

Chaînes d'acquisition, traitement et restitution du signal

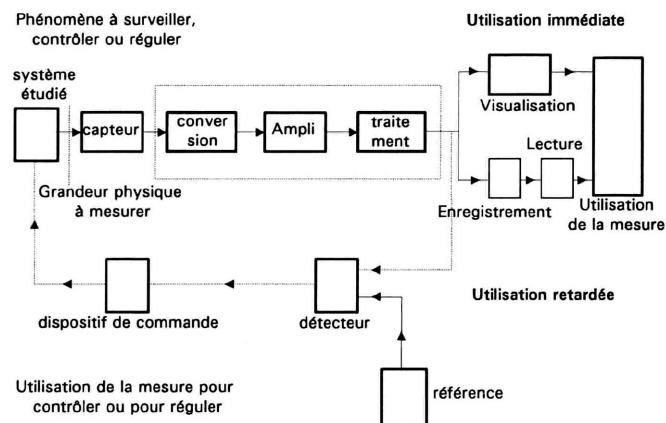
L'acquisition de données consiste à obtenir les différentes grandeurs physiques mises en jeu dans un système, lequel peut être une unité de production ou une station de recherche scientifique.

La technique d'acquisition a beaucoup évolué avec les progrès réalisés dans le domaine de l'électronique numérique et en particulier dans celui des microprocesseurs.

I. Chaîne analogique

I.1. Structure générale

Dans les chaînes analogiques, le signal porteur de l'information issue du capteur circule le long de la chaîne et est lié à la grandeur à mesurer par une loi continue.



Chaîne de mesure analogique

Le signal délivré par le capteur subit une série de transformations effectuées par un conditionneur de signaux qui comprend généralement :

- le **convertisseur de mesure** qui modifie la structure du signal afin de la rendre mieux adaptée à la transmission (l'utilisation de la mesure est souvent déportée par rapport au capteur) ;
- l'**amplificateur** qui accroît la puissance du signal ;
- un ou plusieurs **dispositifs de traitement** du signal obtenu.

Ces traitements peuvent être un simple **filtrage**, linéaire ou non linéaire, modifiant la forme temporelle du signal (écrêtage, démodulation, mise en forme...). Ils peuvent aussi avoir pour but d'obtenir un résultat « corrigé et adapté » à son utilisation : cette opération peut être très simple (linéarisation, conversion logarithmique, conversion en valeur absolue, en valeur efficace, en valeur de crête...). Elle peut aussi

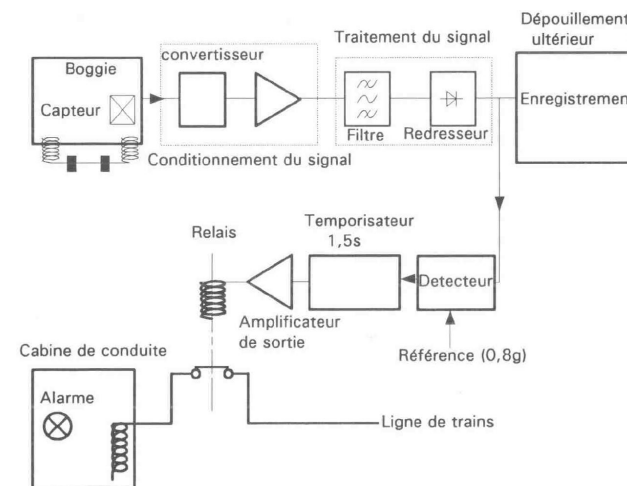
être complexe et variée (détection d'un signal noyé dans le bruit, corrélation entre deux signaux, etc).

Généralement, l'amplitude de la grandeur de sortie reçue par le manipulateur (en sortie de chaîne) suit les variations de l'amplitude de la grandeur physique à mesurer.

I.2. Exemple de réalisation industrielle

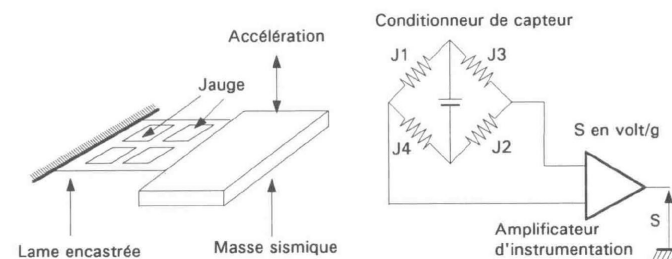
La vitesse élevée des trains à grande vitesse nécessite un système de surveillance des boggies. Ces derniers sont équipés d'un accéléromètre piézorésistif transversal. Lorsque l'accélération transversale de l'un des boggies dépasse 0,8 g pendant 1,5 s au moins, une alarme est donnée dans la cabine de conduite. Le signal de mesure est enregistré pour un éventuel dépouillement ultérieur.

