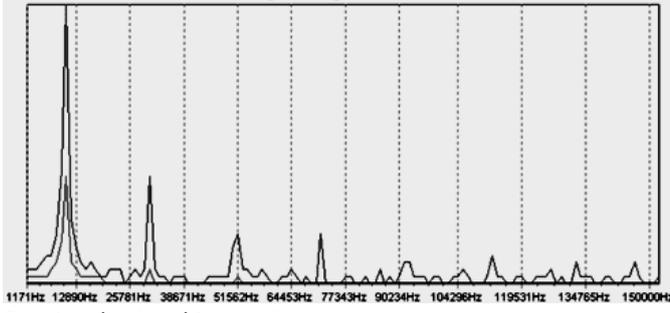
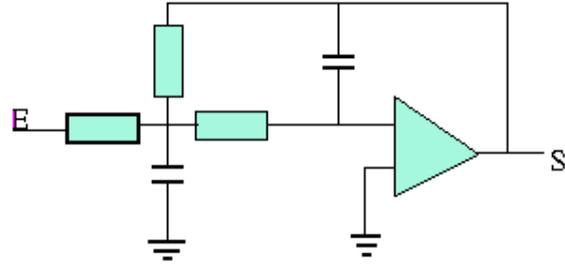
Le montage suivant est un grand classique, son impédance d'entrée est infinie et ne perturbe pas le pont de mesure. L'amplification est ajustée par R_1 . En raccordant le second montage, le décalage d'origine est ajusté par la tension V_{r0} .



3.2 Filtrage

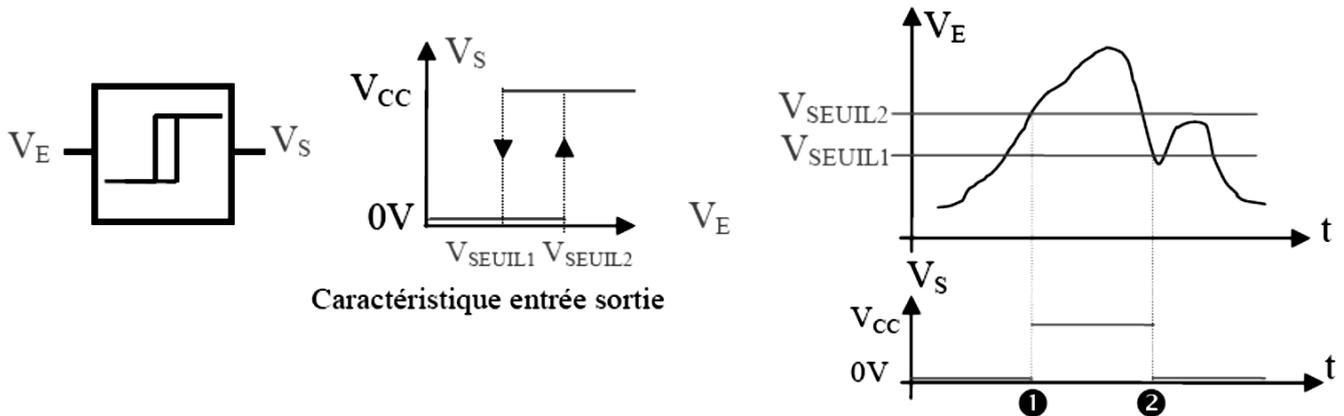
Le signal issu d'un capteur peut être perturbé par des parasites (qui peuvent venir de l'extérieur ou bien de la mesure elle-même). Ces parasites ne nous intéressent pas, on souhaite les supprimer. C'est le rôle du filtrage.

L'objectif du filtrage est de retenir dans le spectre du signal, seulement le signal utile.

| | |
|---|---|
|  <p>Le filtre laisse passer le signal utile et bloque les parasites.</p> |  <p>Filtre passif passe bas d'ordre 1</p> |
|  <p>Spectre du signal transmis</p> |  <p>Filtre actif passe bas d'ordre 2</p> |

3.3 Mise en forme par comparateur à hystérésis (à deux seuils)

L'objectif est de séparer la commutation d'une sortie TOR sur une valeur montante et sur une valeur descendante afin de ne pas provoquer des cycles de mise en marche et arrêt trop répétitifs sur la chaîne d'énergie.



Caractéristique entrée sortie

Exemple d'emploi :

- Thermostat de régulation de chauffage (enclenchement à 18°C, arrêt à 20°C).
- Pressostat de compresseur (seuil haut à 12 bars, seuil bas à 8 bars)

4 TRANSMISSION DU SIGNAL

La fonction **transmettre** le signal n'est pas présente sur tous les capteurs mais se généralise avec la mise en réseau.

