

INTERFAÇAGE

ANDREI DONCESCU



SYSTÈMES AUTOMATISÉS

L'**automatique** traite de la modélisation, de l'analyse, de la commande et de la régulation des systèmes dynamiques. L'automatique permet l'automatisation de tâches par des machines fonctionnant sans intervention humaine. On parle alors de système asservi ou régulé:

Exemple: **régulateur de vitesse d'une automobile**

Il permet de maintenir le véhicule à une vitesse constante, à partir d'une **vitesse-consigne** prédéterminée par le conducteur, indépendamment de la pente de la route.

Les systèmes automatisés ont pour élément central **un automate**.

Un automate est un dispositif se comportant de manière **automatique**, c'est-à-dire **sans intervention d'un humain**. Ce comportement peut être figé, le système fera toujours la même chose, ou bien peut s'adapter à son environnement.

SYSTÈMES AUTOMATISÉS

Les automates se caractérisent par leurs entrées (logiques, analogiques ou numériques), leurs sorties (à relais ou à transistor TOR), le mode de programmation (GRAFSET, Algorithm..), le langage utilisé (langage à contact, Langage C..) et leurs alimentations.

Le choix d'un automate s'effectue en fonction du besoin et de la technologie souhaitée.



SR3 B101BD

- Module logique ZELIO

Modules logiques modulaires avec afficheur							
Nombre d'E/S	Entrées TOR	Dont entrées analogiques 0-10 V	Sorties à relais	Sorties à transistors	Horloge	Référence	Masse kg
Alimentation \equiv 12 V							
26	16	6	10	0	Oui	SR3 B261JD (1)	0,400
Alimentation \equiv 24 V							
10	6	4	4	0	Oui	SR3 B101BD	0,250
	6	4	0	4	Oui	SR3 B102BD	0,220
26	16	6	10 (2)	0	Oui	SR3 B261BD	0,400
	16	6	0	10	Oui	SR3 B262BD	0,300
Alimentation \sim 24 V							
10	6	0	4	0	Oui	SR3 B101B	0,250
26	16	0	10 (2)	0	Oui	SR3 B261B	0,400
Alimentation \sim 100-240 V							
10	6	0	4	0	Oui	SR3 B101FU	0,250
26	16	0	10 (2)	0	Oui	SR3 B261FU	0,400

EMBARQUÉ = CONTROL

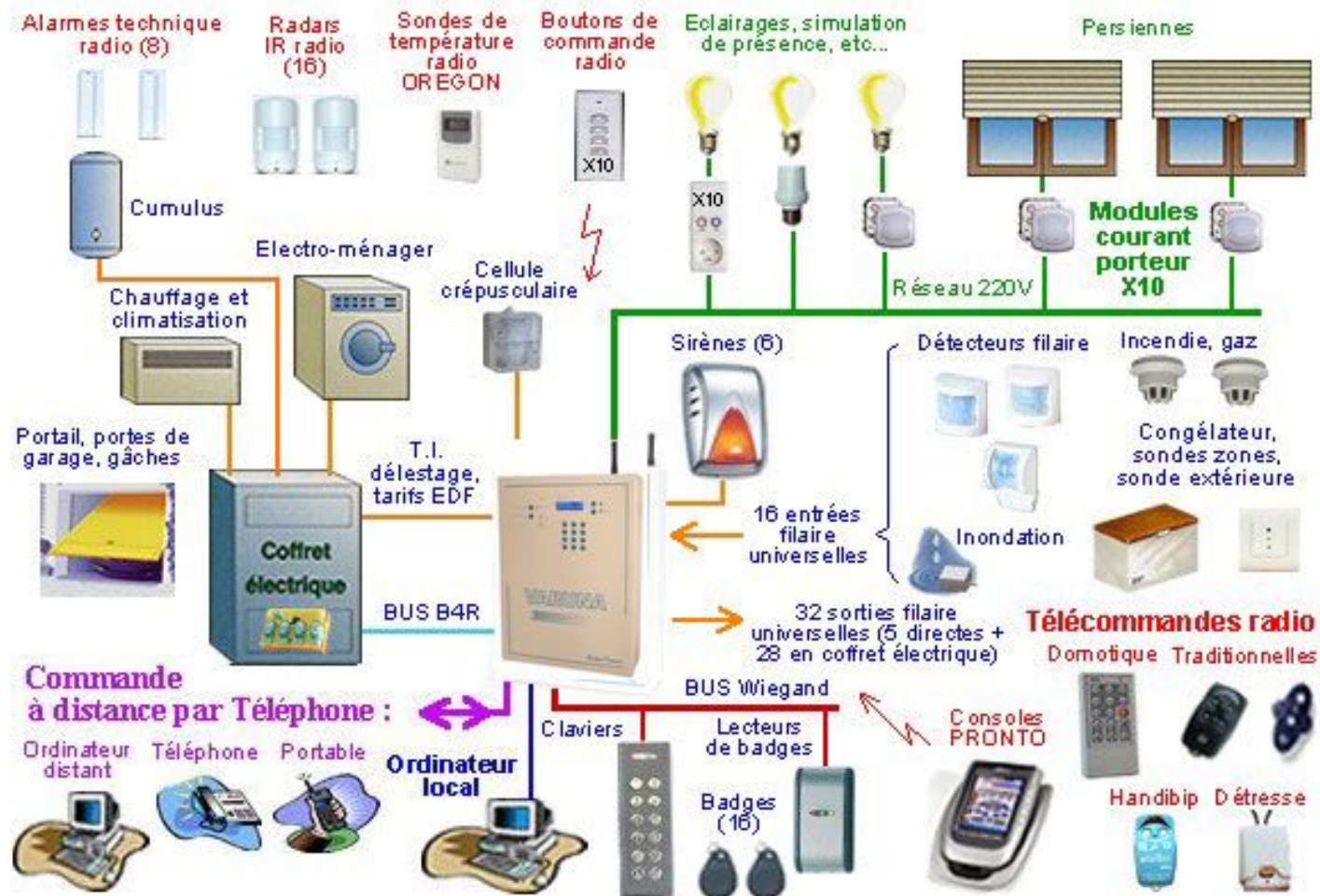
On trouve dans tous les automates un composant central : un microcontrôleur

Un microcontrôleur se présente sous la forme d'un circuit intégré réunissant tous les éléments d'une structure à base de microprocesseur.

On trouve notamment:

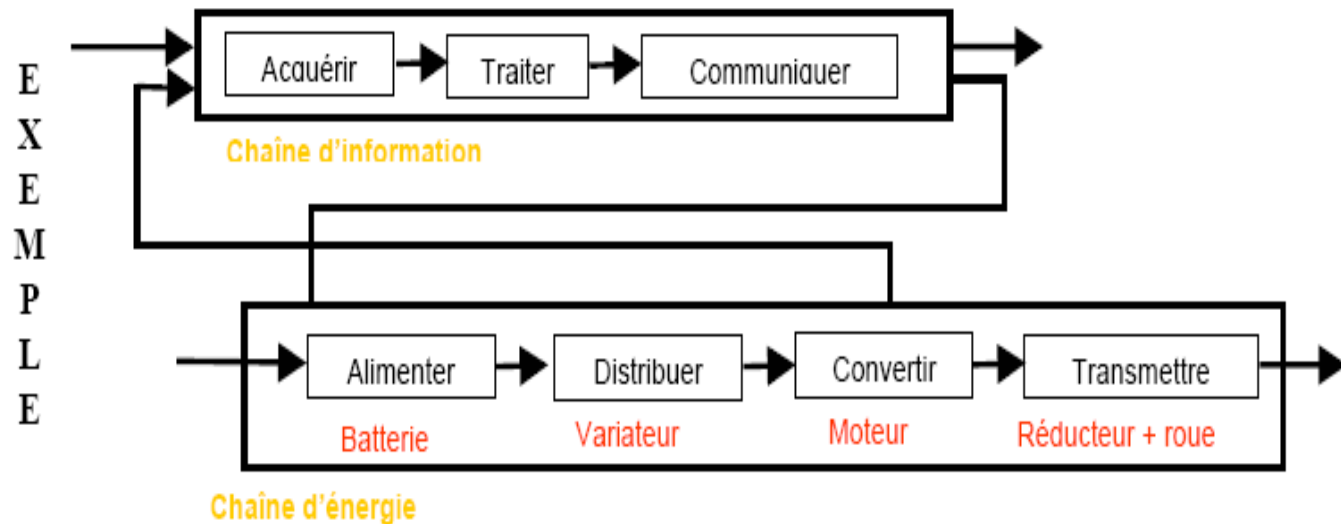
- Un microprocesseur (C.P.U.),
- De la mémoire (RAM et EEPROM),
- Des interfaces parallèles pour la connexion
- Des interfaces pour la connexion avec d'autres systèmes, par exemple une liaison USB vers un PC, pour le dialogue vers d'autres microcontrôleurs ou pour communiquer avec l'extérieur.
- Des timers pour générer ou mesurer des signaux avec une grande précision temporelle.

SYSTÈMES DOMOTIQUES

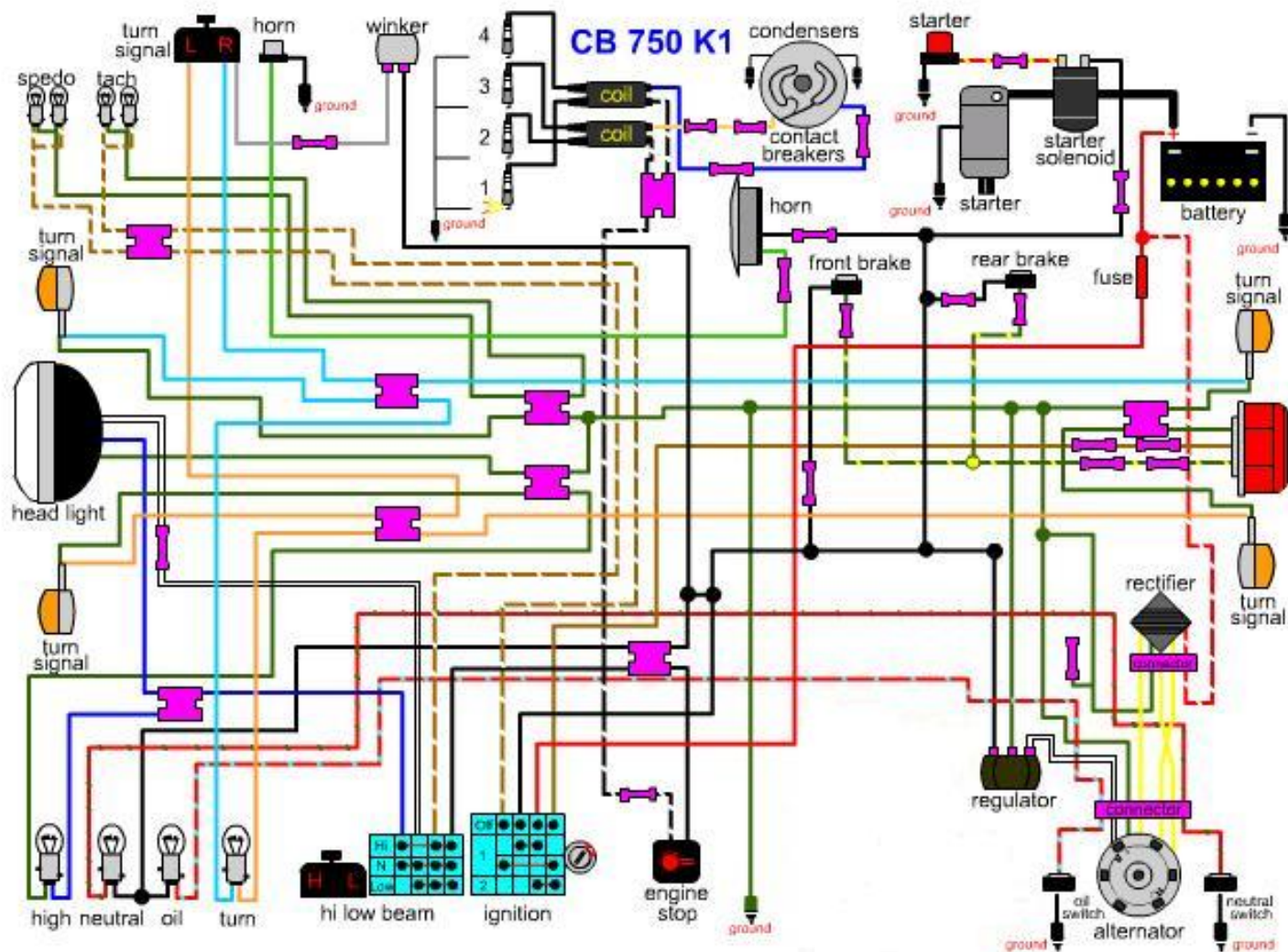


TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Le traitement de l'information est l'ensemble des techniques permettant de créer, d'analyser, de transformer les signaux en vue de leur exploitation.

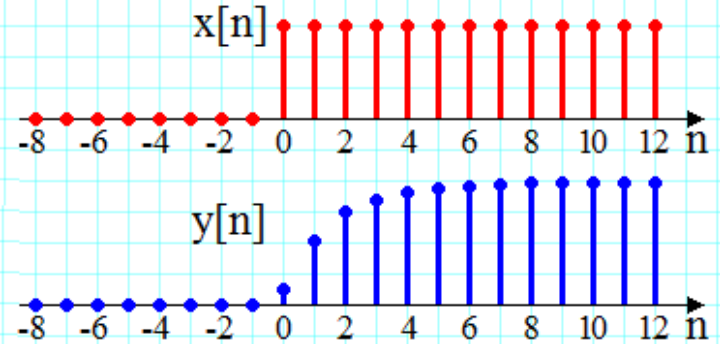
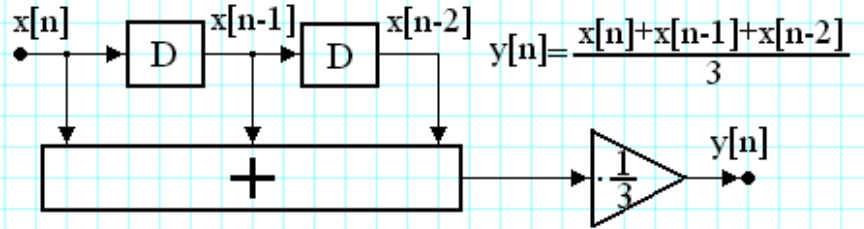
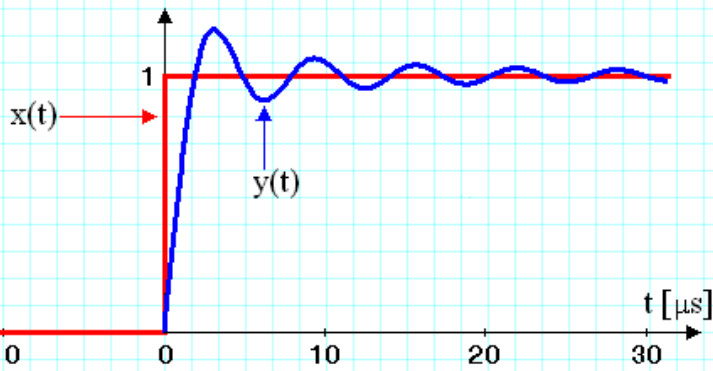
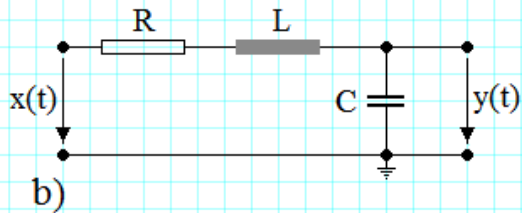