Le schéma synoptique de la chaîne est fourni par la figure ci-dessous.



Système de surveillance des boggies des TGV

Le capteur est constitué de jauges résistives qui sont intégrées dans un pont de mesure. Ce dernier joue un rôle de conditionneur de capteur. La masse accélérométrique est montée au bout d'une lame flexible encastrée à l'autre extrémité.



Le capteur est constitué de jauges collées sur une lame flexible ; le pont de mesure, suivi d'un amplificateur d'instrumentation, conditionne le signal de mesure

La déformation de la lame est, dans les limites de la bande passante, proportionnelle à l'accélération. Cette chaîne de mesure a été réalisée par la SNCF pour la surveillance des trains TGV Paris-Lyon.

I.3. Modulation

Il est également possible que la grandeur physique support de l'information soit une grandeur sinusoïdale dans laquelle varie :

- soit l'amplitude instantanée (cas des **mesures par modulation d'amplitude**),
- soit la pulsation ou la phase par rapport à une grandeur sinusoïdale de référence (cas des **mesures par modulation de fréquence ou de phase**).

Il est également fréquent qu'on utilise comme **support de l'information des impulsions dont la largeur ou la fréquence de récurrence** reste liée à la grandeur à mesurer par une loi de proportionnalité simple (**PWM ou MLI, ...**). **La mesure garde son caractère analogique.**

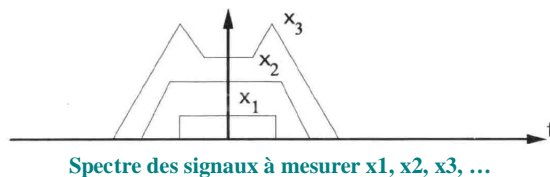
I.4. Multiplexage

Pour éviter la diaphonie due au couplage entre différentes voies de mesure en parallèle et pour des raisons économiques, on fait passer plusieurs signaux par une seule voie de transmission ; l'opération est connue sous le nom de **multiplexage**.

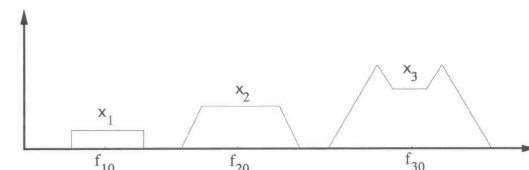
Les mesures se répartissent sur différents endroits et sur différentes grandeurs physiques à mesurer. On distingue deux méthodes de multiplexage : le **multiplexage temporel** et le **multiplexage fréquentiel**.

I.4.a. Multiplexage fréquentiel

Le multiplexage fréquentiel, appelé aussi **MRF (Multiplexage par répartition de fréquence** ou en anglais **FDM, Frequency Division Multiplexing**) permet de **partager la bande de fréquence disponible sur une voie haute vitesse en une série de canaux de plus faible largeur** afin de faire circuler en permanence sur la voie haute vitesse les signaux provenant des différentes voies basse vitesse.



En général, les signaux de mesure x_i sont de **basses fréquences** ; ils ont donc les **mêmes supports spectraux**. Il est nécessaire d'effectuer une **transposition de ces signaux**.



Transposition de spectre des signaux de mesure

Les signaux de mesure sont préalablement filtrés de façon à obtenir des signaux à spectre borné à une fréquence maximale F_M .

Le signal filtré module en fréquence une sous-porteuse de fréquence centrale f_{i0} . Les fréquences des sous-porteuses sont choisies pour que les spectres des signaux modulés v_i soient disjoints. La sommation de tous les signaux v_i fournit le signal multiplex v :

$$v = \sum_{i=1}^n v_i$$

Dans le cas d'une **transmission hertziennne**, une **deuxième modulation** est nécessaire ; c'est celle de la porteuse radioélectrique par le signal multiplex v .

