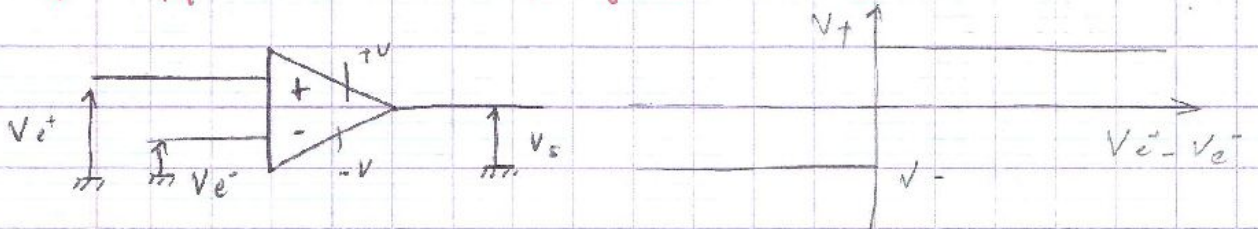
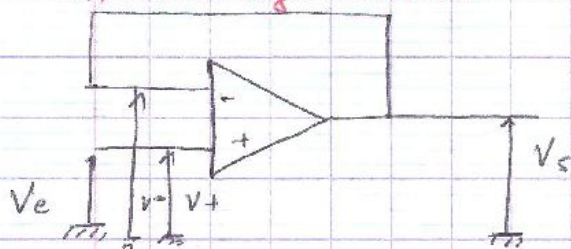


CHAPITRE V Les convertisseurs analogiques numériques et numérique analogique

1/ Rappel sur les amplificateurs opérationnels

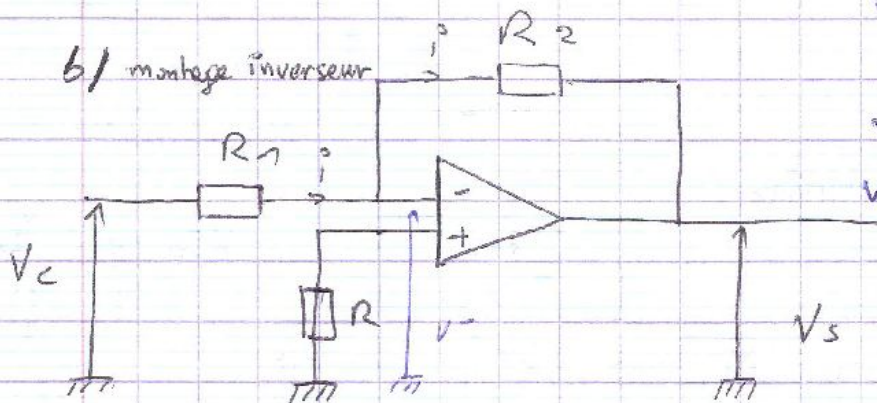


a/ montage suiveur



$$\begin{aligned} V^+ &= V_e \\ V^- &= V_s \\ V^+ &= V^- \\ V_s &= V_e \end{aligned}$$

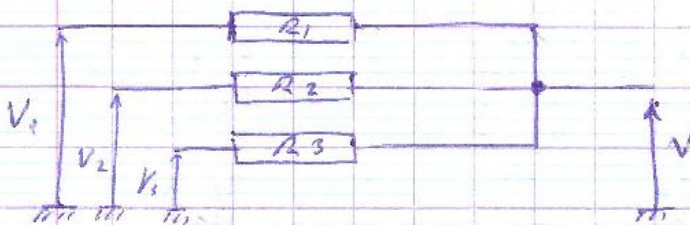
b/ montage inverseur



$$\begin{aligned} V^+ &= 0 \\ V^- &= V_e - R_1 i_1 = 0 \\ V_e &= R_1 i_1 \\ V_s &= -R_2 i_1 + V^- = -R_2 i_1 \end{aligned}$$