CONNAÎTRE LE TRAITEMENT DU SIGNAL

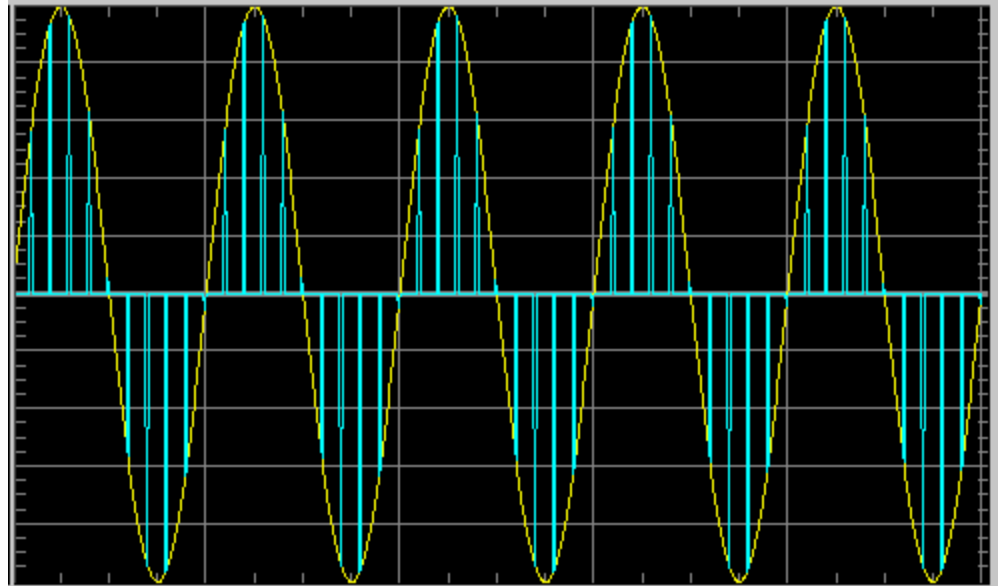


Un système analogique est constitué de circuits

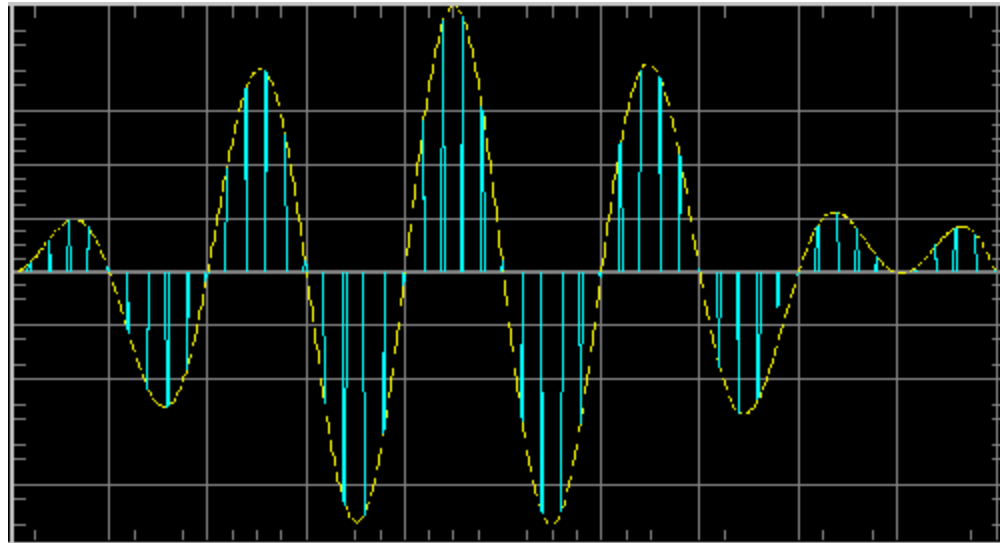
Un Système Digital est un Algorithme



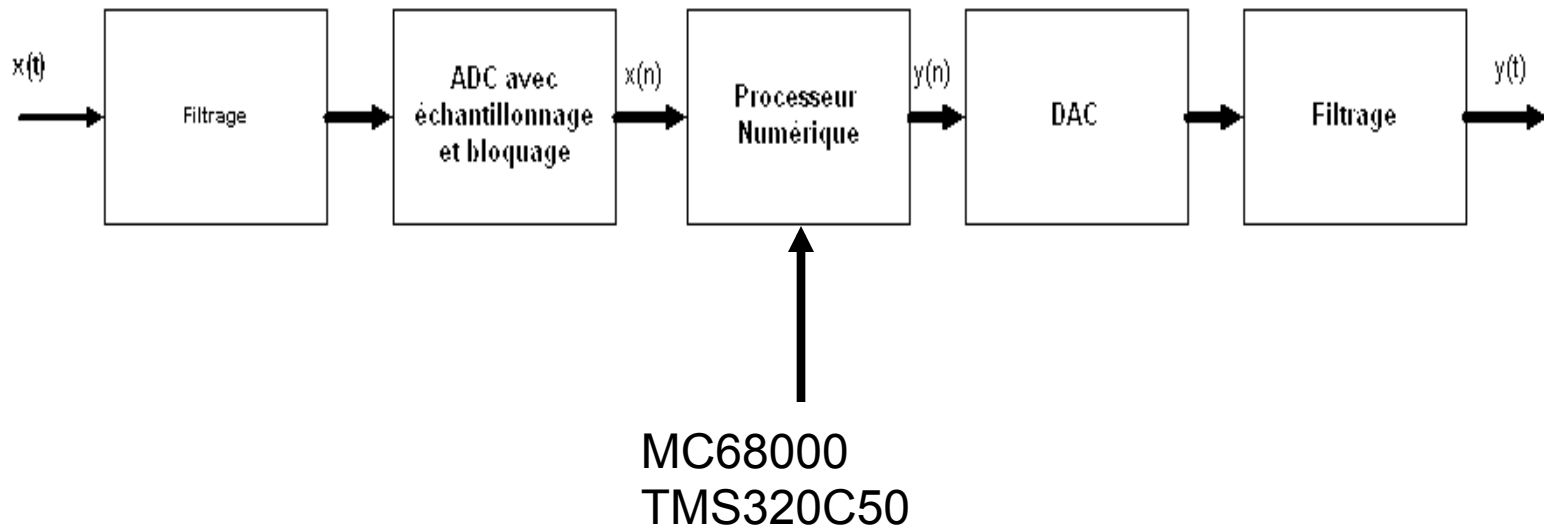
Signal Analogique



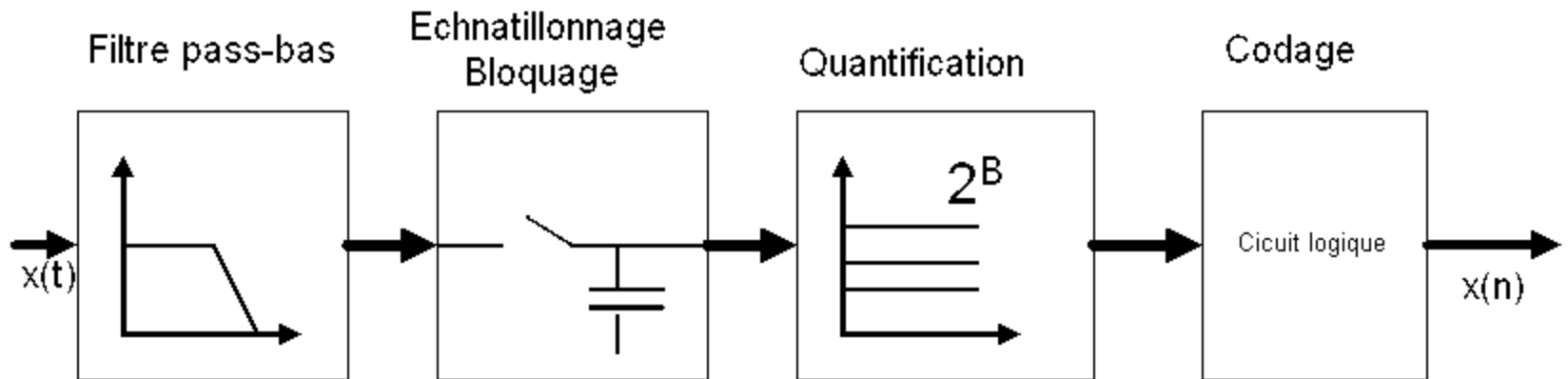
Signal échantillonnage



CHAINE DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION ANALOGIQUE



SIGNAL NUMERIQUE

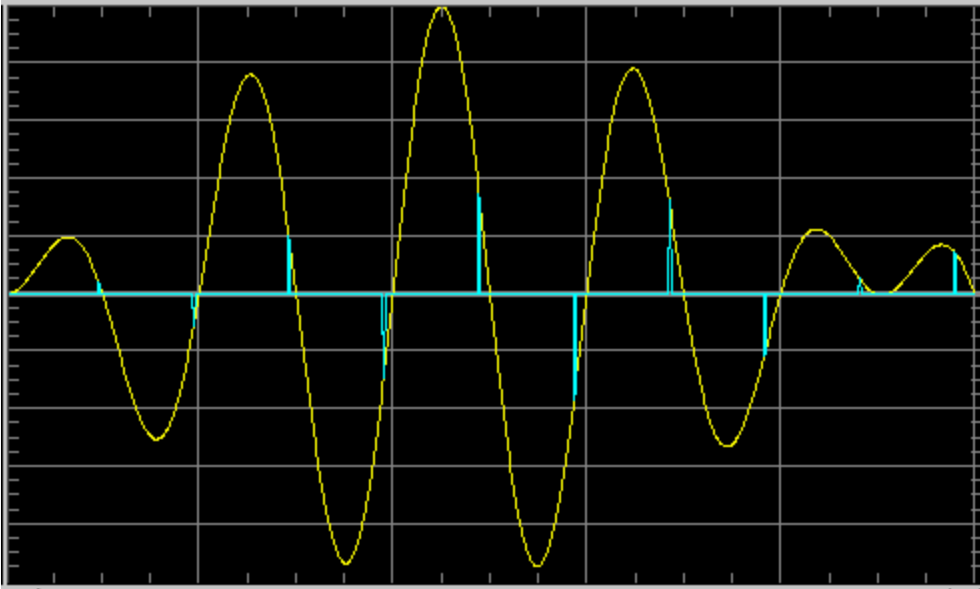


Signal Analogique

Signal discret en temps

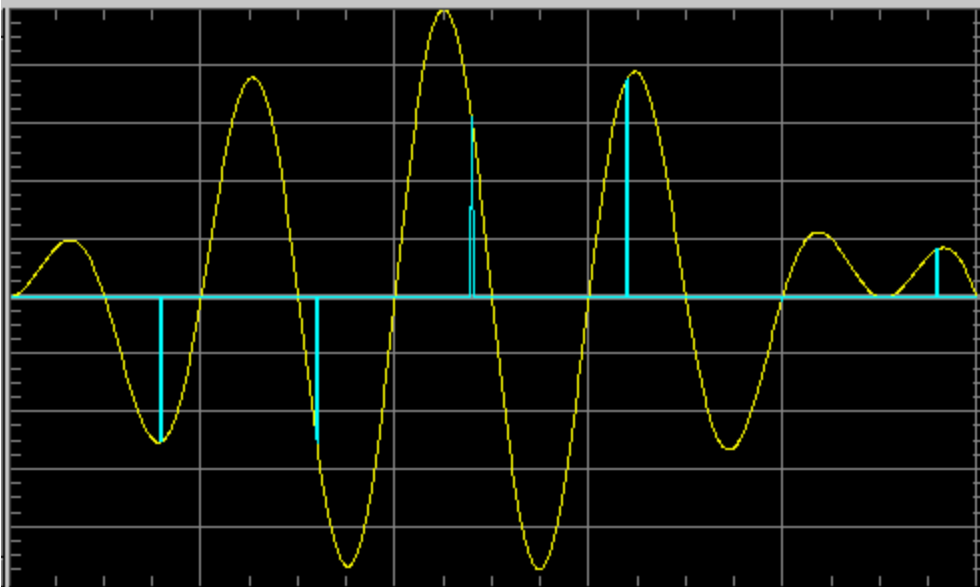
Signal numérique

QU'EST CE L' ÉCHANTILLONNAGE



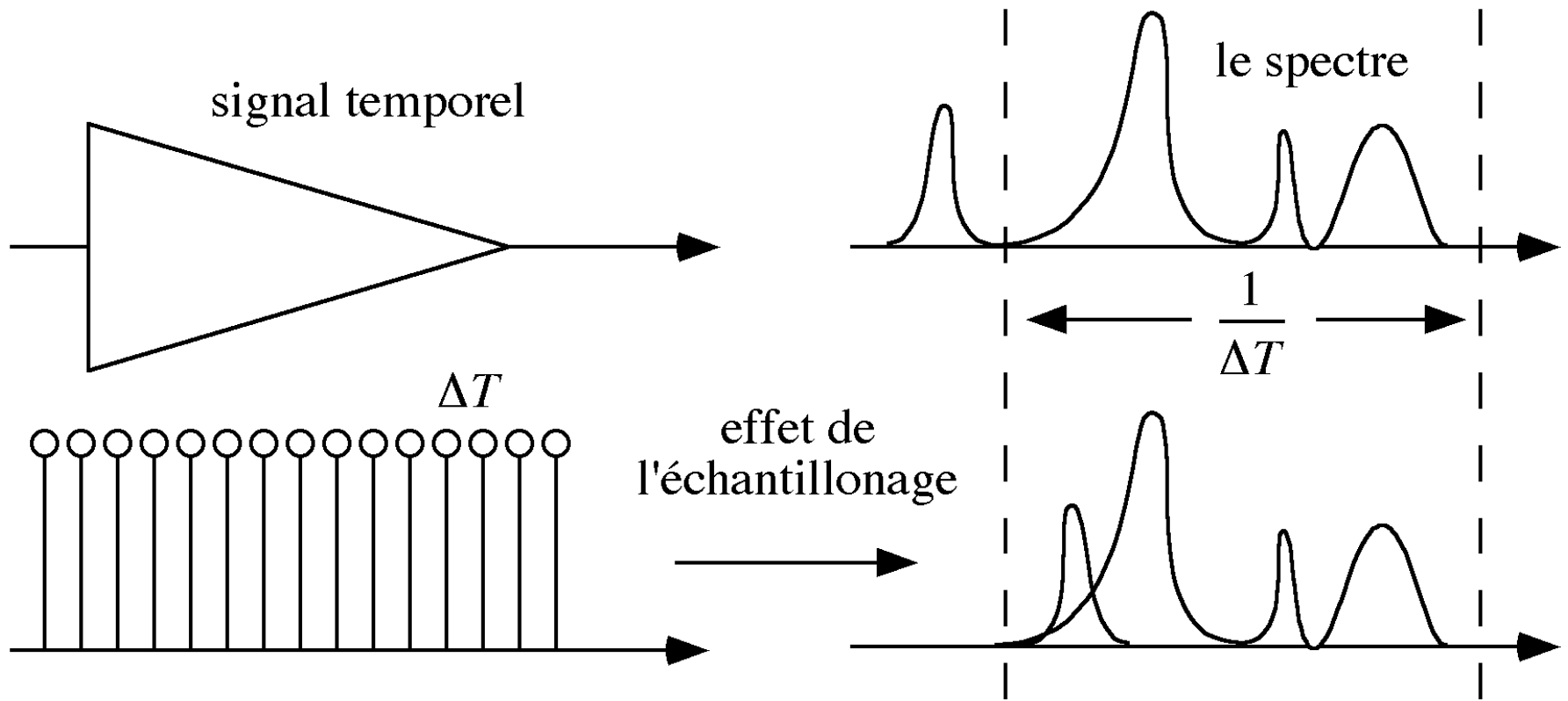
On peut, intuitivement, remarquer sur l'illustration précédente, que relier les échantillons à l'aide d'une ligne courbe, aussi bien choisie soit-elle, n'a que peu de chances de reproduire le signal original, bien que le théorème de l'échantillonnage soit, formellement, respecté.