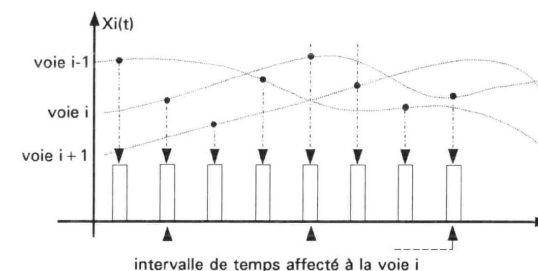
Pour reconstituer les signaux de mesure, on effectue les opérations inverses : les filtres passe-bande de fréquence centrale f_i permettent d'isoler les sous porteuses f_i , et les filtres passe-bas éliminent les résidus des sous-porteuses des signaux démodulés.

Les translations de fréquences nécessaires au multiplexage fréquentiel peuvent être effectuées par modulation d'amplitude (M.A.), de phase (M.P.) ou de fréquence (M.F.).

Le choix du type de modulation dépend généralement du rapport signal / bruit désiré, de la précision et de la largeur de bande du canal de transmission. En règle générale, **la modulation de fréquence est utilisée lorsqu'un rapport signal/bruit élevé est nécessaire.**

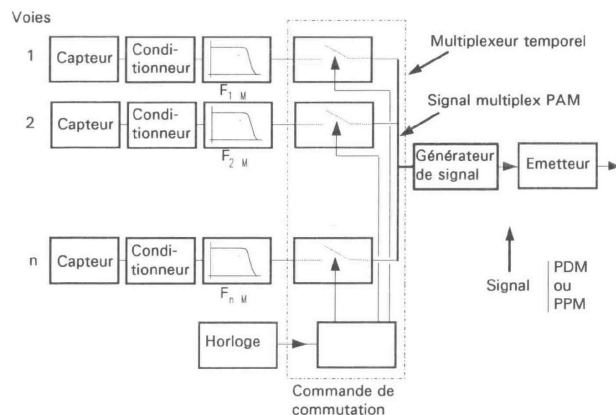
I.4.b. Multiplexage temporel

La totalité de la bande passante du canal de transmission est affectée séquentiellement à chacune des voies de mesure pendant un intervalle de temps défini.

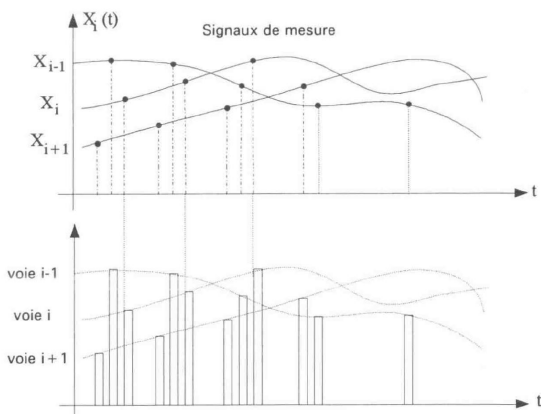


La figure ci-après représente une chaîne de mesure analogique à multiplexage temporel. On peut y distinguer :

- les **filtres passe-bas** dont le rôle consiste à assurer une limitation des spectres des signaux de mesure à une fréquence maximale F_{IM} , limitant ainsi le bruit et permettant l'échantillonnage à une fréquence remplissant les conditions de **Shannon** ;
- le **multiplexeur temporel** qui est constitué d'une **batterie de commutateurs analogiques qui aiguillent le signal de l'une des n voies vers la sortie** ; il est géré par un système de commande alimenté par une horloge.
- le **signal de sortie** qui est une **suite d'impulsions, dont l'amplitude est proportionnelle à la valeur de la grandeur sur la voie reliée à l'instant considéré** ; il est appelé « signal multiplex » PAM (Pulse Amplitude Modulation).