Avec l'évolution des technologiques, les frontières du CAPTEUR se déplacent :

- Historiquement, le capteur comprend le corps d'épreuve + le transducteur (fonction ACQUERIR),
- On a intégré ensuite dans la même enveloppe les circuits de mise en forme du signal (fonction TRAITER),
- Plus récemment, l'émetteur a été ajouté (avec des fonctions d'auto-diagnostic) et on parle alors de capteur intelligent (fonction COMMUNIQUER).

Généralement, dans la majorité des entreprises actuelles, on centralise toutes les mesures provenant des diverses unités de production dans une salle de contrôle se situant en dehors de la partie production, voire à longue distance pour la supervision d'unités de production réparties sur différents sites. Il va donc falloir transporter l'information fournie par le capteur sur quelques dizaines ou centaines de mètres jusqu'à l'unité de traitement.

Pour la transmettre à distance, il va falloir lui faire subir un prétraitement au voisinage immédiat du capteur. Il consistera en premier lieu en une amplification, parfois un décalage de zéro, et, selon le mode de transmission retenu, en une mise en forme éventuelle (codage et/ou modulation par exemple)

Il existe de multiples techniques de transmission de l'information présentant chacune des avantages spécifiques et des inconvénients (lignes multifilaires, fibres optiques, transmission radio...). Celle retenue doit constituer le meilleur compromis entre la qualité souhaitée du résultat et le coût d'investissement.

Le signal transmis, et reçu, sera généralement bruité car tout au long de la chaîne de génération et transmission du signal, celui-ci peut être perturbé par des parasites qui viennent s'ajouter au signal utile. L'une des préoccupations principales de l'électronicien est d'améliorer le rapport signal utile sur bruit.

- soit en imaginant des dispositifs chargés d'extraire le signal utile par filtrage.
- soit en choisissant des techniques de génération et de transmission de signal peu sensibles aux parasites (forme numérique, modulation par porteuse à l'émission et démodulation à la réception).

Pour transmettre un signal à distance on dispose de plusieurs procédés principaux : la liaison analogique 4-20mA, la liaison par bus informatique, la liaison optronique et la transmission radio.

4.1 liaison analogique 4-20 mA :

Inventée vers 1930, par un ingénieur du groupe ESSO aux Etats-Unis, ce procédé est destiné à transmettre un signal analogique à quelques dizaines ou centaines de mètres sous forme d'un courant. Le long d'un câble, aussi long soit-il, le courant continu qui le traverse est constant. Par contre la différence de potentiel en raison de la chute de tension dans le câble va décroître avec l'augmentation de cette distance. Il est donc exclu de transmettre fidèlement une faible ddp générée par un capteur en tant que telle.

L'idée est de réaliser un dispositif, capteur + circuit associé, dont la **consommation** en mA sera proportionnelle à la tension que l'on devrait mesurer aux bornes du capteur et de faire en sorte que celle-ci se situe dans la plage 4-20mA, ces limites correspondant alors aux limites d'utilisation du capteur.

On aurait pu choisir 0-20mA mais c'eut été problématique en cas de dérive qui décale le courant vers les valeurs négatives, ou de coupure de la liaison qui fixerait 0mA ne signifiant pas valeur minimale mesurée. La plage 0-4mA constitue donc une marge de sécurité. Ce procédé a eu un très grand succès car il implique l'emploi d'un simple câble bifilaire et son immunité au bruit est satisfaisante.

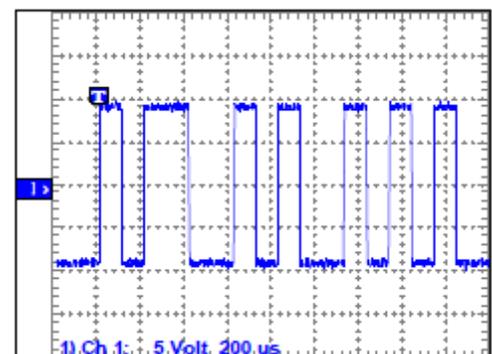
4.2 liaison numérique :

L'emploi de l'ordinateur a induit l'exploitation de signaux numérisés transmis soit le long d'une ligne bifilaire (transmission série type RS 232 ou plus récemment liaison USB), soit d'un câble dit parallèle permettant une plus grande vitesse de transmission mais avec un coût d'investissement supérieur. On limitera l'emploi de ces deux procédés à des distances courtes (quelques dizaines de mètres).