SOUS-ÉCHANTILLONNAGE

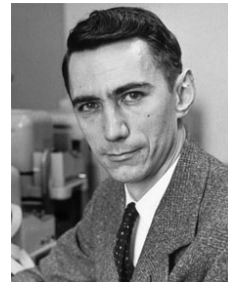
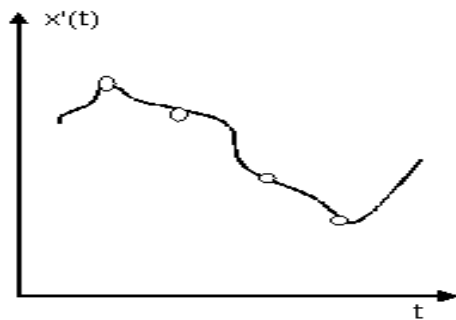
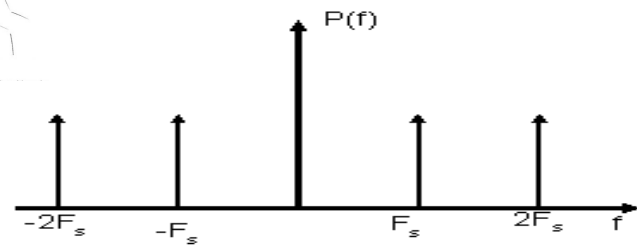
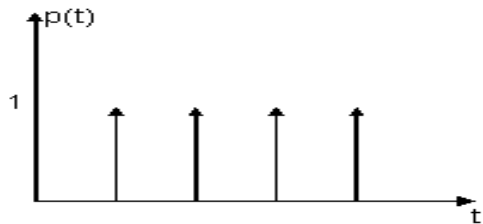
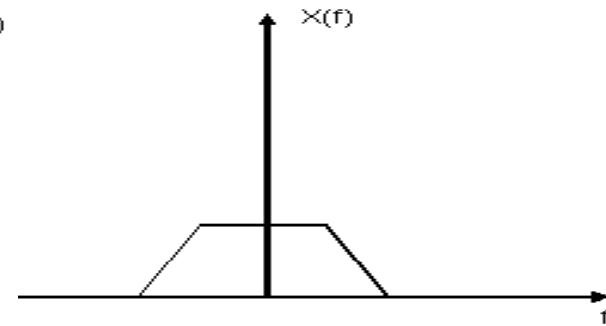
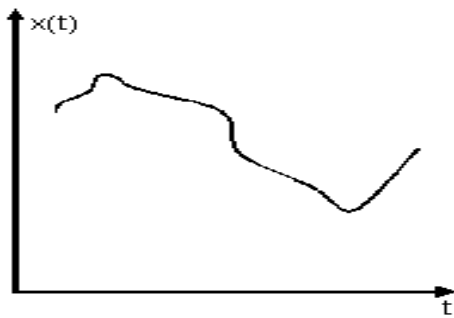
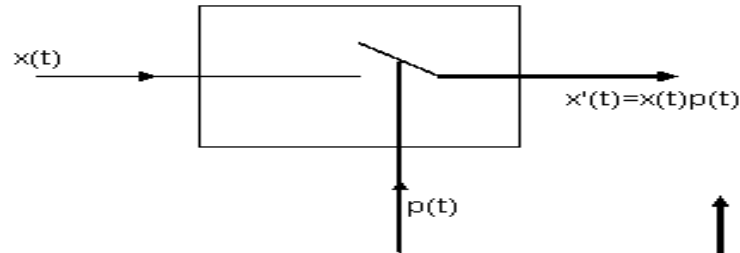


Si l'on tente de relier les échantillons par une courbe, on ne va pas être en mesure de reconstituer le signal original, mais un autre, peu semblable au précédent. Ceci est la conséquence de la violation du théorème de l'échantillonnage.

SOUS-ÉCHANTILLONNAGE

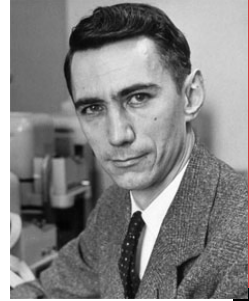


MODÈLE MATHÉMATIQUE DE L'ÉCHANTILLONNAGE



$$x_e = \sum_{n \in \mathbb{Z}} x_a(nT_e) \delta(t - nT_e)$$

ÉCHANTILLONNAGE



L' échantillonnage idéal prélève des échantillons à la cadence T_e de façon instantanée.

$$x_e = \sum_{n \in \mathbb{Z}} x_a(nT_e) \delta(t - nT_e)$$

$$x_e(t) = x_1(t) \sum_{n \in \mathbb{Z}} \delta(t - nT_e)$$

SPECTRE DU SIGNAL ÉCHANTILLONNÉ

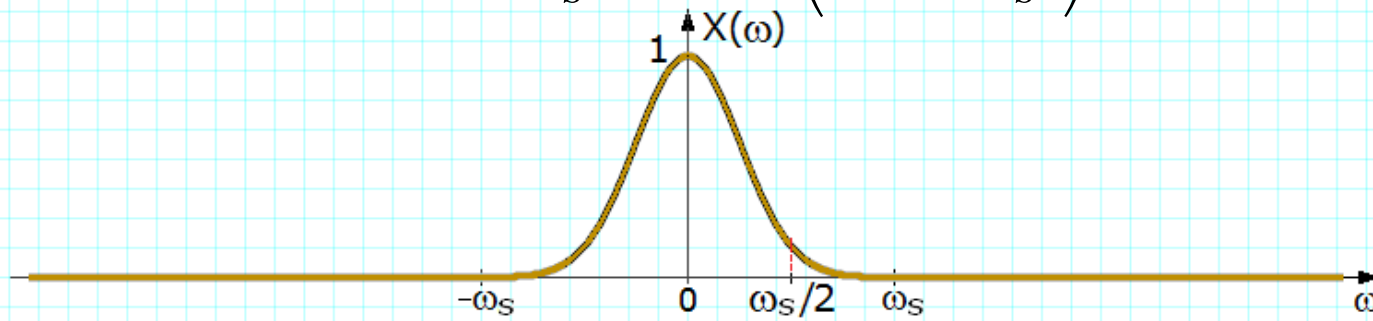


$$X_e(f) = TF[x_a(t)] * TF\left[\sum_{n \in \mathbb{Z}} \delta(t - nT_e)\right]$$

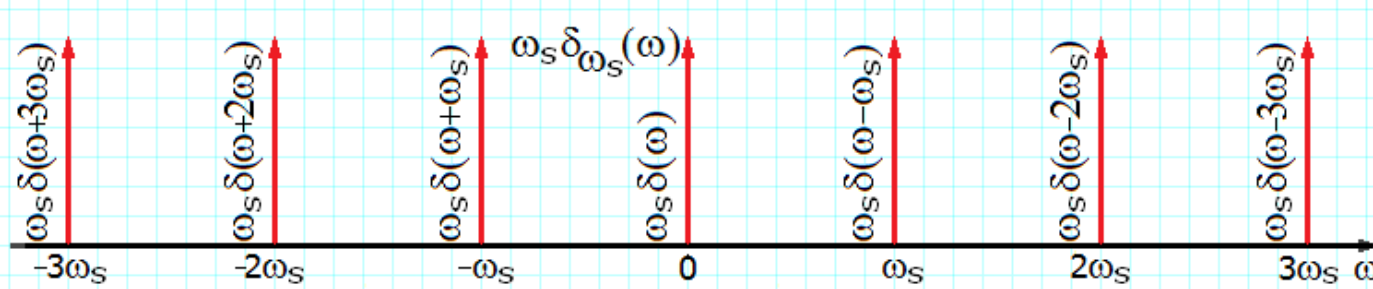


$$X_e(f) = f_e X_a(f) * TF\left[\sum_{n \in \mathbb{Z}} \delta(t - nT_e)\right] = f_e \sum_{n \in \mathbb{Z}} X_a(f - nf_e)$$

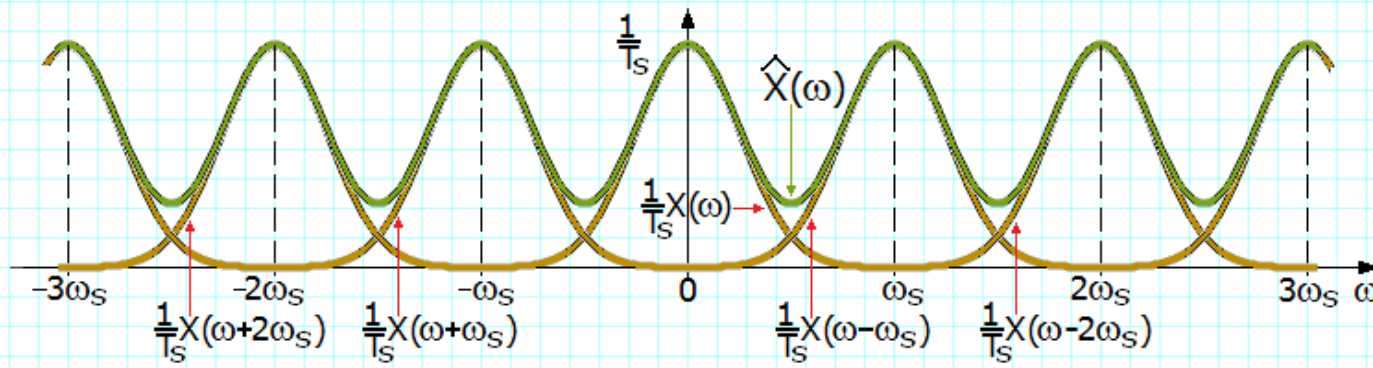
$$\hat{X}(\omega) = \frac{1}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X\left(\omega - k \frac{2\pi}{T_s}\right)$$



Spectre du Signal Original



Spectre de la distribution de Dirac périodique



Spectre du Signal échantillonné idéalement

Aliasing

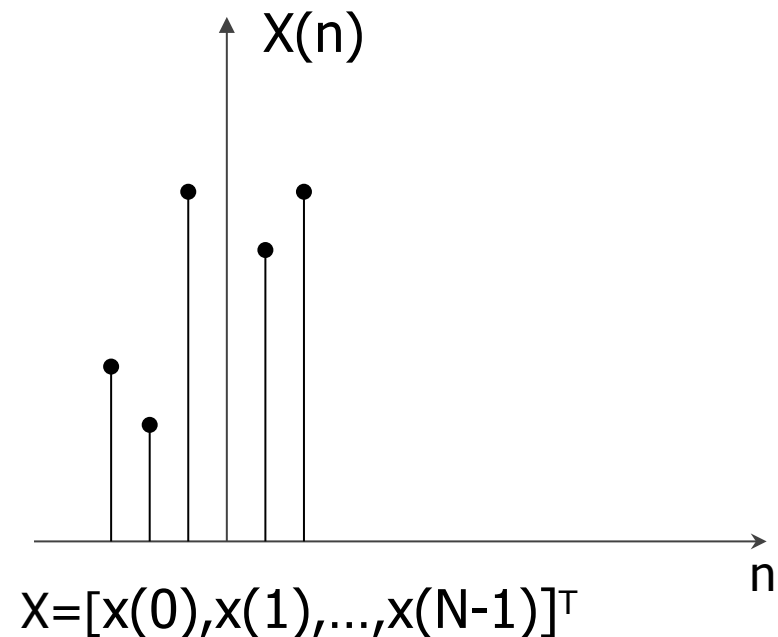
ÉCHANTILLONNAGE AVEC BLOCCAGE

En utilisant une impulsion

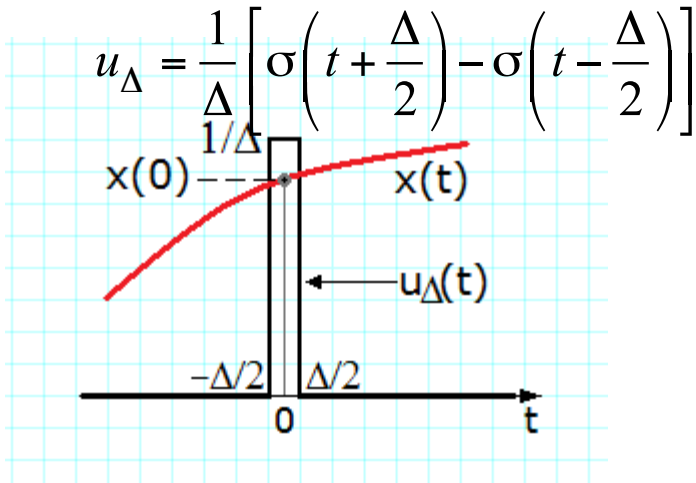
$$x_e(t) = x_1(t) \sum_{n \in \mathbb{Z}} \delta(t - nT_e)$$

avec

$$x_1(t) = [x_a(t) * h(-t)]$$



ÉCHANTILLONNAGE AVEC BLOCCAGE



$$x(t)u_{\Delta}(t) \cong x(0)u_{\Delta}(t)$$

Les autres échantillons sont obtenu par un retard de kT_s .

$$x(t)u_{\Delta}(t - kT_s) \cong x(kT_s)u_{\Delta}(t - kT_s)$$

Echantillonnage :

$$x(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} u_{\Delta}(t - kT_s) \cong \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(kT_s) u_{\Delta}(t - kT_s)$$

Petite valeurs de Δ :

$$\lim_{\Delta \rightarrow 0} u_{\Delta}(t) = \delta(t)$$

$$\lim_{\Delta \rightarrow 0} \sum_{k=-\infty}^{\infty} u_{\Delta}(t - kT_s) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_s) x(kT_s) = \delta_{T_s}(t)$$

Echantillonnage Idéal $x(t)$:

$$\hat{x}(t) = x(t) \delta_{T_s}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(kT_s) \delta(t - kT_s)$$

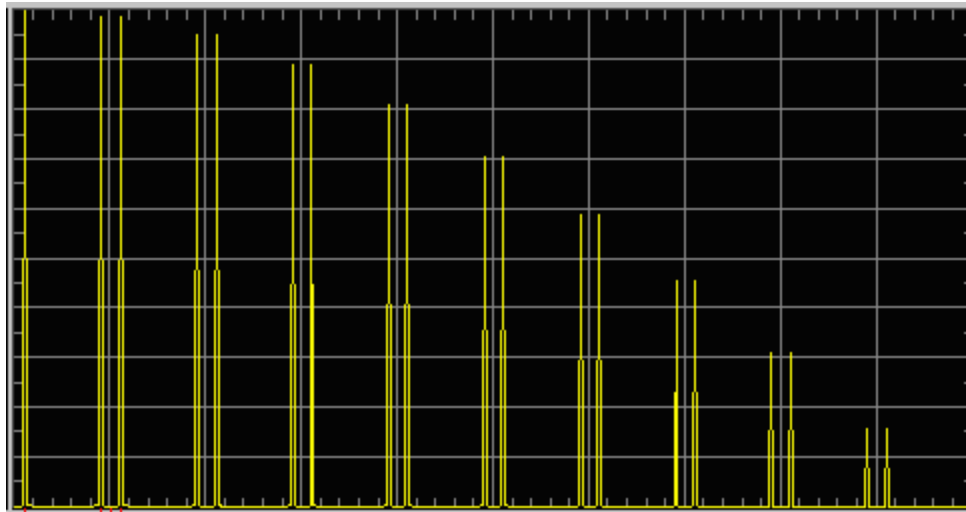
THÉORÈME DE SHANNON

Pour éviter une superposition des spectres élémentaires il est nécessaire d'imposer le théorème de Shannon

$$F_e \geq 2f_{\max}$$

Un signal de spectre borné ne peut pas être que de durée infinie. Il est donc erroné de considérer des signaux à la fois de durée et de spectre finis.