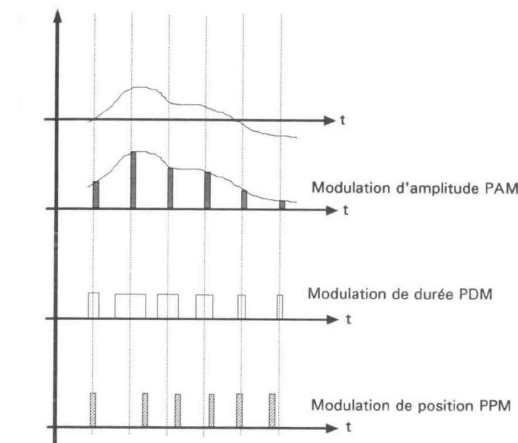
Chaîne de mesure analogique à multiplexage temporel



Signaux PAM obtenus à la sortie du multiplexage temporel

Le signal PAM, dont l'information à transmettre est contenue dans l'amplitude sujette au bruit, peut être transformé en signal :

- **P.D.M. (Pulse Duration Modulation)** : l'information est portée par la durée de l'impulsion ;
- **P.W.M. (Pulse Width Modulation)** : l'information est portée par le rapport cyclique de l'impulsion ;
- **P.P.M. (Pulse Position Modulation)** : l'information est portée par la position de l'impulsion.
- **PDM (Pulse-density modulation) ou modulation Δ - Σ** : l'information est représentée par la densité relative des impulsions (qui fixe la valeur moyenne du signal modulé). On parle alors de "bistream" ou de flux de bits. Un bitstream PDM est obtenu à l'aide d'un **modulateur delta-sigma**. Ce modulateur delta-sigma constitue le 1^{er} étage d'un CAN delta-sigma, encore appelé convertisseur 1 bit ; il est utilisé dans la plupart des CAN des circuits PSoC (en particulier dans les « Delsig »).



Différents types de signaux à transmettre après le multiplexage temporel

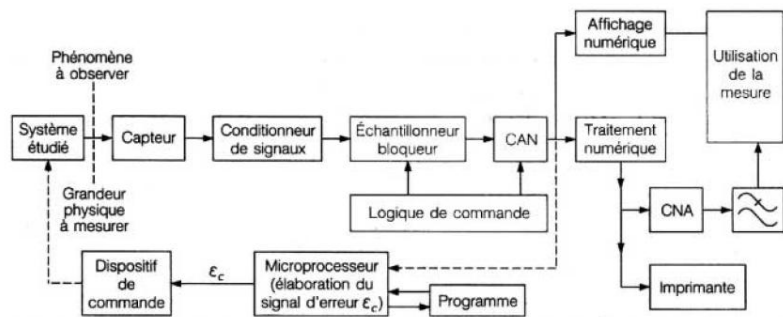
Les systèmes à multiplexage temporel ont supplanté, dans les systèmes de mesure, ceux à multiplexage fréquentiel car ils sont plus performants et que, en particulier, ils se prêtent facilement à la numérisation : le signal analogique est converti en un mot binaire, et la suite des échantillons forme un message PCM (Pulse Code Modulation).

Dans les circuits PSoC, on trouve des multiplexeurs analogiques temporels, indépendants ou intégrés dans des CAN.

II. Chaîne numérique

II.1. Structure générale d'une chaîne d'acquisition et de traitement numérique

Les progrès de l'électronique numérique et de l'informatique se sont répercutés dans le domaine de l'acquisition et du traitement du signal. La figure ci-après représente une chaîne de mesure numérique. Cette dernière peut être munie d'une commande de processus comprenant un programmeur à microprocesseur.



Chaîne de mesure numérique

Le **conditionneur de signaux** est analogue à celui de la chaîne analogique.

Le signal analogique fourni par le conditionneur est reçu par un **échantillonneur bloqueur (E/B)** dont le rôle est de prélever des valeurs instantanées et de les maintenir à l'entrée du **convertisseur analogique-numérique (CAN)** au moins pendant le temps nécessaire à une conversion.

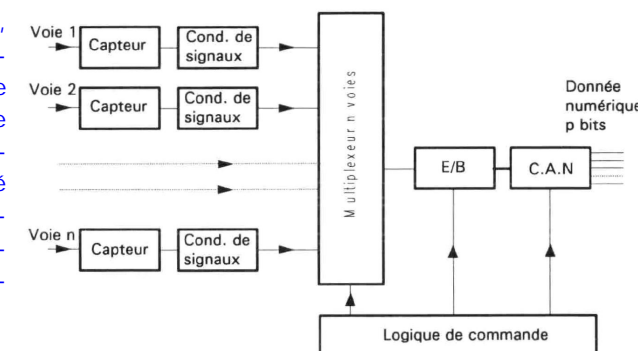
Ces deux modules sont commandés par un **système logique** qui, aux instants choisis, donne l'ordre d'échantillonnage puis « fige » le signal à l'entrée du convertisseur et « gère » le fonctionnement de ce dernier. Cette fonction peut être réalisée par un système logique simple ou par un **microprocesseur** ou un **microcontrôleur**.