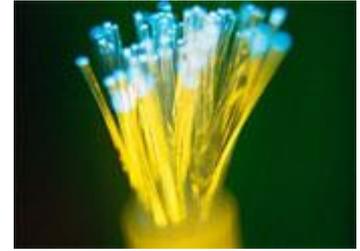
Pour coder ces informations qui circulent sur des réseaux numériques, on définit un nombre important de protocoles de communication (TCP/IP, Modbus...)

On notera l'existence d'une multitude de protocoles de transmission qui ne facilitent pas l'interopérabilité. La transmission série via un câble coaxial étant cependant celle qui assure les plus grandes distances de transmission.



4.3 liaison optronique

Une variante de la transmission série consiste à remplacer le câble cuivre par une fibre optique ce qui accroît considérablement la vitesse de transmission. Celle-ci n'étant en pratique limitée que par la rapidité des circuits de conversion optique-électronique indispensables aux deux bouts de la fibre. On transmet des gigabits par seconde. Longtemps cette solution fut boudée par les industriels en raison de son coût. Ce n'est plus justifié aujourd'hui (la fibre est souvent moins chère que le cuivre). Cependant on notera une difficulté d'emploi qui est la relative fragilité de la fibre optique qui supporte assez mal les chocs transversaux.



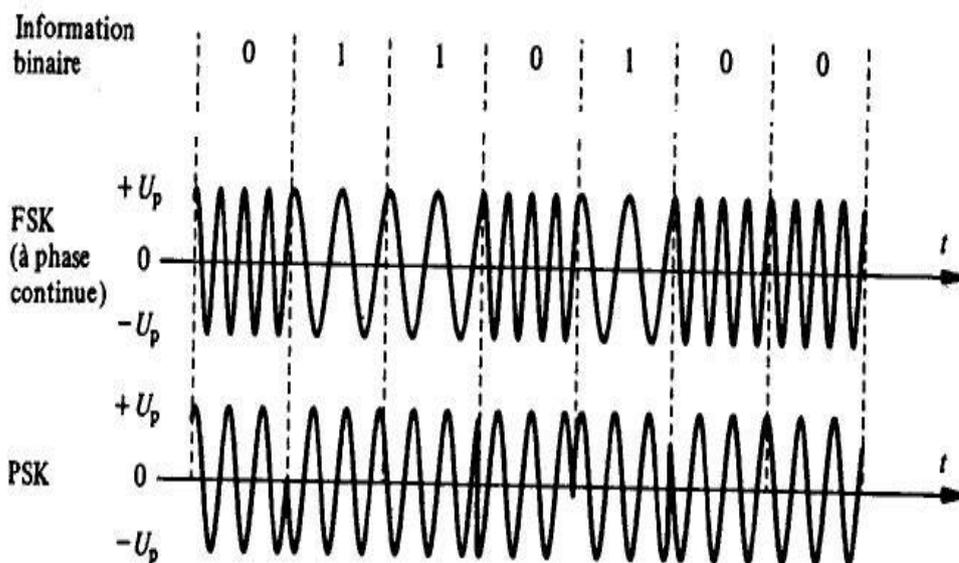
Par contre la fibre présente un avantage fondamental sur les câbles métalliques, c'est son immunité aux parasites électromagnétiques, et symétriquement son absence d'émission électromagnétique (donc une totale confidentialité, et une grande facilité d'emploi en environnement fortement bruité: aéronautique ou automobile).

4.4 liaison radio



Le coût d'un système de transmission étant généralement constitué pour l'essentiel par le câblage et tous les travaux accessoires pour le réaliser, il apparaît a priori intéressant de développer un procédé de transmission sans câblage, mettant en œuvre un émetteur et un récepteur radio.

Exemple : modulation de fréquence par porteuse :



D'autre part, l'absence de fil de liaison permet une commodité d'emploi très grande (télécommande de télévision, souris et clavier de PC sans fil). Cette solution est donc viable dans deux cas extrêmes : soit pour une liaison à grande distance (plusieurs dizaines de km), soit au contraire pour une liaison à moins de 100m.