SPECTRE DANS LE CAS SINUSOÏDAL



Raies de part et d'autre de la fréquence d'échantillonnage, à $f_e - f_m$ et $f_e + f_m$

Fréquence d'échantillonnage (f_e)

Fréquence du sinus (f_m)

Le spectre d'un signal échantillonné se compose d'une série de raies réparties de part et d'autre des multiples de la fréquence d'échantillonnage. Les raies intéressantes pour la démodulation sont celles qui se situent aux alentours de 0, puisque ce sont celles qui correspondent au signal original.

QUELQUES VALEURS

En téléphonie, on utilise une largeur de bande de 300 à 3400 Hz. Dans le cadre du réseau numérique à intégration de services (RNIS, ISDN pour les anglo-saxons), on utilise une fréquence d'échantillonnage de 8000 Hz (au lieu des 6800 théoriquement nécessaires).

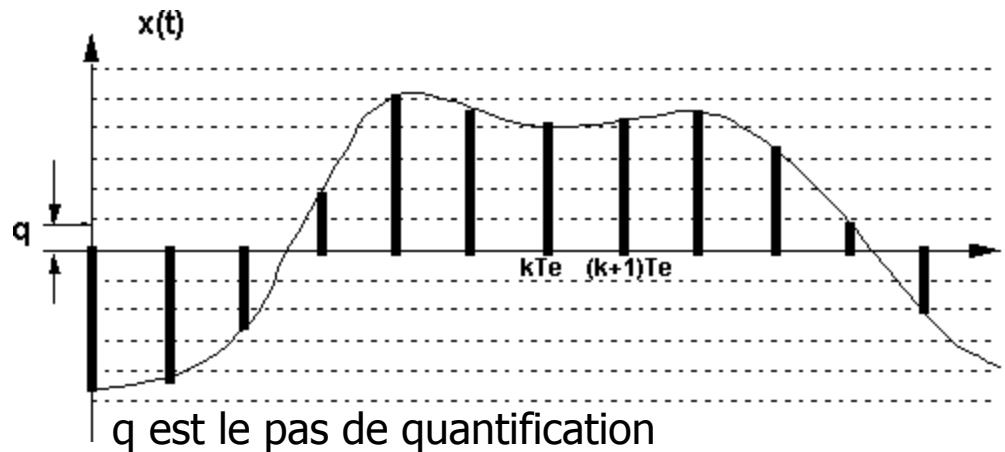
La musique se satisfait de 16, voire 20 kHz de largeur de bande. Un disque CD (Compact Disc) utilise une fréquence d'échantillonnage de 44 kHz.

Remarque: Dans les deux cas, il est essentiel que l'on ait au préalable limité la largeur de bande du signal original : des fréquences inaudibles dans le signal original deviennent audibles par le phénomène de repliement !

QUANTIFICATION

La quantification est une règle de correspondance entre :

- L'ensemble infini des valeurs des échantillons $x_a(t=nT_e)$
- et un nombre fini de valeurs x_k



DE L' ANALOGIQUE AU NUMÉRIQUE

Discrétisation temporelle $f_e \geq 2B$

Discrétisation de l' amplitude

N niveaux ----- $\log_2 N$ bits par échantillon

Débit

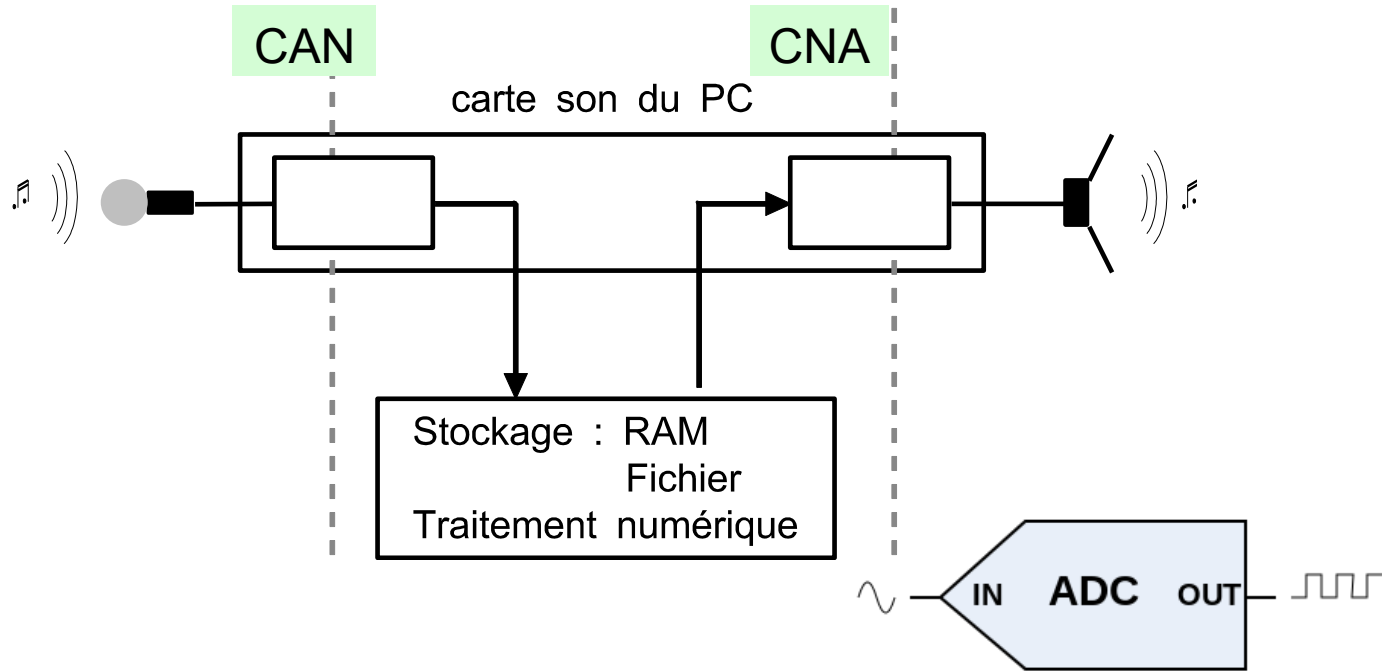
$$D = F_e * \log_2 N$$

Conversion analogique au numérique

Analogique

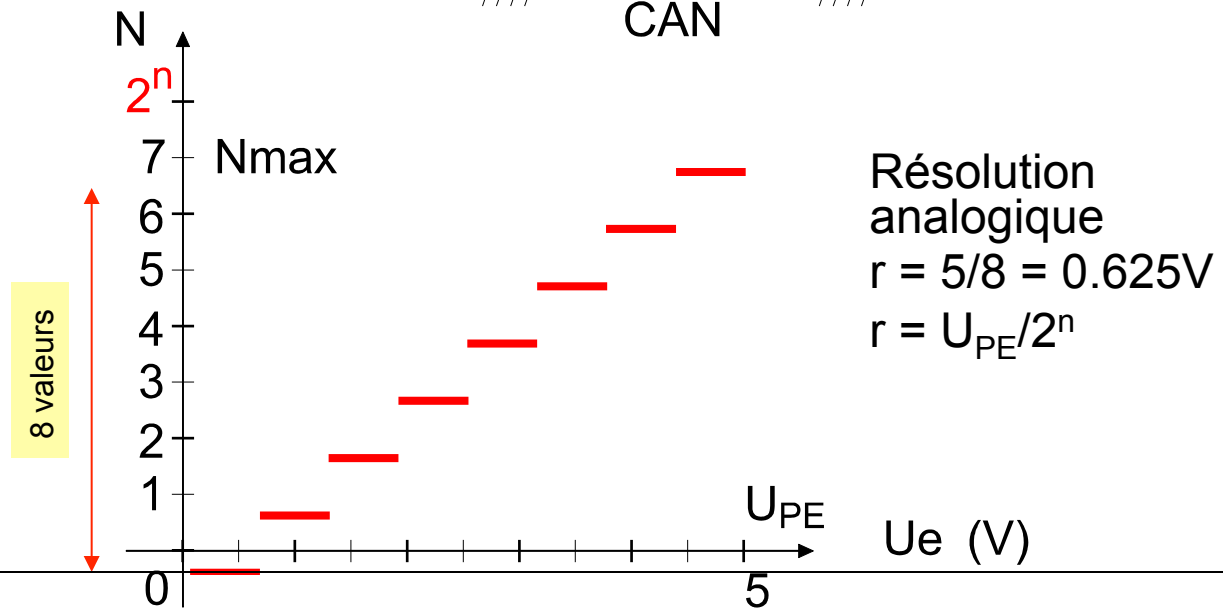
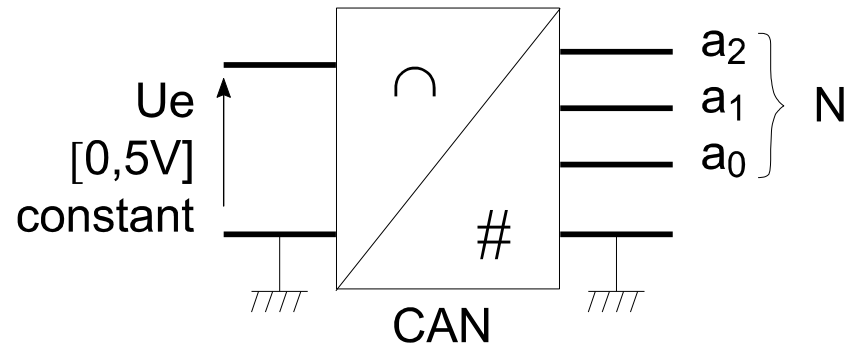
Numérique

Analogique



CONVERTISSEUR ANALOGIQUE NUMÉRIQUE

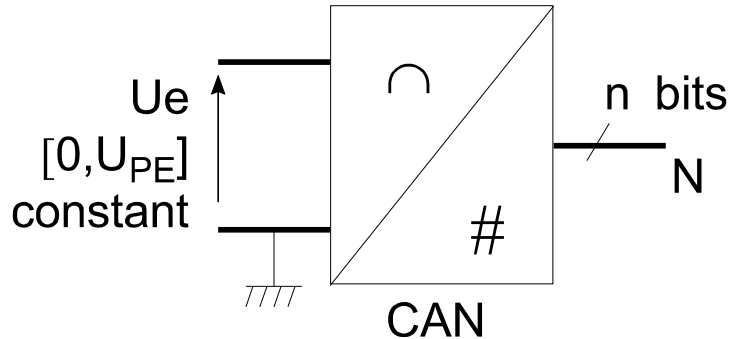
CAN 3 bits
($n = 3$)



Une infinité de valeurs

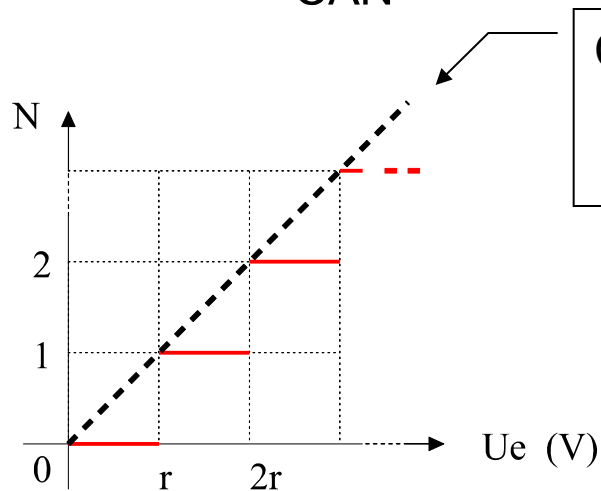
La conversion Analogique-Numérique introduit toujours une erreur de quantification

ERREUR DE QUANTIFICATION

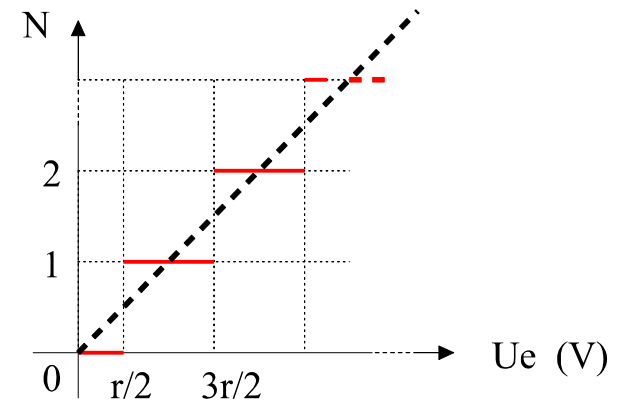


Résolution analogique : $r = U_{PE}/2^n$

Résolution numérique : n bits



Erreur analogique : r
Erreur numérique : 1 LSB



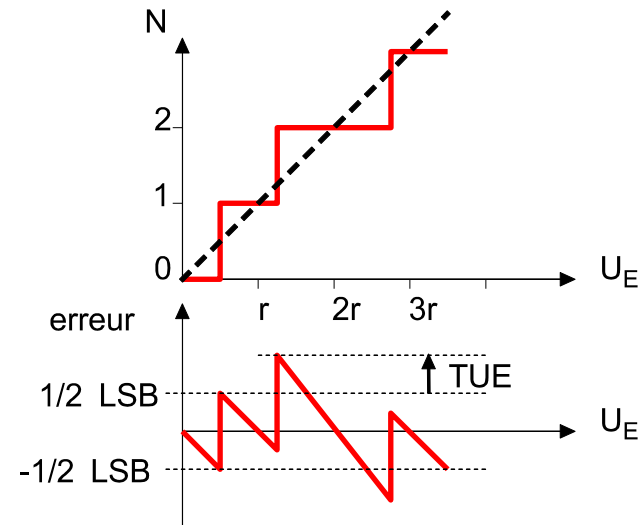
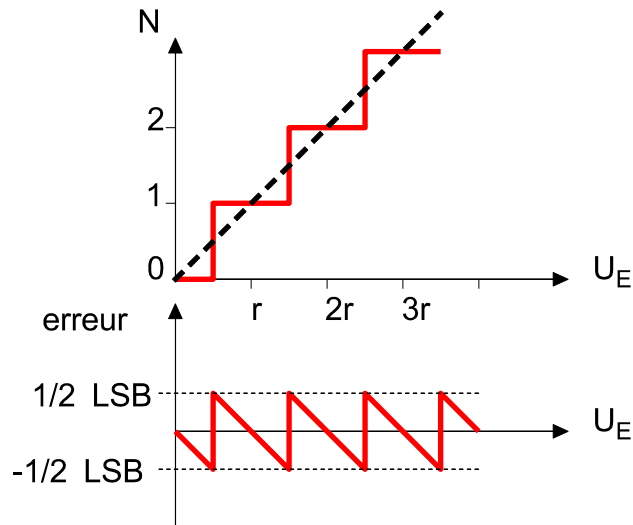
Erreur analogique : $\pm r/2$
Erreur numérique : $\pm 1/2$ LSB

ERREURS

À l'erreur de quantification, s'ajoutent d'autres erreurs
linéarité, offset, gain ...