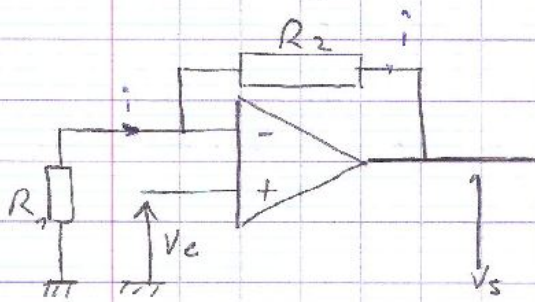
$$\begin{aligned} V_s &= -\frac{R_2}{R_1} V_e \\ R &= \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

Théorème de Millmann



$$V = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

c / montage non inverseur



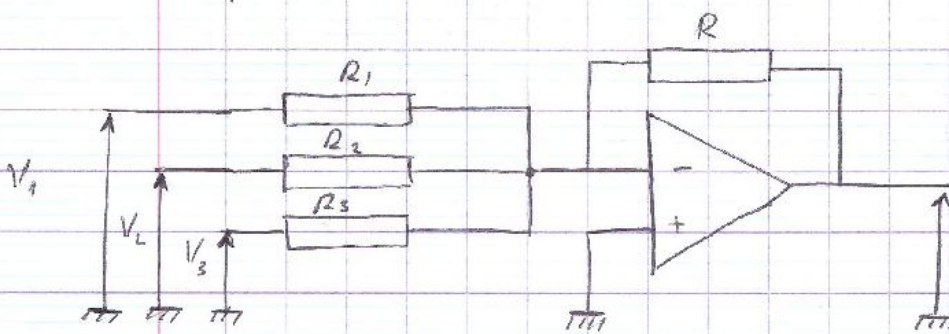
$$V^+ = V_c$$

$$V^- = \frac{V_s}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{V_s}{\frac{R_2 + R_1}{R_1}}$$

$$V^+ = V^-$$

$$\frac{V_s}{1 + \frac{R_2}{R_1}} = V_c \Rightarrow V_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_c$$

d / montage sommatriceur inverseur



$$V^+ = 0$$

$$V^- = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

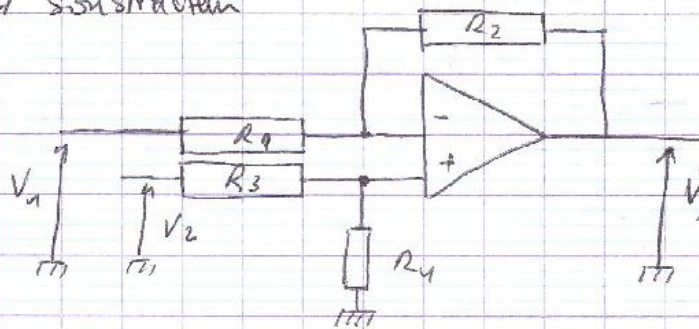
$$V^- = 0 = V^+$$

$$\Rightarrow V_s = -R \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

si $R = R_1 = R_2 = R_3$

$$V_s = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

e / soustracteur



$$V^- = \frac{V_1 + \frac{V_s}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

$$V^+ = \frac{V_2}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

$$V^+ = V^-$$

$$\frac{V_s}{R_2} + \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$V_s + V_1 \frac{R_2}{R_1} = \frac{V_2}{\frac{R_3 + R_4}{R_3 R_4}} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$\frac{V_s}{1 + \frac{R_2}{R_1}} = \frac{V_2}{1 + \frac{R_3}{R_4}} - \frac{V_1}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

$$V_s = \left(\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_4}} \right) V_2 - \left(\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_2}{R_1}} \right) V_1$$

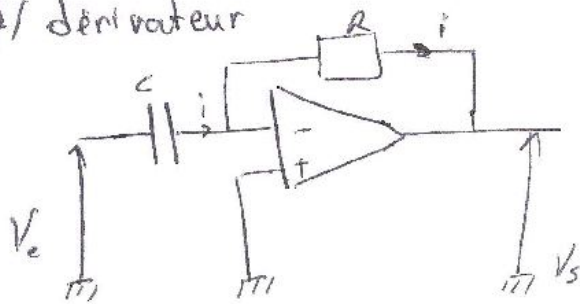
$$V_s = \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_4}{R_1} V_2 - \frac{R_2 + R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_2}{R_1} V_1$$

si $R_1 R_4 = R_2 R_3$

$$\Rightarrow V_s = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

$$= \left(\frac{R_2 + R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_2}{R_1} \right) V_1$$