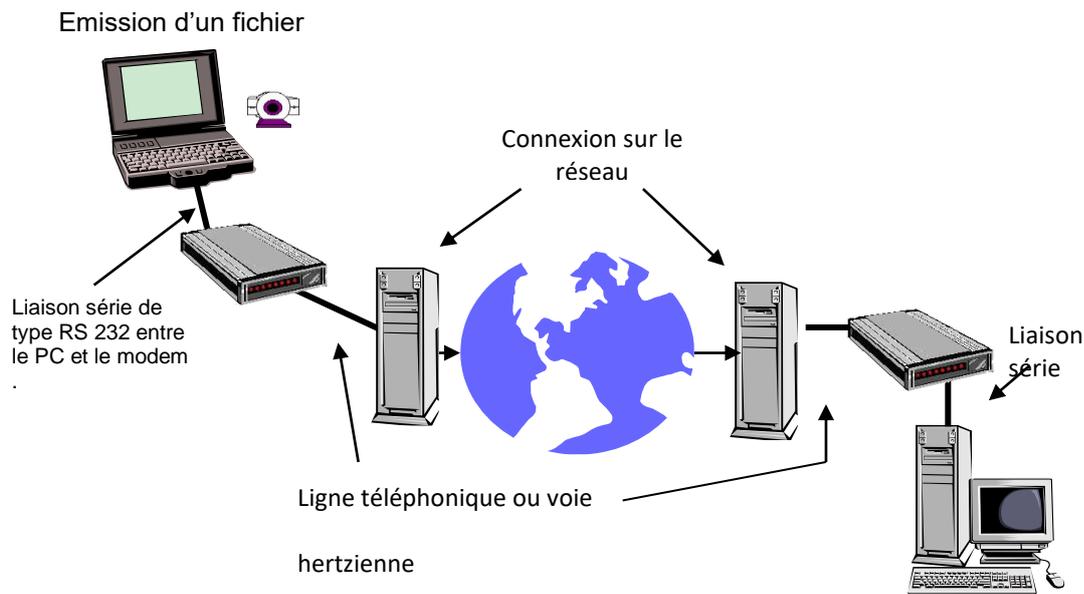
Dans ce dernier cas la technologie mise en oeuvre a été développée pour l'interfaçage de périphériques informatiques, d'où son très faible coût. Il s'agit de la technologie bluetooth puis du wifi. La portée Bluetooth est selon sa puissance (normalisée) de 10 ou 100m. Cependant, jusqu'à nouvel ordre cette technologie est limitée en France à la portée de 10m en raison de l'utilisation (théorique) par les militaires de la bande de fréquence internationalement attribuée à cette technologie.

Le Wifi peut théoriquement porter à environ 300m. Précisons que l'avantage de la liaison radio (multiplicité potentielle des récepteurs liés à un même émetteur) est parfois considéré comme un inconvénient en milieu industriel sensible (confidentialité problématique et risque de brouillage).



4.5 Combinaison des transmissions

On peut aussi combiner différentes techniques de transmission (par exemple, liaison internet...)



Un réseau (network) est un ensemble d'équipements électroniques (ordinateurs, imprimantes, scanners, modems, routeurs, commutateurs, machines...) interconnectés et capables de communiquer (émettre et recevoir des messages) par l'intermédiaire d'un support de communication.

Un réseau informatique permet donc l'échange d'informations (messageries, transfert de fichiers, interrogation de bases de données...) et l'accès aux ressources (ou mise en commun, partage) de certains ordinateurs du réseau. Un réseau permet donc une économie de coût, un gain de productivité, une utilisation rationnelle des bases de données et une meilleure stratégie dans le domaine de la sécurité (centralisation et sauvegarde éventuellement automatisée des données).

5 FONCTION TRAITER

5.1 Traitement numérique et conversion analogique / numérique

L'information est ensuite traitée par des circuits programmables ou par des automates programmables industriels avec des langages de programmation variés. Ils travaillent donc en numérique.

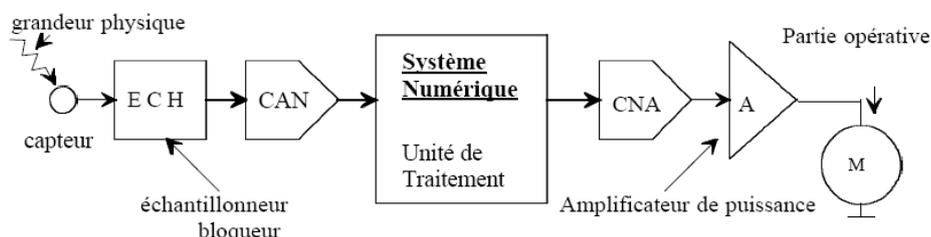
De nombreux systèmes électroniques utilisent la technique numérique, à base de microprocesseurs ou de microcontrôleurs pour les avantages qu'elle présente par rapport à la technique analogique : facilité de traitement de l'information selon des fonctions complexes (filtrage, compression...), mémorisation possible des informations, faible sensibilité au bruit...