La sortie numérique du CAN peut être :

- soit traitée par un organe numérique pouvant comprendre un ordinateur ou un microcontrôleur (calcul de la valeur moyenne dans le temps ou dans l'espace, calcul du gradient, calcul de valeurs efficaces, ...);
- soit mémorisée sur une imprimante pour une analyse ultérieure de l'évolution de la grandeur ;
- soit reconstituée sous sa forme analogique initiale par un convertisseur numérique-analogique (CNA) et exploitée pour le contrôle d'un processus (régulation de température d'un four, contrôle de qualité et de production, etc ...).

II.2. Multiplexage

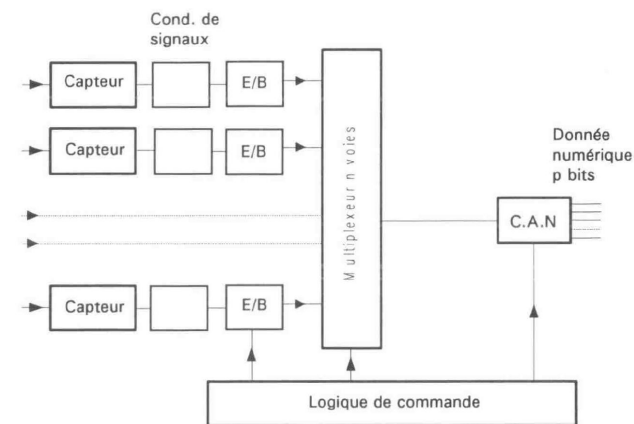
Dans la plupart des cas industriels, on doit acquérir plusieurs grandeurs. On constitue un système d'acquisition de données à l'aide d'un **multiplexage temporel** analogue à celui que nous avons étudié dans la chaîne de mesure analogique. Le multiplexeur est commandé par le système logique de commande.



Ce système d'acquisition à plusieurs entrées peut se présenter sous forme de différentes architectures.

Dans l'architecture présentée ci-dessus, le **CAN** et l'**échantillonneur-bloqueur** sont communs à toutes les voies (d'où économie). Dans certaines applications, l'utilisation d'un **amplificateur à gain programmable** en aval du multiplexeur permet de supprimer les amplificateurs dans les conditionneurs de signaux afin de réaliser une économie supplémentaire de circuits. **Les échantillons sont prélevés successivement (et non simultanément) sur les entrées.**

Lorsque des informations synchrones sont nécessaires sur plusieurs voies, on utilise la structure suivante.

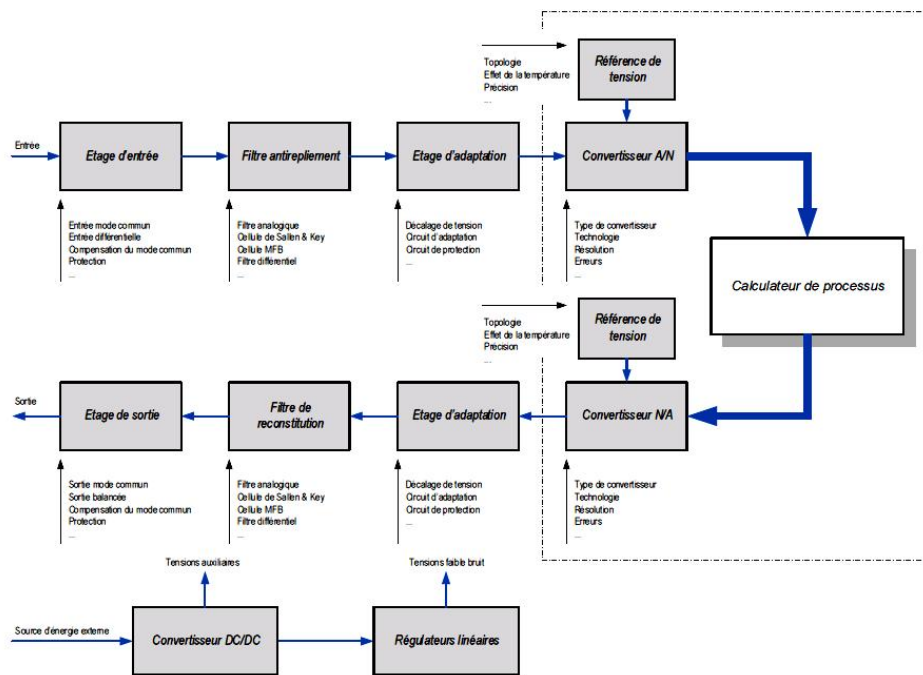


II.3. Schéma détaillé d'une chaîne d'acquisition, de traitement et de restitution du signal

On y fait apparaître en particulier :

- un **filtre anti-repliement** ;
- un **filtre de reconstruction** ;

- les circuits d'alimentation.