② f/ dérivateur



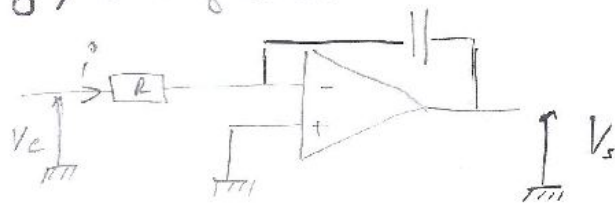
$$i = C \frac{dV_e}{dt}$$

$$V_s = -Ri \Rightarrow i = -\frac{V_s}{R}$$

$$-\frac{V_s}{R} = C \frac{dV_e}{dt}$$

$$V_s = -RC \frac{dV_e}{dt}$$

g/ Intégrateur



$$V^+ = V^- = 0$$

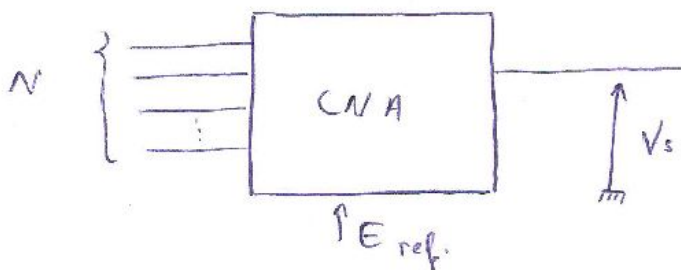
$$V_e = Ri \Rightarrow i = -C \frac{dV_s}{dt}$$

$$V_e = -CR \frac{dV_s}{dt}$$

$$\Rightarrow V_s(t) - V_s(0) = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_e dt$$

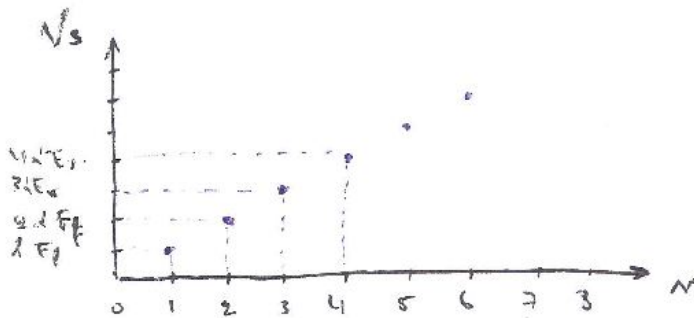
$$V_s(t) - V_s(0) = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_e dt$$

Convertisseur numérique analogique



une grandeur numérique est un nombre que l'on peut présenter sous forme linéaire. C'est une grandeur discontinue qui varie par saut.

le convertisseur numérique analogique est chargé d'établir la conversion de la grandeur numérique en une grandeur analogique (elle est continue)



$$N = 2^{n-1} a_{n-1} + 2^{n-2} a_{n-2} + \dots + 2^3 a_3 + 2^2 a_2 + 2^1 a_1 + 2^0 a_0$$

a_{n-1} : le bit du poids le plus fort (MSB)

a_0 : le bit du poids le plus faible (LSB)

$$a_i = 0, 1 \quad , i = 0, \dots, n-1$$

$$V_s = d E_{ref} \times [2^{n-1} a_{n-1} + \dots + 2^0 a_0]$$

la linéarité du convertisseur numérique analogique

Tension maximale de sortie. $N = 2^{n-1} + 2^{n-2} + \dots + 1 = 2^n - 1$

$$V_s = d E_{ref} (2^n - 1)$$

• Le quantom:

Lorsque le LSB varie de 0 à 1 la tension de sortie varie de $q = d E_{ref}$

C'est la plus petite variation de tension observable en sortie de CNA (DAC)

• La résolution:

La résolution d'un CNA est le quotient du quantom à la tension maximale de sortie $r = \frac{d E_{ref}}{d E_{ref}(2^n - 1)} = \frac{1}{2^n - 1}$