Lorsque les informations issues de capteurs sont des grandeurs analogiques ou que les actionneurs doivent être commandés par des signaux analogiques, il est nécessaire de procéder à des conversions de données :

Conversion analogique \rightarrow numérique (CAN) et numérique \rightarrow analogique (CNA)

La grandeur physique à convertir peut-être de nature quelconque : vitesse, température, force. Le capteur permet de convertir cette grandeur en un signal analogique (par ex : dynamo tachymétrique pour le captage de la vitesse ou jauge d'extensiométrie pour le captage d'une force). Le convertisseur analogique numérique (CAN) va convertir le signal analogique en une suite de mots numériques qui pourront être compris et traités par le calculateur (microprocesseur).

De même, le calculateur pourra générer en entrée du CNA des mots numériques qui seront convertis en un signal analogique par le CNA (convertisseur Numérique Analogique).



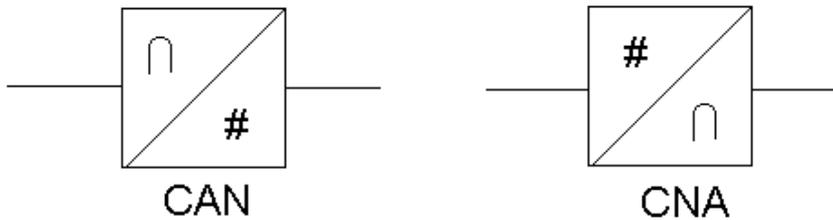
Exemple de chaîne de traitement numérique pour le signal audio (enregistrement et restitution MP3, pédalier multi effets pour guitare...).



Passage analogique numérique : (vibrations acoustiques → micro → CAN → compression numérique → enregistrement en mémoire ou sur disque dur).

Passage numérique analogique : (lecture des fichiers numériques stockés → filtrage numérique → CNA → amplification → écouteurs ou baffles → vibrations acoustiques).

Symbolisation et exemples de convertisseurs



Exemples de convertisseurs CAN :
 CAN flash CAN à approximations successives
 CAN à simple rampe CAN à double rampe

Exemples de convertisseurs CNA :
 CNA à réseau de résistances pondérée
 CNA à échelle de résistances R-2R

5.2 Rappels sur la notation numérique

Les circuits numériques utilisent le code binaire ou la valeur d'un bit est soit 0 soit 1.

Le système décimal revêt de l'importance en raison de son acceptation universelle pour représenter les grandeurs du monde courant .

L'avènement des systèmes micro-programmés a donc conduit à développer l'utilisation de systèmes de numération différents. De ce fait, il faut parfois que les grandeurs décimales soient converties en valeurs binaires (ex :calculatrice) et vice et versa (ex : affichage). Comme certains nombres sont 'longs' à représenter en binaire, on utilise aussi l'hexadécimal.

la base 2 ==> binaire

la base 10 ==> décimal

la base 16 ==> hexadécimal

Caractéristiques du code décimal :

Base : 10

Les nombres sont constitués par des chiffres pouvant prendre 10 valeurs qui sont : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9.

Les poids affectés à chaque chiffre du nombre sont des puissances de 10.

Caractéristiques du code binaire :

Base : 2

Les nombres sont constitués par des chiffres pouvant prendre 2 valeurs qui sont : 0 ou 1.

Les poids affectés à chaque chiffre du nombre sont des puissances de 2.

Caractéristiques du code hexadécimal :

Base : 16

Les nombres sont constitués par des chiffres pouvant prendre 16 valeurs qui sont : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F

Les poids affectés à chaque chiffre du nombre sont des puissances de 16.

On peut ainsi décrire un nombre sous n'importe quelle base et passer d'une base à l'autre.

Ex : $(12A)_{16} = (\quad)_2 = (\quad)_{10}$

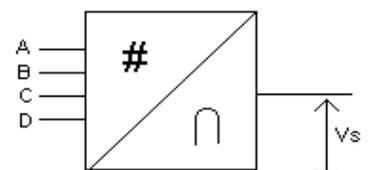
| Décimal | Binaire | Hexadécimal |
|---------|---------|-------------|
| 0 | 0000 | 0 |
| 1 | 0001 | 1 |
| 2 | 0010 | 2 |
| 3 | 0011 | 3 |
| 4 | 0100 | 4 |
| 5 | 0101 | 5 |
| 6 | 0110 | 6 |
| 7 | 0111 | 7 |
| 8 | 1000 | 8 |
| 9 | 1001 | 9 |
| 10 | 1010 | A |
| 11 | 1011 | B |
| 12 | 1100 | C |
| 13 | 1101 | D |
| 14 | 1110 | E |
| 15 | 1111 | F |

5.3 PRINCIPE GENERAL de la conversion numérique analogique ou CNA

Exemple - : Convertisseur numérique - analogique 4 bits.