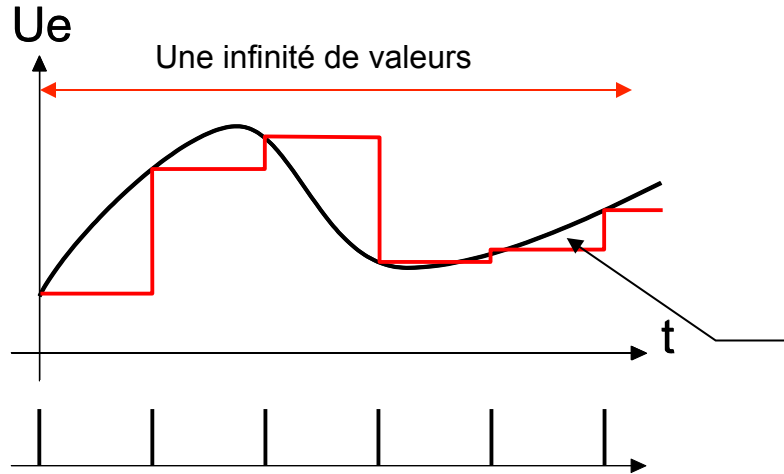
le constructeur fournit en général la valeur max

TUE : Total Unadjusted Error



CAN TLC549
ADC08831

CONVERSION D'UNE TENSION VARIABLE



En amont du CAN se trouve un échantillonneur-bloqueur qui prélève régulièrement une valeur de U_e et bloque cette valeur jusqu'à l'échantillon suivant. (mémoire analogique)

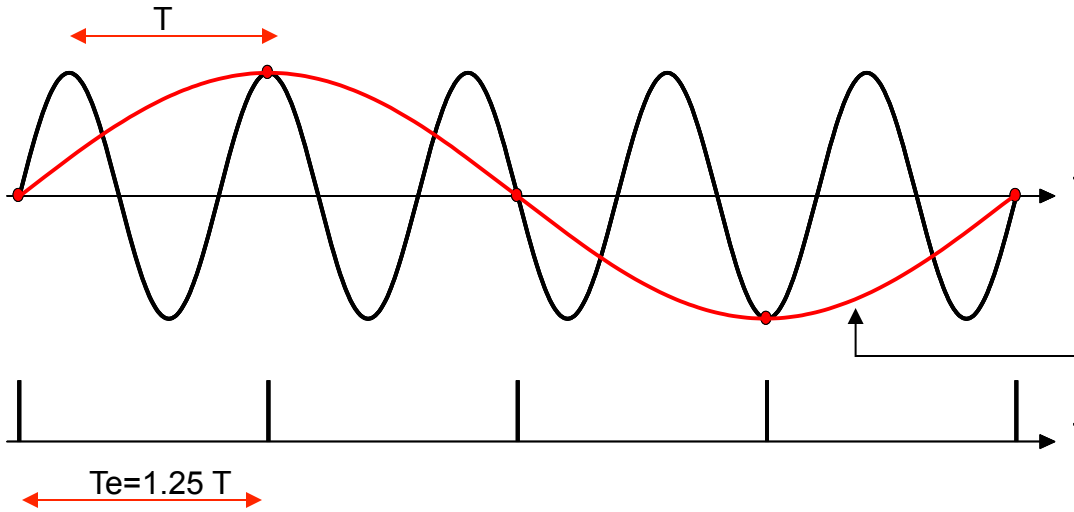
Tension d'entrée du CAN
le temps de conversion doit être inférieur à T_e

Commande de
l'échantillonneur
Période T_e , Fréquence $F_e = 1/T_e$

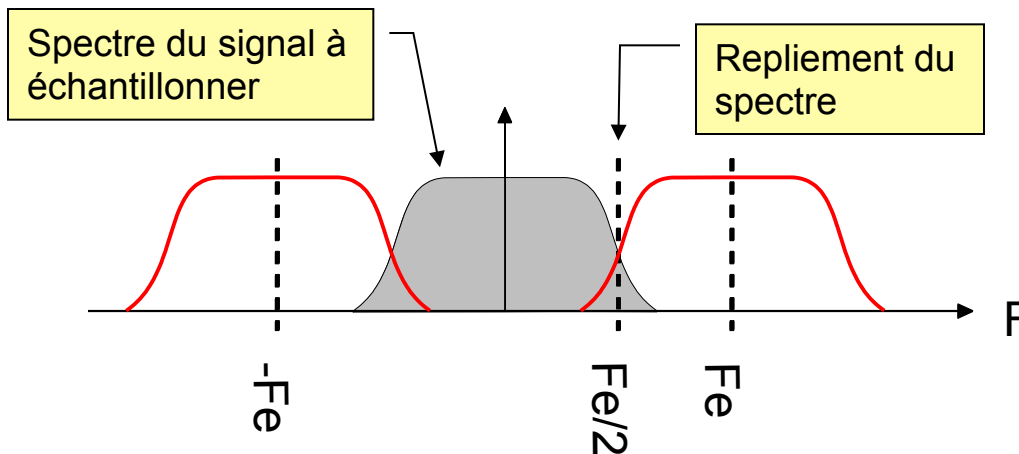
La conversion analogique numérique implique une double quantification :
quantification temporelle (échantillonnage)
quantification en amplitude (résolution)

ALIASING

Exemple avec un signal sinusoïdal de période T échantillonné à $T_e = 1.25 T$
 $F_e = 0.8 F$



$$\begin{aligned} T' &= 5 T \\ F' &= 0.2 F \\ F' &= F - F_e \end{aligned}$$



Théorème de SHANNON :

(Critère de Nyquist)
 $F_e > 2 \cdot F_{\max}$

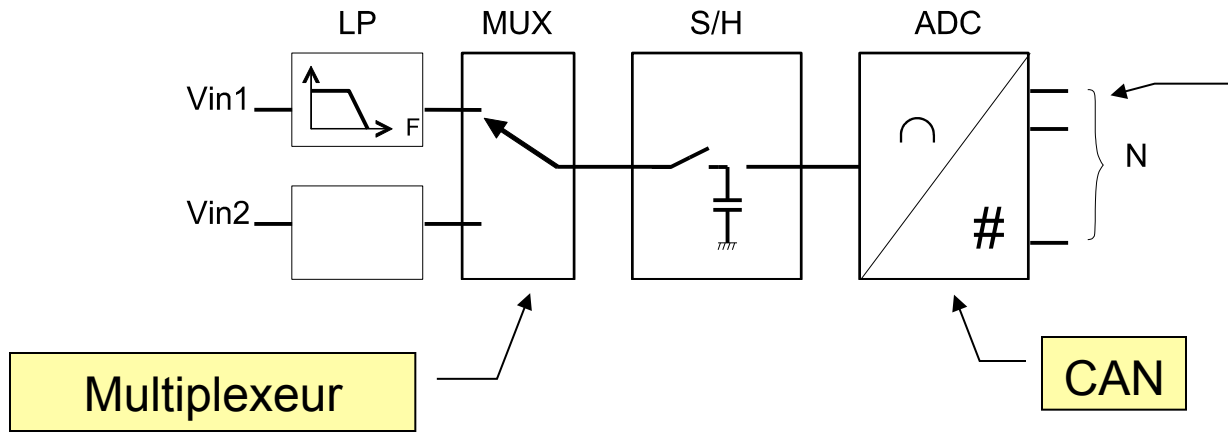
F_{\max} : fréquence supérieure
du spectre de U_e

À l'entrée d'un CAN il faut un
filtre passe bas qui coupe à

$$F_c = F_e/2$$

Filtre Passe Bas
(anti aliasing)

Échantillonneur
Bloqueur



Sortie parallèle ou
série

Multiplexeur

CAN

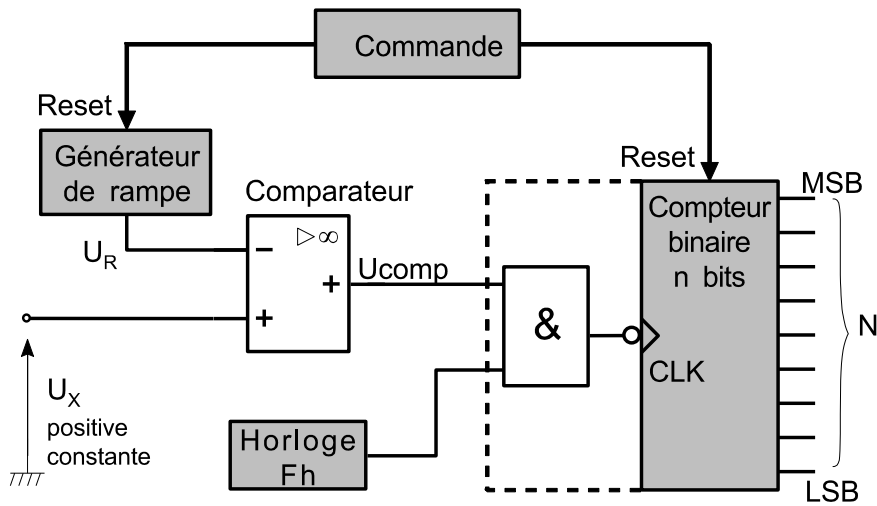
TYPES DE CAN

Technologie	Temps de conversion	Exemple d'utilisation
Simple rampe	Lent (ms)	Mesure sans précision
Double rampe Multi rampe	Lent (ms)	Multimètre
Approximations successives	Rapide (μ s)	Acquisition son
Flash (ou CAN parallèle)	Très rapide (ns)	Acquisition vidéo Oscilloscope numérique

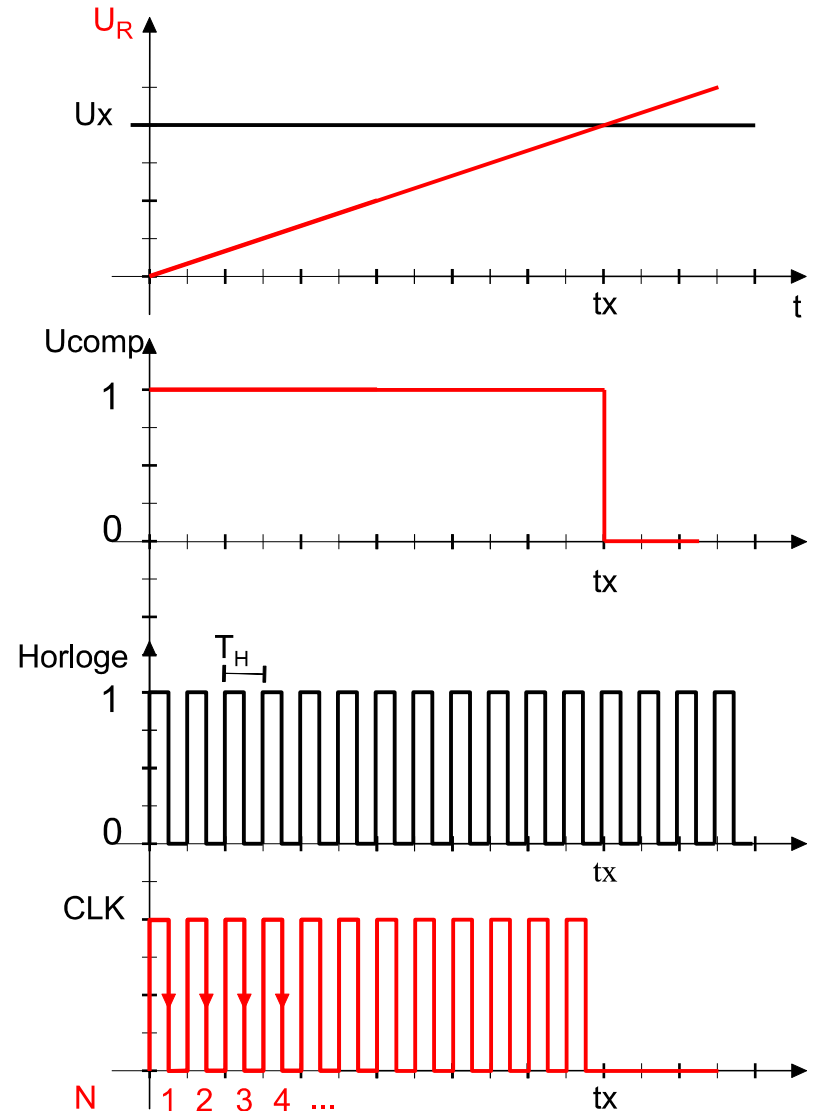
- CAN pipeline
- CAN Sigma-Delta (Σ - δ) à sur-échantillonnage

CAN SIMPLE RAMPE

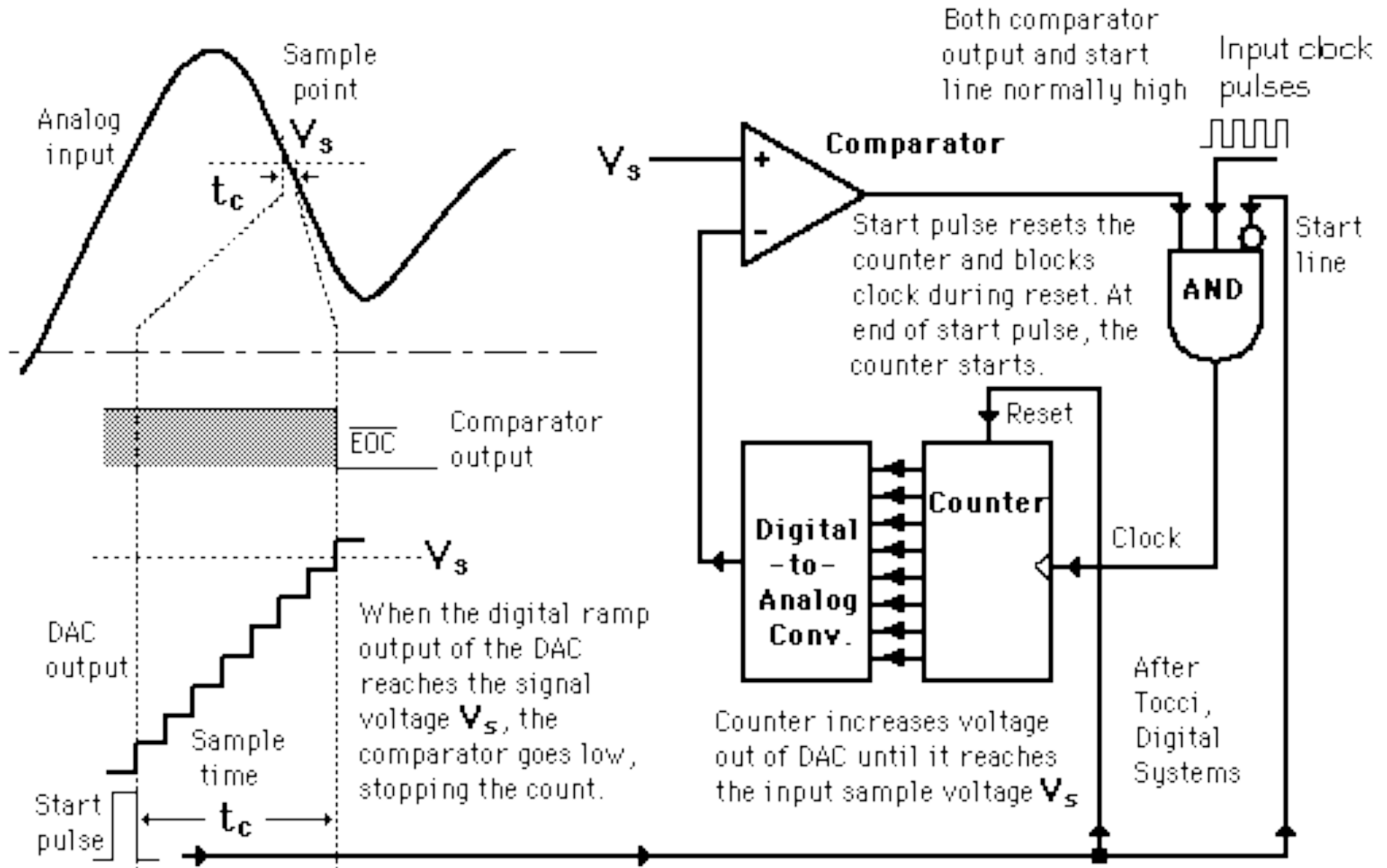
On effectue une conversion tension \rightarrow temps ,
 puis une mesure du temps (quantifiée)
 par une horloge de période T_H .