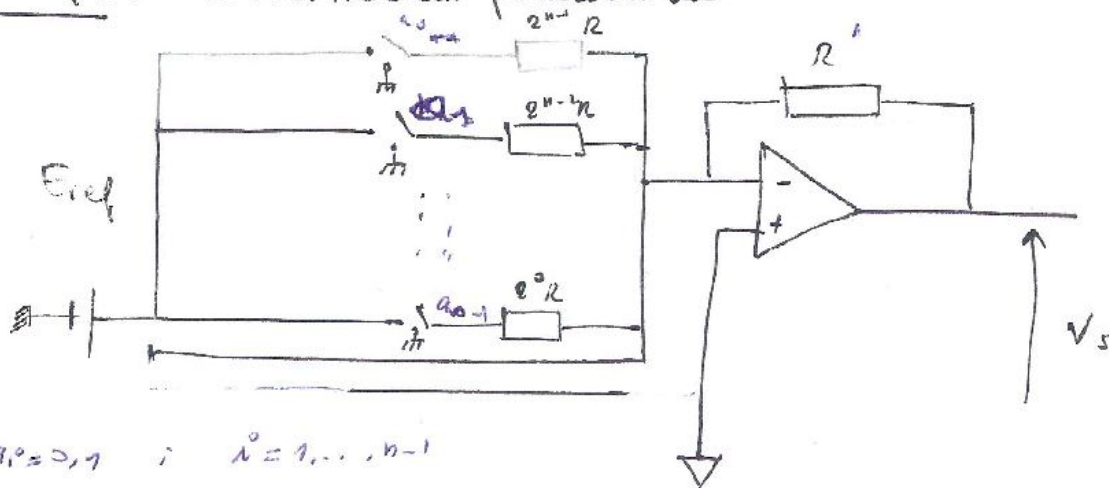
• La durée maximale de conversion: et le temps mis

La durée maximale de conversion est le temps mis par la sortie pour atteindre le régime permanent

• La précision du convertisseur:

la précision du convertisseur est l'écart entre la tension de sortie observée expérimentalement et la tension théorique en %.

Exemple: Convertisseur parallèle



$a_i = 0, 1 \quad ; \quad i = 0, \dots, n-1$

$$V^+ = 0$$

$$V^- = \frac{E_{ref} \left(\frac{a_0}{2^{n-1}R} + \frac{a_1}{2^{n-2}R} + \dots + \frac{a_{n-1}}{2^0R} \right) + \frac{V_s}{R'}}{ \frac{a_0}{2^{n-1}R} + \dots + \frac{a_{n-1}}{2^0R} + \frac{1}{R'} } = 0$$

$$V_s = - \frac{R'}{R} E_{ref} \left(\frac{a_0}{2^{n-1}} + \dots + \frac{a_{n-1}}{2^0} \right) = - \frac{R'}{R} E_{ref} \frac{1}{2^{n-1}} (a_0 + 2a_1 + \dots + 2^{n-1}a_{n-1})$$

$$V_s = - \frac{R'}{R} E_{ref} \cdot \frac{1}{2^{n-1}} (a_0 + 2a_1 + \dots + 2^{n-1}a_{n-1})$$

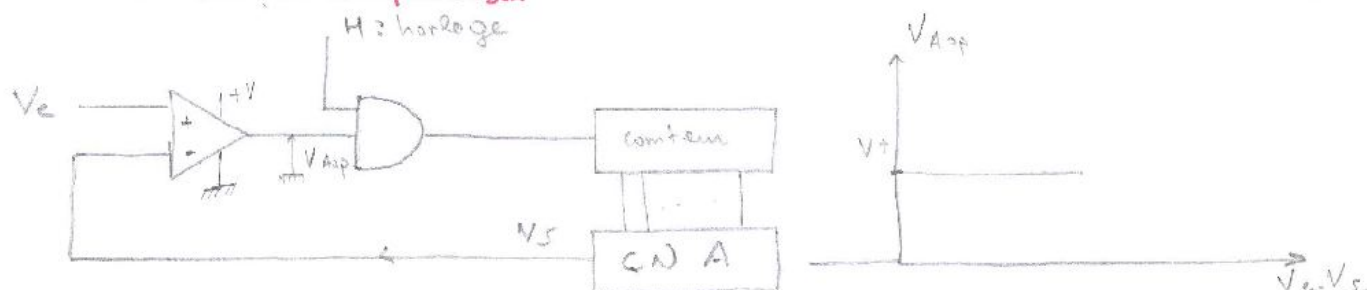
$$d = \frac{-R'}{2^{n-1}R}$$

③

Le convertisseur analogique numérique

C'est un circuit qui transforme une grandeur analogique en une grandeur numérique représentée sur n bits.