Si le signal numérique en entrée est composé de 4 bits (mot de 4 bits) ; il existe $2^4 = 16$ nombres binaires distincts.

Pour chacun de ces nombres, la tension de sortie V_s est différente.



| D | C | B | A | N | V_s |
|---|---|---|---|----|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0,1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0,2 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 0,3 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0,4 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 5 | 0,5 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 6 | 0,6 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 7 | 0,7 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0,8 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 9 | 0,9 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 10 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 11 | 1,1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 12 | 1,2 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 13 | 1,3 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 14 | 1,4 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 15 | 1,5 |

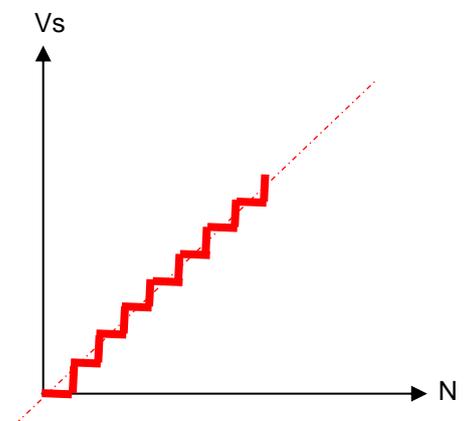
Quand le mot en entrée est à 1111 la tension de sortie du CNA est maximale.

Sortie analogique = $q \times$ valeur de l'entrée numérique

Soit $V_s = q \times N$

Où q représente le quantum, plus petite variation de la tension de sortie (q en volt)

et N la valeur décimale de l'entrée numérique



Retrouvons la formule du quantum pour un CNA en prenant exemple avec 2 bits et 0-10 V :

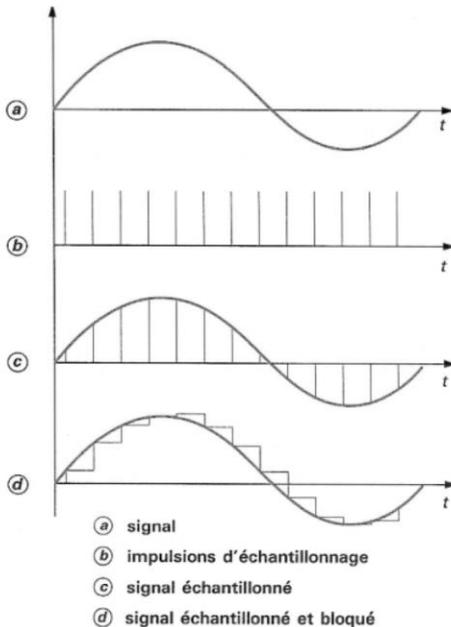
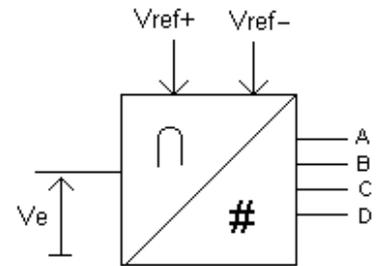
5.4 Principe général de la conversion analogique numérique ou CAN :

5.4.1 Principe général :

Un convertisseur analogique / numérique (CAN) est un circuit hybride qui transforme une grandeur analogique d'entrée V_e (souvent une tension) en une valeur numérique N exprimée sur n bits.

Exemple de CAN 4 bits : V_{ref+} et V_{ref-} représentent les tensions de références du convertisseur. Elles permettent de fixer les amplitudes maximales et minimales de la grandeur d'entrée à convertir.

L'opération de conversion se déroule en 2 étapes : LA QUANTIFICATION puis LE CODAGE



La **quantification** consiste à prélever à divers instants ($t_1, t_2, t_3 \dots$) la valeur de la tension V_e : c'est ce qu'on appelle aussi l'**échantillonnage ou discrétisation** de V_e (le signal continu V_e est réduit en un nombre fini de valeurs).

Le **codage** consiste à faire correspondre à ces échantillons (les diverses valeurs de V_e prélevées aux temps $t_1, t_2, t_3 \dots$) un mot binaire, en respectant une logique précise.