$U_R = a.t$ $t_x = U_x/a$
 En fin de conversion :
 $N = t_x / T_H = U_x / (a.T_H)$
 Si a n'est pas constant \rightarrow erreur

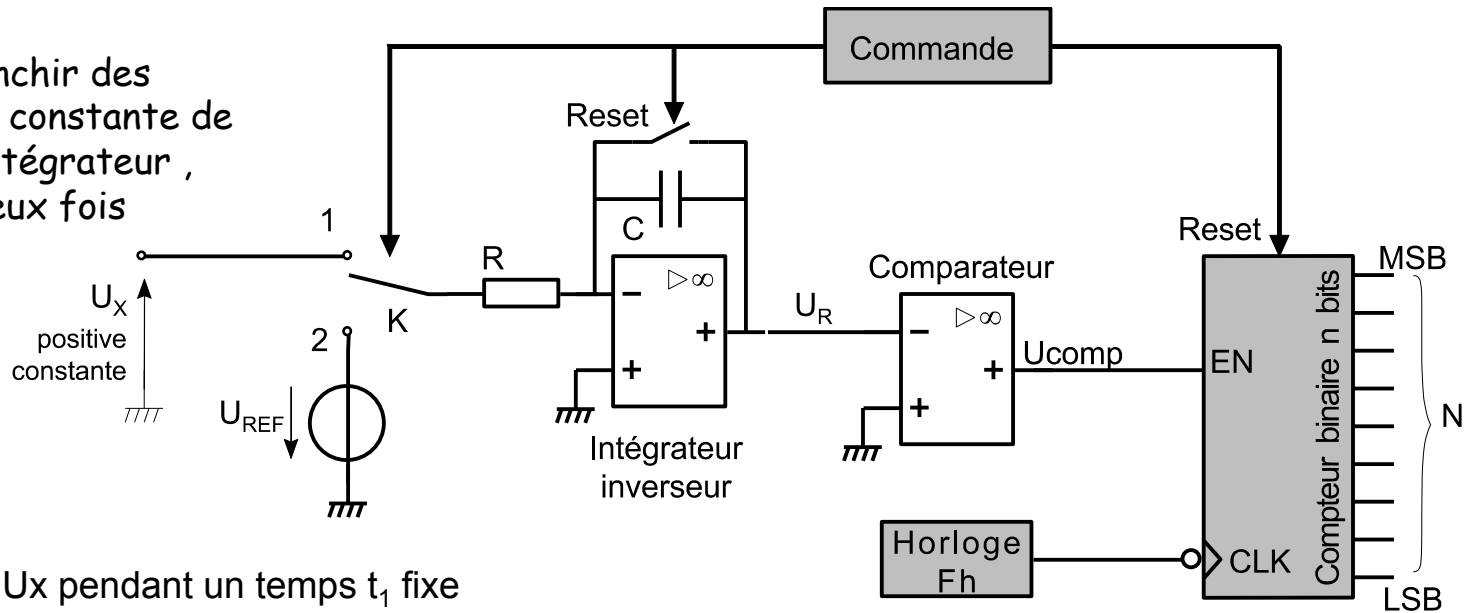


CAN DE TYPE RAMPE



CAN DOUBLE RAMPE

Pour s'affranchir des dérives de la constante de temps de l'intégrateur, on intègre deux fois



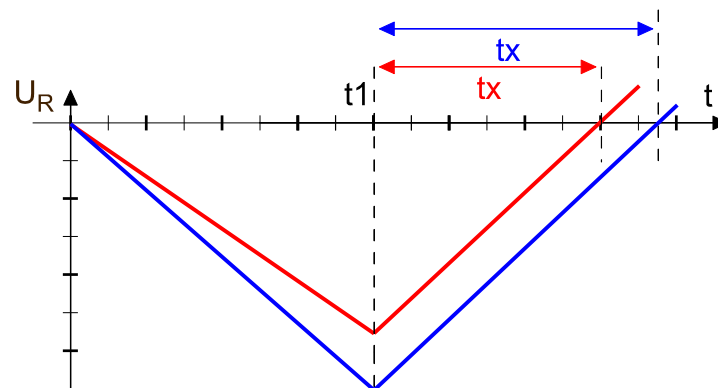
1. On intègre U_x pendant un temps t_1 fixe
2. On intègre $-U_{REF}$
On mesure le temps t_x (en unité T_H)
que met U_R pour revenir à 0

$$U_{Rmax} = - U_x \cdot t_1 / RC$$

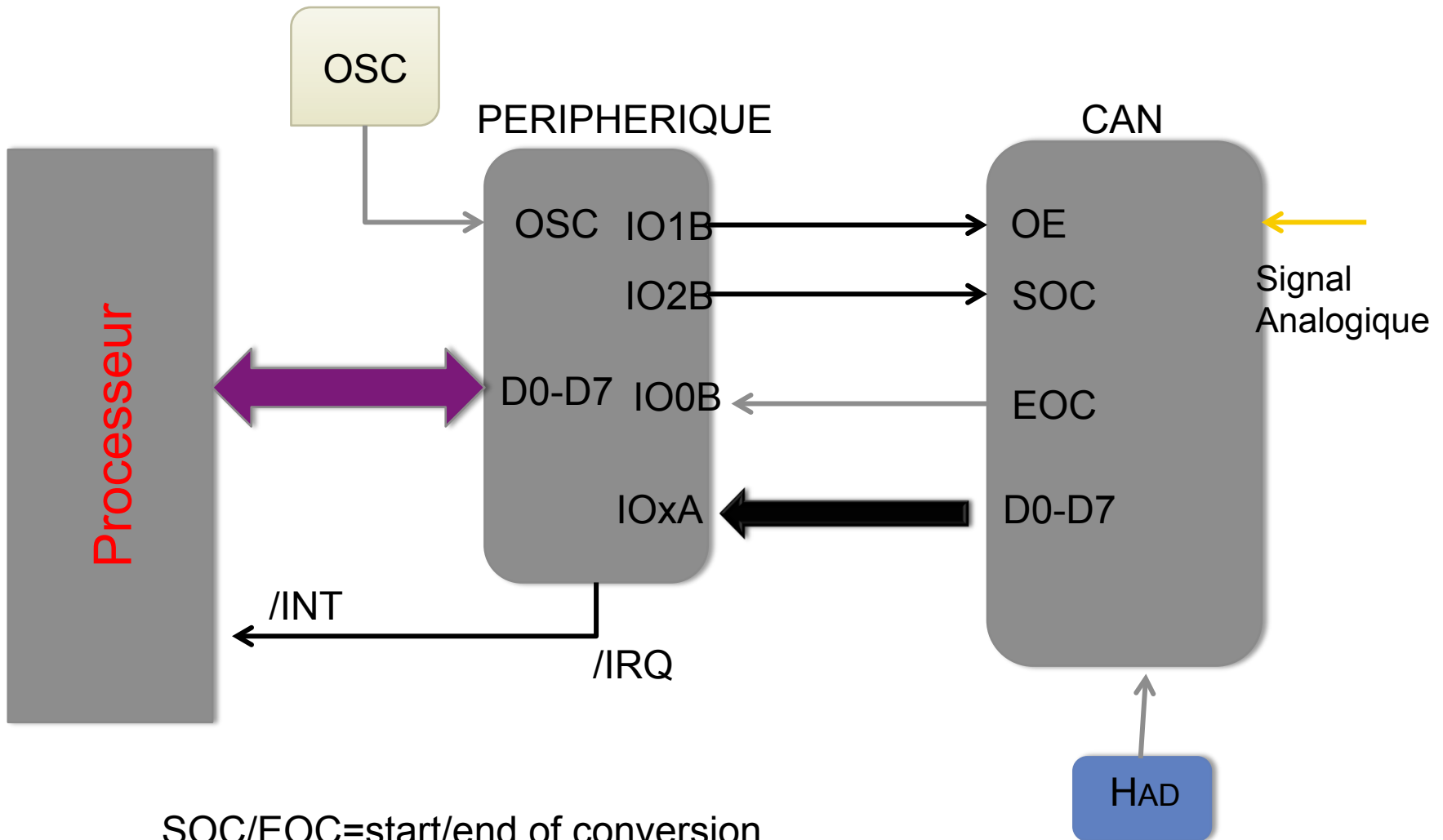
$$U_{Rmax} = - U_{REF} \cdot t_x / RC$$

$$t_x = t_1 \cdot U_x / U_{REF} \quad \text{indépendant de RC}$$

$$N = t_x / T_H = (t_1 / T_H) \cdot (U_x / U_{REF})$$



Programmation d'un convertisseur A/N



SOC/EOC=start/end of conversion
OE=out enable

VOLTMÈTRE NUMÉRIQUE

Réalisation d'un Voltmètre numérique avec un CAN double rampe :

[CA3162](#)

Affichage sur 3 afficheurs 7 segments avec un décodeur BCD/7seg :

[CA3161](#)

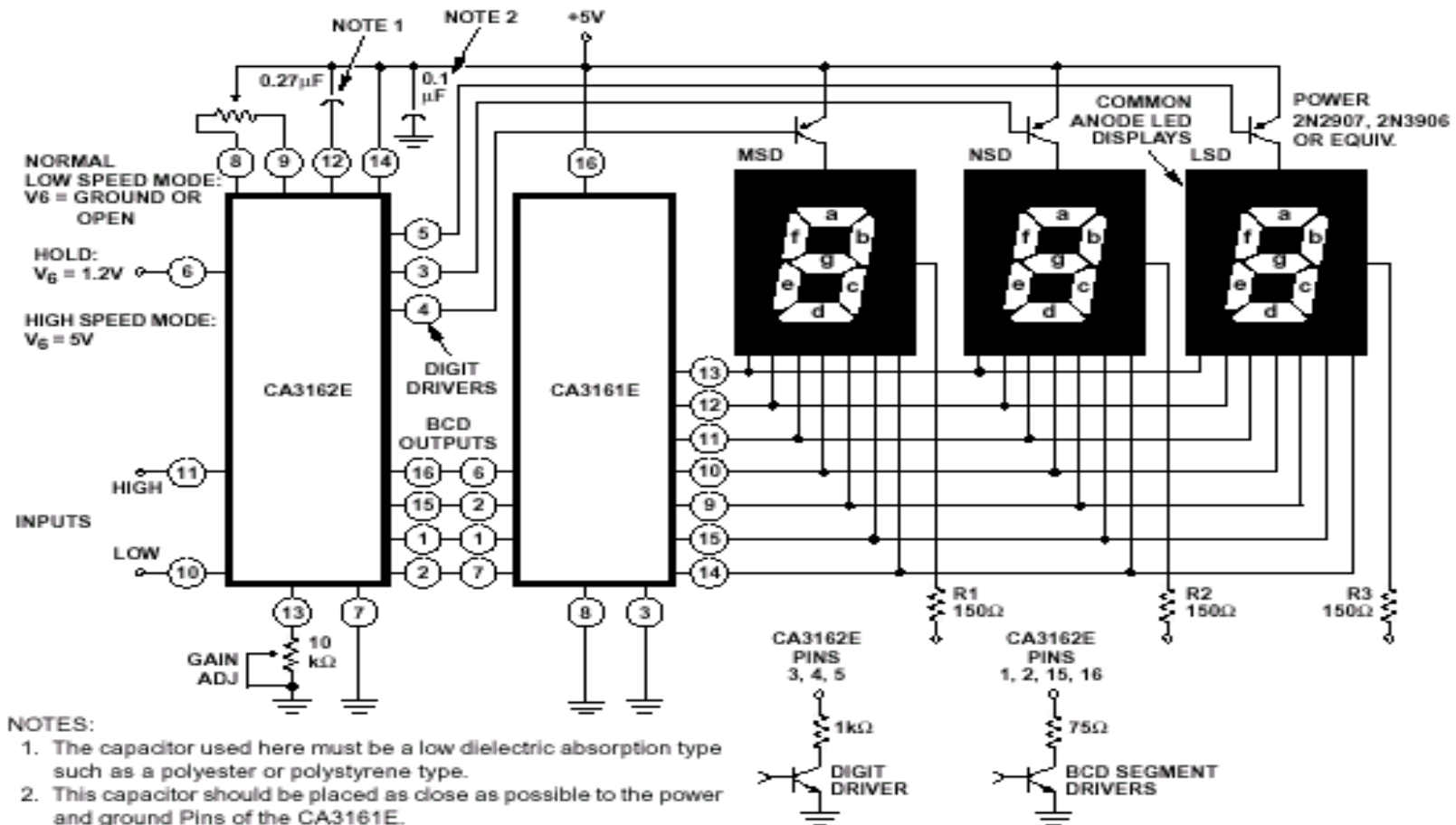
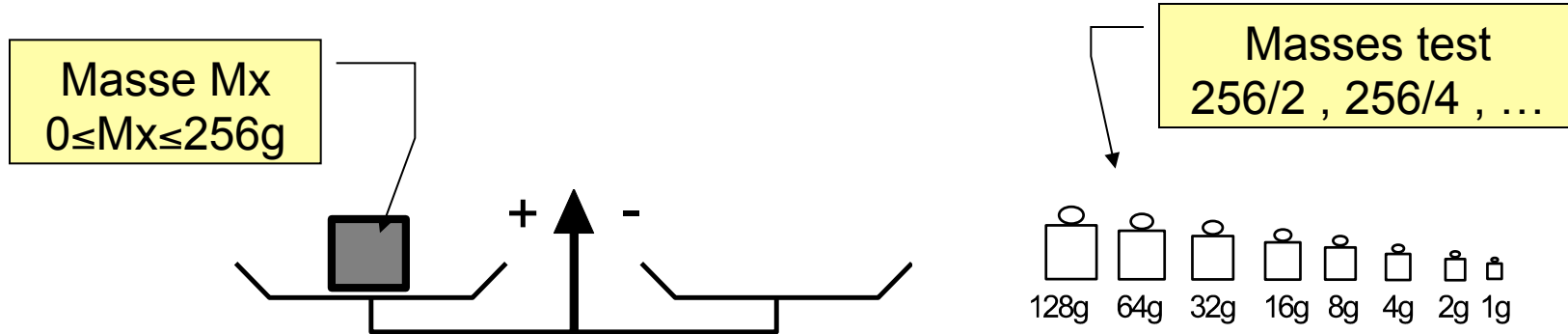


FIGURE 2. BASIC DIGITAL READOUT SYSTEM USING THE CA3162E AND THE CA3161E

APPROXIMATIONS SUCCESSIVE

Principe de Dichotomie : on divise la plage de recherche par 2 à chaque étape :



1er test : on compare M_x et 128g (le poids fort)

- : $M_x < 128g$: on enlève la masse de 128g

+ : $M_x > 128g$: on conserve la masse de 128g

2ème test : on ajoute 64g ...