Chaîne d'acquisition, de traitement et de restitution du signal

Le convertisseur analogique/numérique remplit, en général, les fonctions d'échantillonnage, de quantification et de codage.

II.4. Le traitement effectué par le calculateur

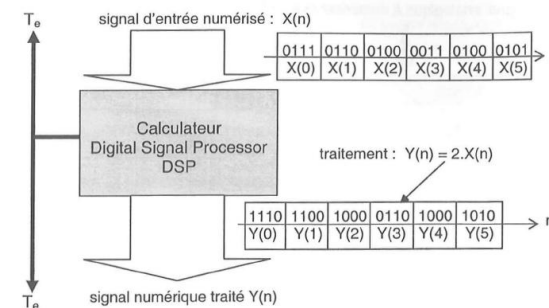
Dans le domaine analogique la variable est le temps t ; dans le domaine numérique la variable est l'indice n , sachant qu'entre $n-1$ et n , il s'est écoulé une durée égale à la période T_e .

$X(n)$ est la valeur numérisée de $X(t)$ à l'instant $t = nT_e$. Donc $X(n-1)$ est la valeur numérisée de $X(t)$ à l'instant $t = (n-1)T_e$. C'est l'échantillon qui est entré dans le calculateur juste avant $X(n)$.

Une fois le signal d'entrée numérisé puis lue par le processeur, on effectue un calcul, appelé traitement.

Prenons le cas très simple d'un amplificateur numérique qui consiste à simplement multiplier par 2 chaque échantillon entré, soit $Y(n) = 2.X(n)$. Toutes les valeurs entrées $X(0), X(1), X(2), \dots$, sont multipliées par 2 à chaque T_e , on fait donc une seule opération à chaque fois, une multiplication par une constante, ce qui occupe faiblement le processeur.

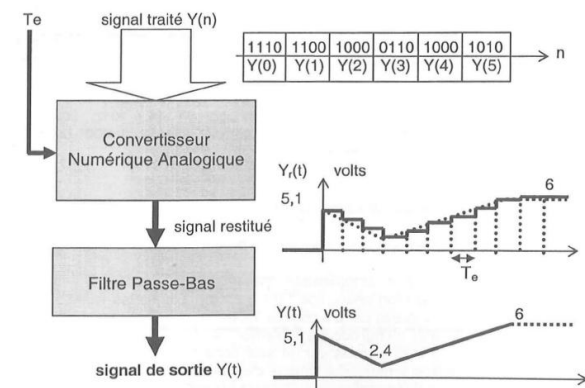
De plus l'équation $Y(n) = 2.X(n)$ travaille sur un seul échantillon, le processeur n'a pas besoin de mémoriser d'autres échantillons comme c'est le cas dans certains traitements. Ainsi le coeur de la structure de la chaîne de traitement est celui de la figure page suivante.



II.5 Restitution du signal traité

Une fois le traitement réalisé par le calculateur, il faut souvent retourner dans le domaine analogique.

C'est le rôle du convertisseur numérique analogique, qui partant de $Y(n)$ valeur codée en binaire, donne $Y_r(t)$, valeur en volts convertie à l'instant $t = nT_e$. Les valeurs $Y(n)$ sont appliquées au circuit convertisseur au même rythme que T_e et donc la sortie analogique ne change pas de valeur entre les instants nT_e .



La forme de $Y_r(t)$ est ainsi une succession de « marches » de durée T_e dont l'amplitude est proportionnelle à $Y(n)$.

Pour améliorer la forme du signal $Y_r(t)$, on procède à un filtrage analogique de type passe-bas qui supprime la forme en marches d'escaliers et fournit un signal plus lisse, $Y(t)$. La fréquence de coupure de ce filtre doit respecter la condition : $f_a < f_c < F_e$.