La figure ci-contre illustre le problème de l'échantillonnage d'une grandeur analogique et de sa valeur numérique convertie en tension. L'horloge interne du CAN prélève des échantillons tous les instants T_e (T_e étant la période d'échantillonnage). Cette valeur sous sa forme analogique est bloquée (fonction échantillonneur bloqueur) de façon à permettre la conversion numérique. La période d'échantillonnage T_e est donc une caractéristique essentielle de ce type de convertisseur.

Pour échantillonner correctement un signal d'entrée de fréquence F , il faut que la fréquence d'échantillonnage $F_e = 1/T_e$ soit plus grande que F . A la limite un coefficient $F_e / F = 2$ est retenu, il s'agit du **théorème de Shannon**.

5.4.2 Exemple Convertisseur analogique numérique 2 bits.

Retrouvons la formule du quantum pour un CAN en prenant exemple avec 2 bits et 0-10 V :

5.4.3 Résolution et quantum :

CNA

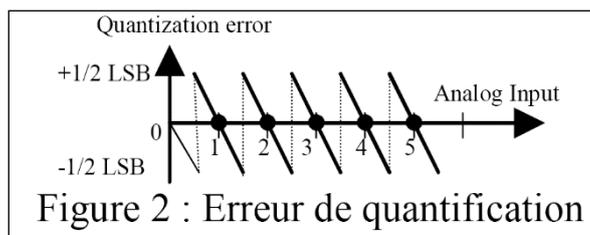
CAN

Il y a souvent confusion entre R et q, l'utilisation de ces deux définitions doit se faire avec précaution car elles ne sont pas systématiquement acceptées sous ces formes. On rencontre fréquemment la définition de la résolution comme étant simplement le nombre de bits du convertisseur.

ERREUR DE QUANTIFICATION (ou précision) :

C'est l'écart entre la tension que l'on convertit (entrée du CAN) et la tension correspondant au code que l'on obtient (sortie du CNA).

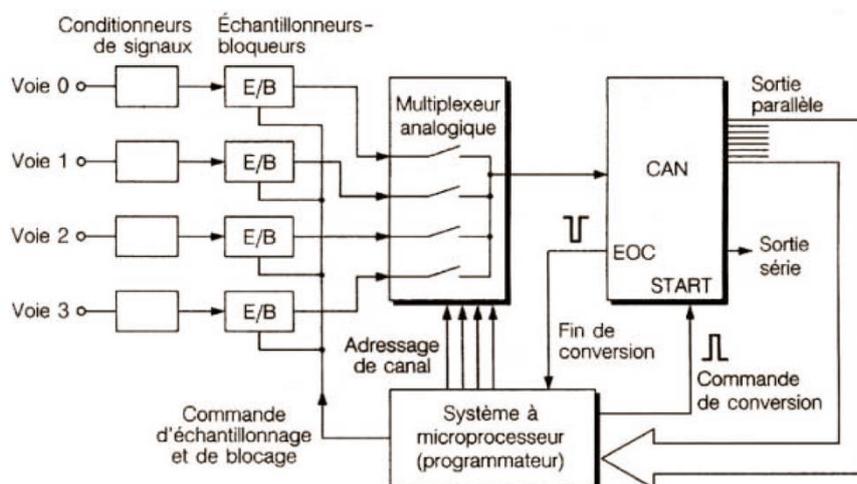
C'est une caractéristique en dent de scie à valeur moyenne nulle. Elle évolue entre $\pm 1/2$ quantum. C'est une erreur qui est inhérente à toute numérisation. On ne peut pas l'éliminer.