On réalise une mesure de M_x en 8 tests
avec une résolution de 1g

APPROXIMATIONS SUCCESSIVES PAR TRANSFERT DE CHARGE

Ce sont les plus courants des CAN à approximations successives , ils utilisent des transferts de charge dans un réseau de condensateurs pondérés.

Le "cerveau" de ces CAN est un registre :
SAR = Successive Approximation Register

CAN DE TYPE APPROXIMATIONS SUCCESSIVES

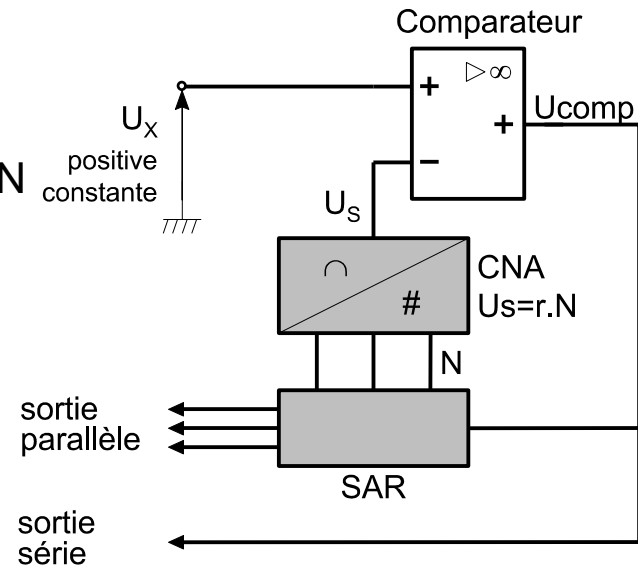
CAN 3 bits

CAN avec un CNA !

La sortie du CNA est une tension analogique $U_s = r.N$

On teste successivement les bits de N en débutant par le poids fort (MSB)
Le résultat du test est donné par le comparateur.

Exemple avec $r=1V$, $U_{PE}=8V$, $U_x=4.5V$



N	$U_s=r.N$	U_{comp}	
100b=4	4V	1	Test du MSB: $4.5 > 4$ on garde MSB à 1 ...
110b=6	6V	0	et on teste le bit suivant: $4.5 < 6$ on remet le bit à 0
101b=5	5V	0	$4.5 < 5$, le LSB = 0 , le nombre cherché est 100b

Sortie série
(poids fort en 1^{er})

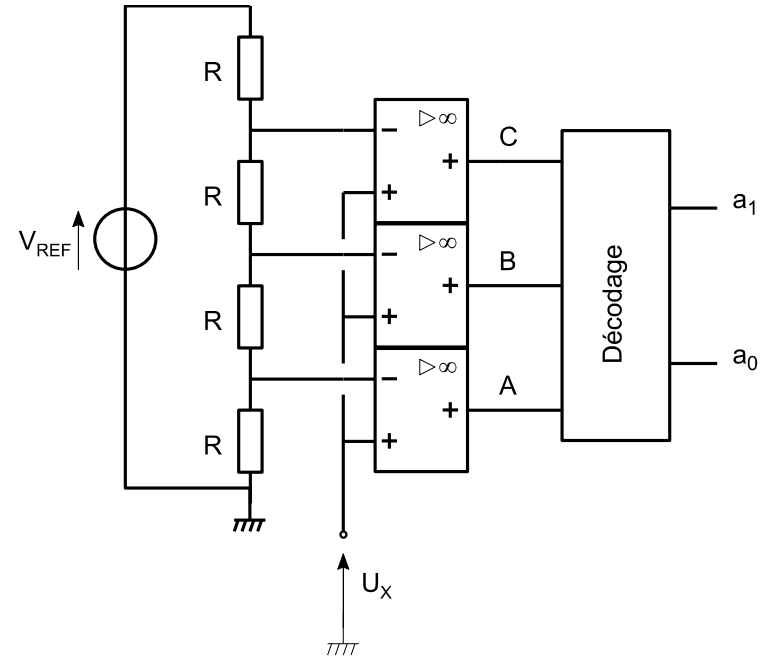
Sortie parallèle : 100b

Pour un CAN de n bits il faudra n tests

CAN FLASH

CAN Flash à 2 bits

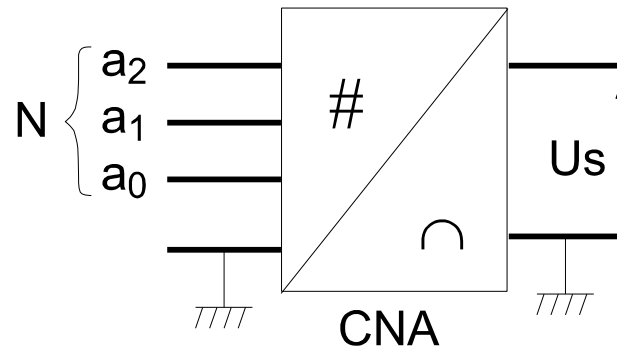
U_X	État de la sortie des comparateurs			N	
	A	B	C	a_0	a_1
$0 < U_X < V_{REF}/4$	0	0	0	0	0
$V_{REF}/4 < U_X < V_{REF}/2$	1	0	0	0	1
$V_{REF}/2 < U_X < 3V_{REF}/4$	1	1	0	1	0
$3V_{REF}/4 < U_X < V_{REF}$	1	1	1	1	1



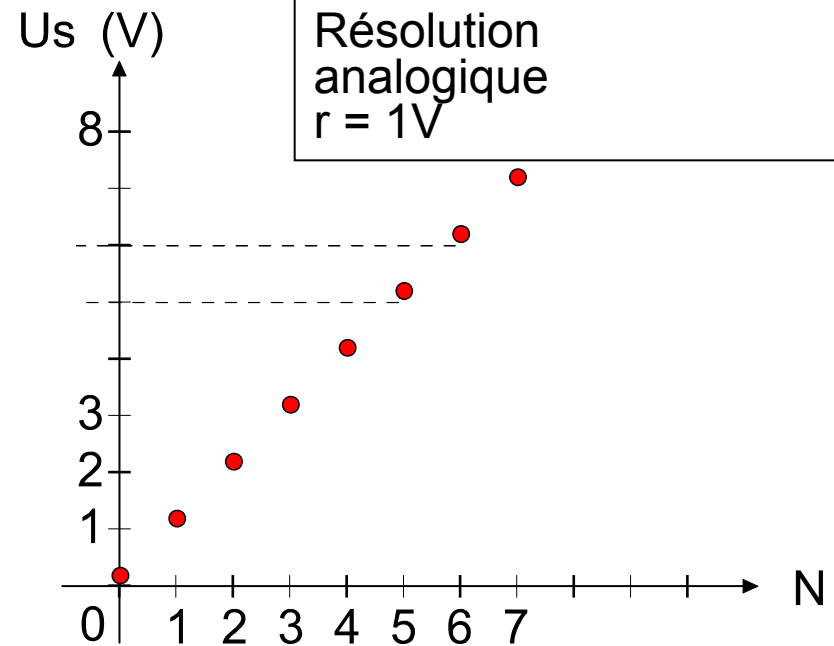
Pour un CAN flash à n bits il faut $2^n - 1$ comparateurs !

CNA

- Exemple d'un CNA 3 bits ($n = 3$)



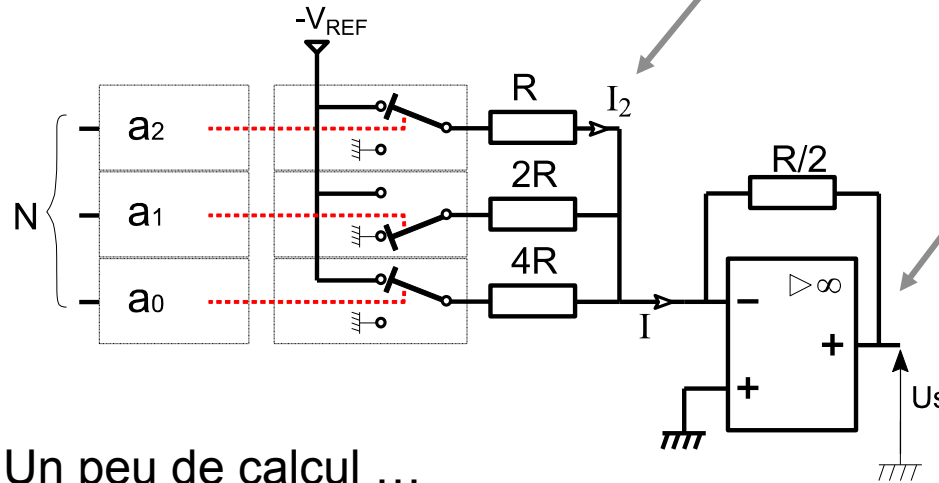
$$U_s = r \cdot N$$



CNA À RÉSISTANCES PONDÉRÉES

CNA 3 bits

(Schéma représenté pour $N_2 = 101$)



$$\begin{aligned}
 a_2=0 &\rightarrow I_2=0 \\
 a_2=1 &\rightarrow I_2=-V_{REF}/R \\
 \hookrightarrow I_2 &= (-V_{REF}/R) \cdot a_2
 \end{aligned}$$

En régime linéaire
 $\varepsilon = V_+ - V_- = 0$
 donc $V_- = 0$

Un peu de calcul ...

$$I = (-V_{REF}/R)a_2 + (-V_{REF}/2R)a_1 + (-V_{REF}/4R)a_0$$

$$U_s = -R/2 \cdot I = V_{REF} \cdot (a_2/2 + a_1/4 + a_0/8)$$

$$U_s = V_{REF} \cdot (4a_2 + 2a_1 + a_0) / 8 = V_{REF} \cdot N / 8$$

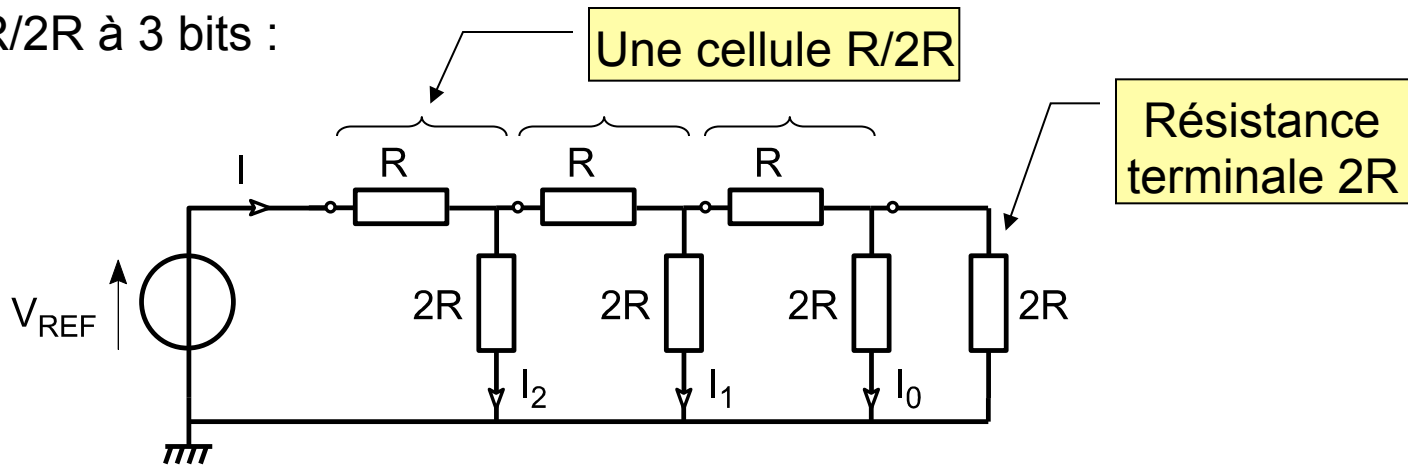
$$U_s = V_{REF} \cdot N / 2^n$$

Pleine échelle : $U_{PE} = V_{REF} \cdot 2^{n-1} / 2^n \approx V_{REF}$

Résolution analogique : $r = V_{REF} / 2^n \approx U_{PE} / 2^n$

CNA R-2R

Réseau R/2R à 3 bits :



Chaque cellule R/2R "voit" à sa droite une résistance équivalente de 2R.

Le générateur V_{REF} "voit" une résistance équivalente de 2R quelque soit

le nombre de cellules.

$$I = V_{REF} / 2R$$

$$I_2 = I / 2 = V_{REF} / 4R$$

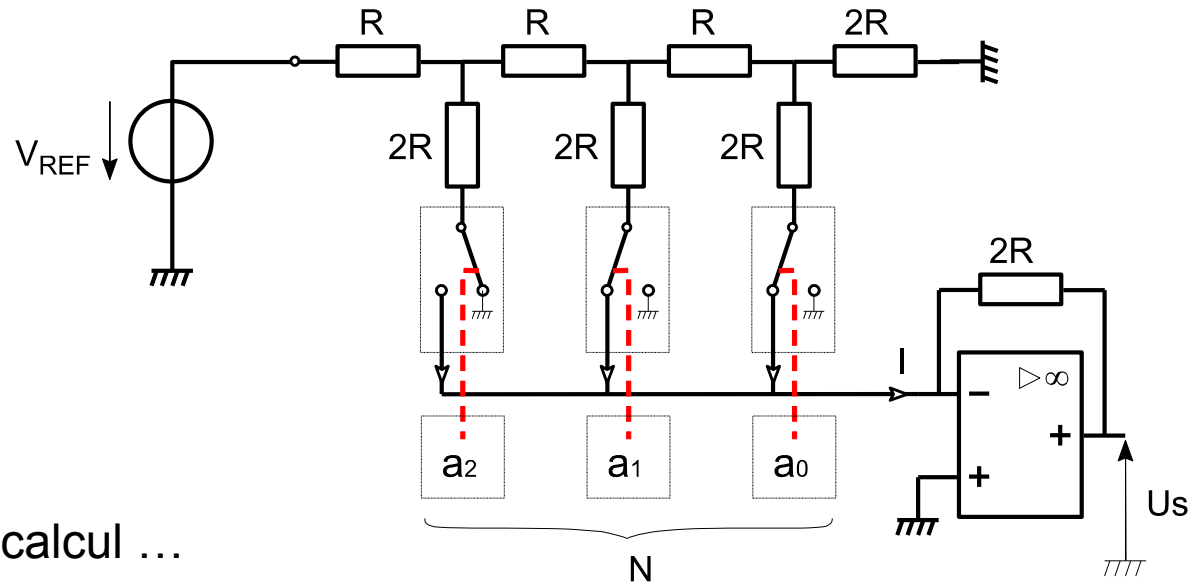
$$I_1 = I_2 / 2 = V_{REF} / 8R$$

$$I_0 = I_1 / 2 = V_{REF} / 16R$$

CNA R-2R

CNA 3 bits

(Schéma représenté
pour
 $N_2 = 011$)



Encore un peu de calcul ...

$$I = I_2 \cdot a_2 + I_1 \cdot a_1 + I_0 \cdot a_0$$

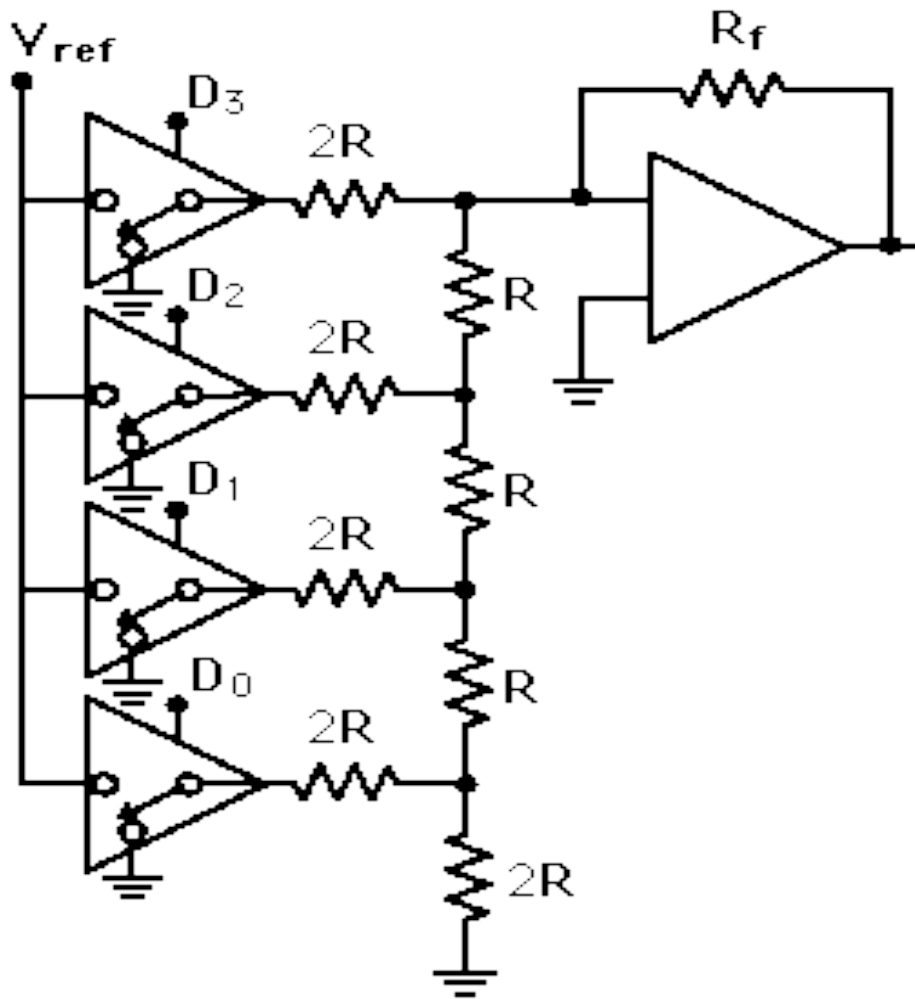
$$I = (-V_{REF}/4R) \cdot a_2 + (-V_{REF}/8R) \cdot a_1 + (-V_{REF}/16R) \cdot a_0$$

$$U_s = -2R \cdot I = V_{REF} (a_2/2 + a_1/4 + a_0/8)$$

$$U_s = V_{REF} \cdot (4a_2 + 2a_1 + a_0) / 8 = V_{REF} \cdot N/8$$

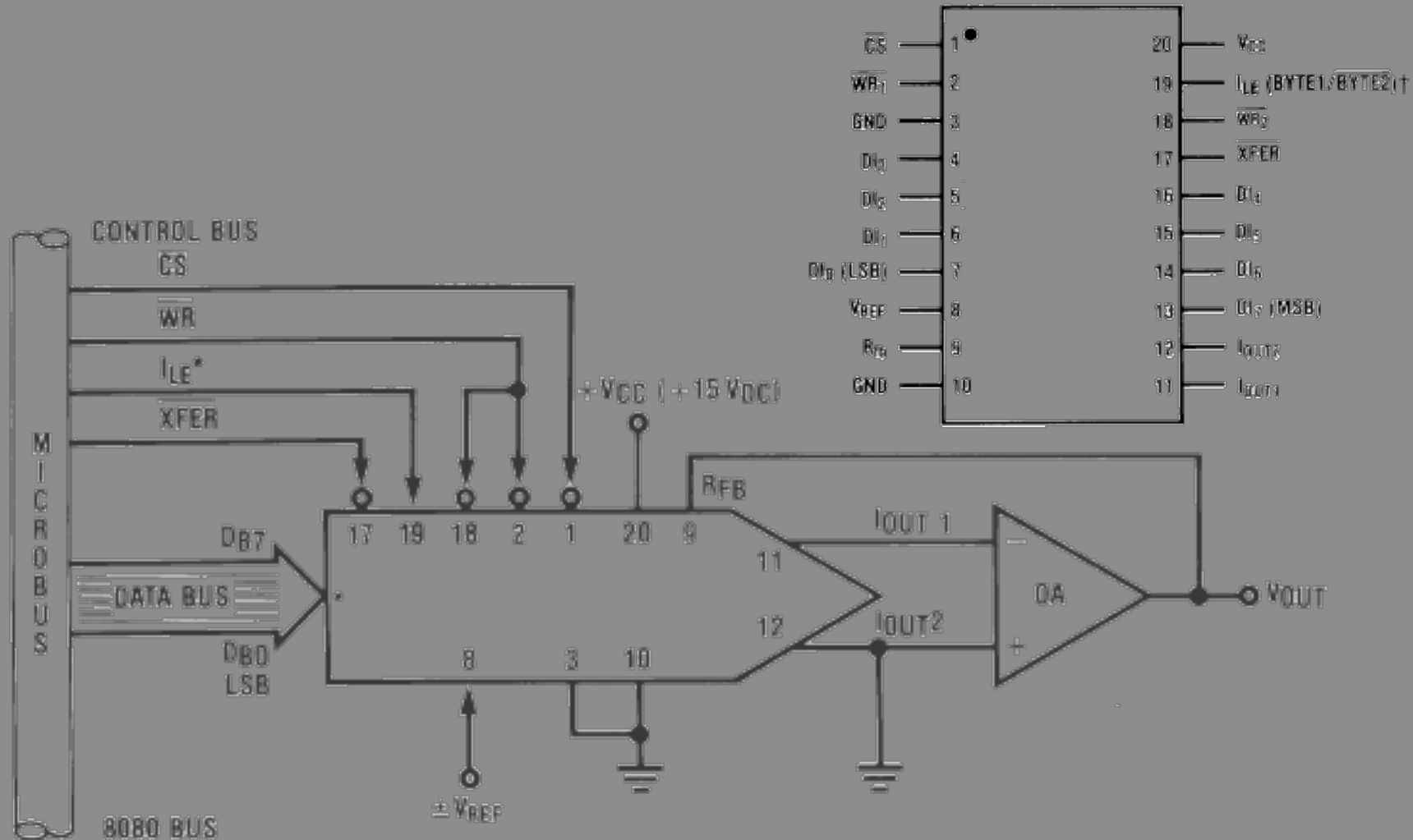
$$U_s = V_{REF} \cdot N / 2^n$$

CAN : RESEAU R-2R



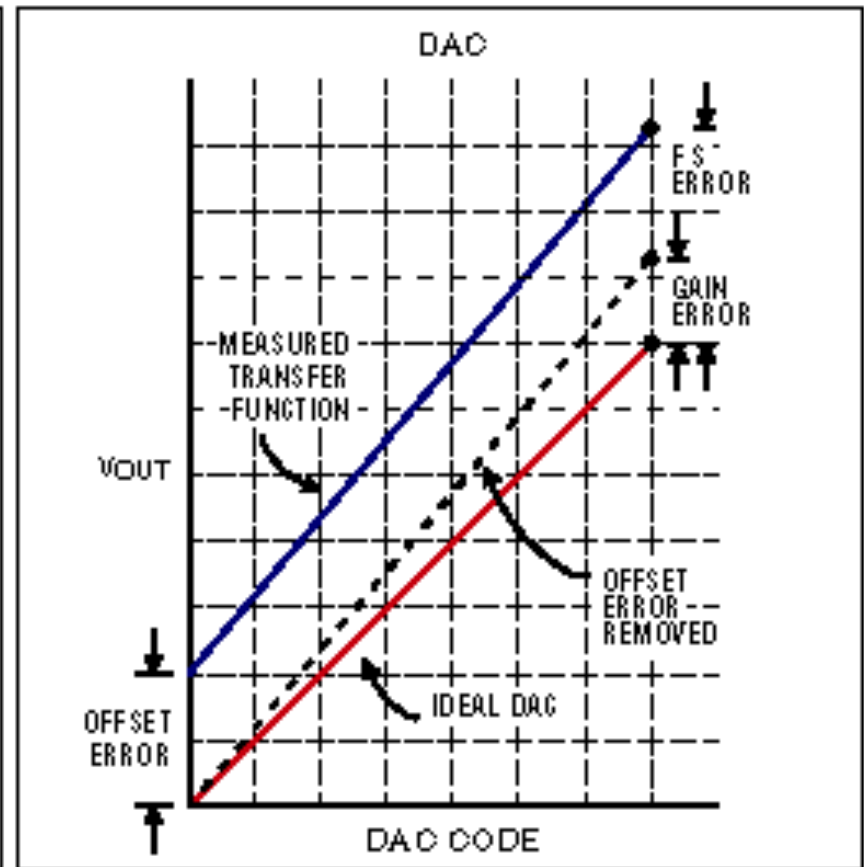
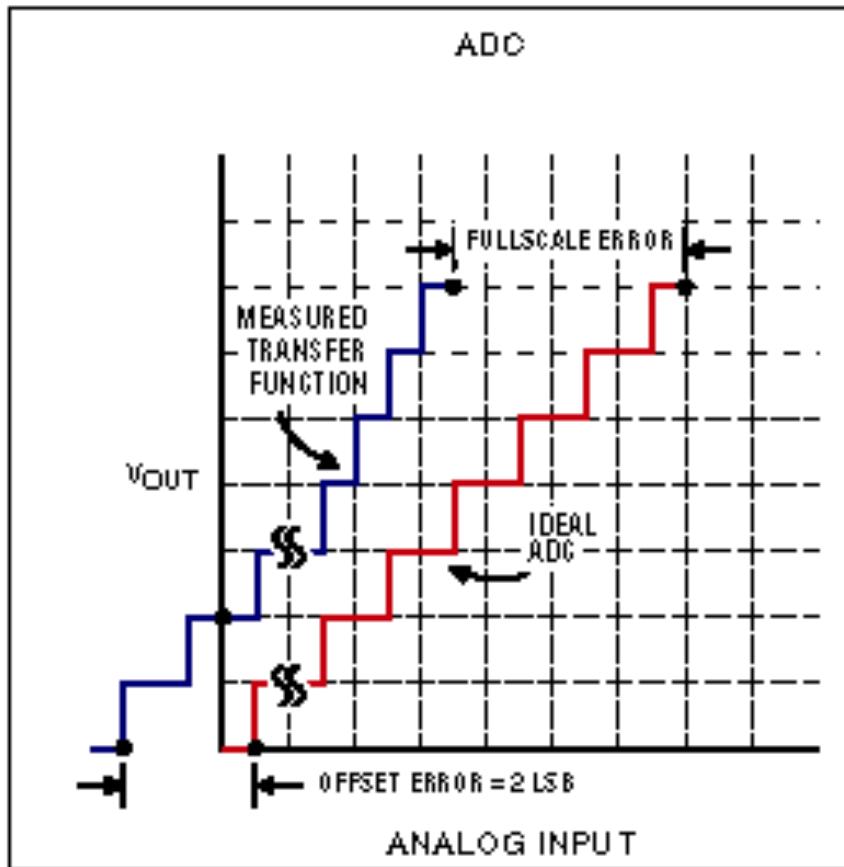
$$V_{out} = \frac{R_f}{R} V_{ref} \left[\frac{D_0}{16} + \frac{D_1}{8} + \frac{D_2}{4} + \frac{D_3}{2} \right]$$

APPLICATION



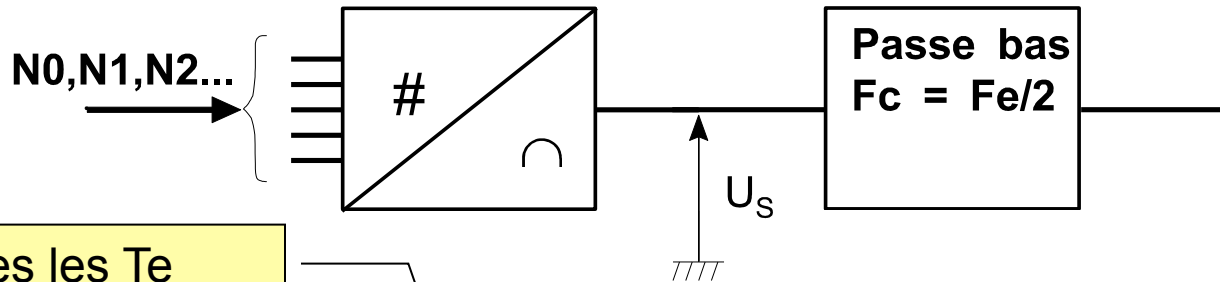
ERREURS DE CONVERSION

FULL-SCALE ERROR

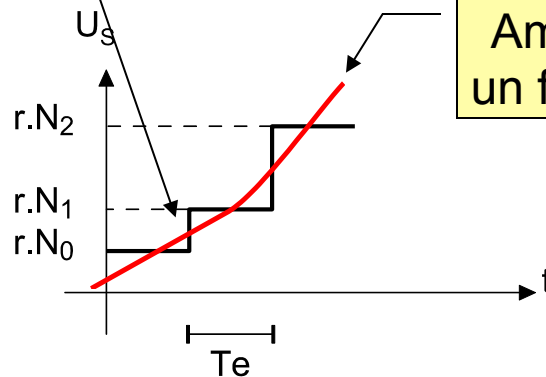


RESTITUTION D'UN SIGNAL ÉCHANTILLONNÉ

La séquence des nombres N_i est présentée à l'entrée du CNA à la fréquence F_e .



Toutes les T_e secondes U_s présente une marche



On peut aussi rajouter des valeurs intermédiaires de N par un calcul d'interpolation.

RECONSTITUTION D'UN SIGNAL