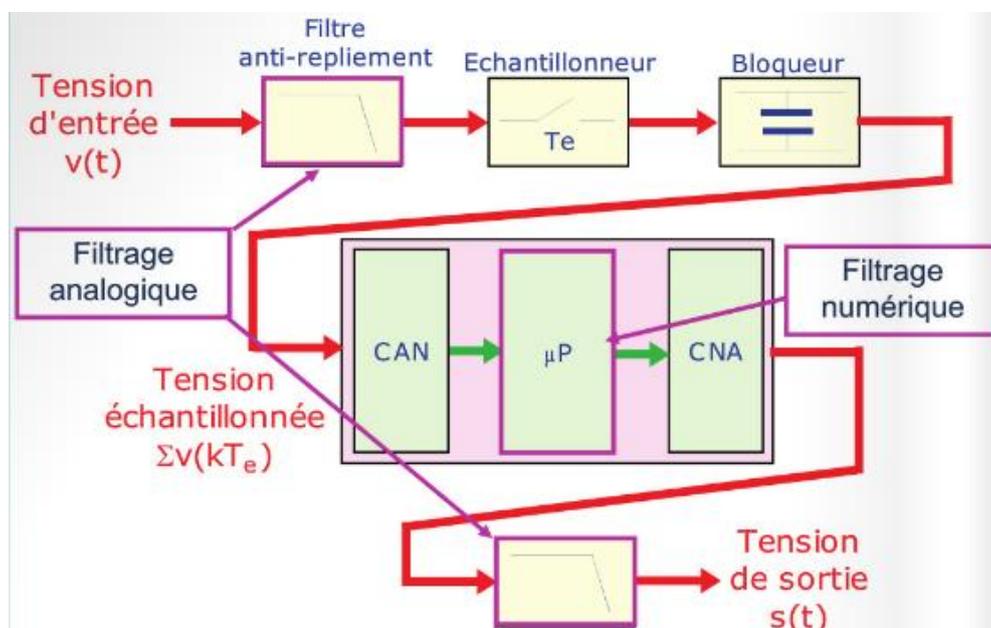
5.4.4 Multiplexage

Dans de nombreux systèmes, il est nécessaire d'acquérir en un temps bref et de façon répétitive de multiples grandeurs physiques.

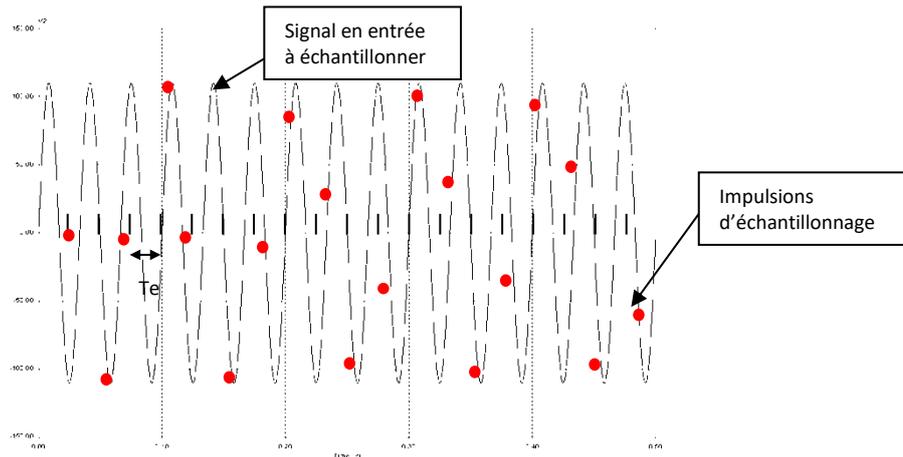
La figure ci-contre illustre l'opération dite de multiplexage, où 4 signaux sont successivement aiguillés vers un CAN avant transmission sur une sortie (ou bus) unique.



5.4.5 Filtrage numérique



La numérisation des signaux doit respecter le critère de Nyquist-Shannon, : la fréquence d'échantillonnage f_e doit être supérieure au double de la plus grande fréquence présente dans le spectre du signal $2f_{max}$.



Lorsque cette condition n'est pas respectée, on est en situation de sous-échantillonnage et il peut se produire un repliement de spectre, qui conduit à l'apparition de fréquences dans le signal.

Le sous-échantillonnage peut se produire dans les deux cas suivants :

- Le convertisseur analogique-numérique (CAN) n'est pas assez rapide pour assurer la condition de Nyquist-Shannon.
- Le convertisseur est assez rapide mais on souhaite stocker ou transmettre l'information à une cadence inférieure à $2f_{max}$.

Dans le premier cas, le seul remède est l'utilisation d'un filtre anti-repliement analogique qui traite le signal avant sa numérisation. Aujourd'hui, il est rare que cette situation se produise car les CAN rapides (de l'ordre du MHz et plus) sont disponibles à faible coût. Par exemple, pour la numérisation du son, le sur-échantillonnage se fait couramment.

Le deuxième cas se produit plus fréquemment, car le stockage et le transfert de l'information doit se faire avec le minimum de données permettant de restituer correctement le signal. Par exemple dans le cas du son Hi-Fi, il est inutile de stocker le signal échantillonné à une fréquence supérieure à 40 kHz car les sons audibles ne vont pas au delà de 20 kHz. Si l'échantillonnage se fait à une fréquence supérieure pour éviter le repliement, par exemple 192 kHz, il faut réduire la fréquence d'échantillonnage avant de stocker les données. Cette réduction ne peut se faire qu'après avoir appliqué un filtre anti-repliement numérique, bien plus facile à réaliser qu'un filtre anti-repliement analogique.

Les filtres numériques sont réalisés par l'algorithme implanté dans le microprocesseur.