• Convertisseur à comparaison



initialement $V_s = 0$

$V_e - V_s > 0$ la sortie de l'amplificateur est $+V \Rightarrow$ le régime signal d'horloge est véhiculé au compteur

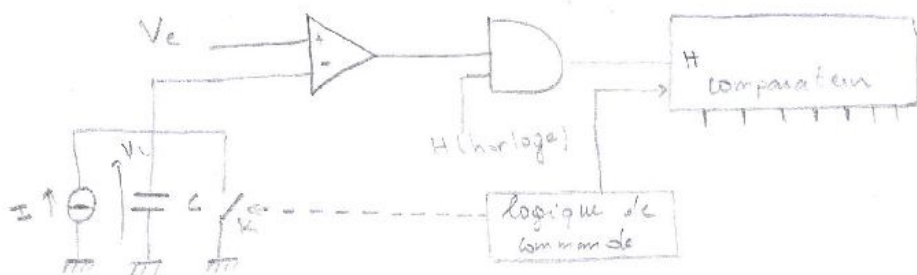
Lorsque $V_e = V_s$

La sortie de l'amplificateur est égale à $0V$ le signal n'est plus appliqué au compteur. le compteur s'arrête.

La valeur délivrée par le compteur à cet instant est la valeur de la conversion de V_e .

Le convertisseur n'est pas rapide

• Convertisseur à intégration



V_e est une tension positive

à $t = 0$ K est fermé pour décharger le condensateur

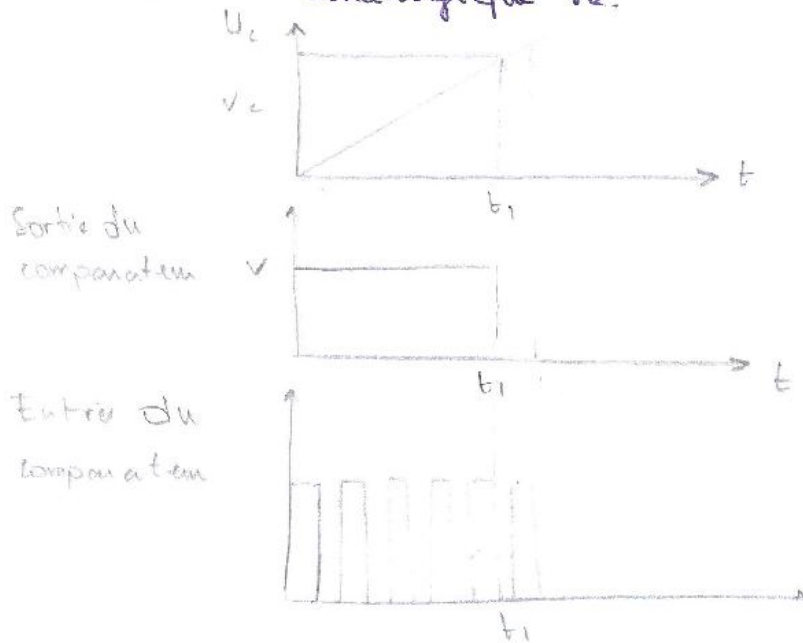
K est ouvert, le condensateur se charge à courant constant.

$$I = C \frac{dU_c}{dt} \rightarrow \frac{I}{C} t = U_c$$

$U_c < V_e$, le compteur s'incrémente à $t = t_1$ $U_c = V_e$

à $t = t_1$ le signal d'horloge n'est plus appliqué au compteur qui ne s'incrémente plus

La valeur délivrée par le compteur est la valeur numérique correspondant à la tension analogique V_e .



T : période du signal d'horloge

$$t_1 = N \cdot T$$

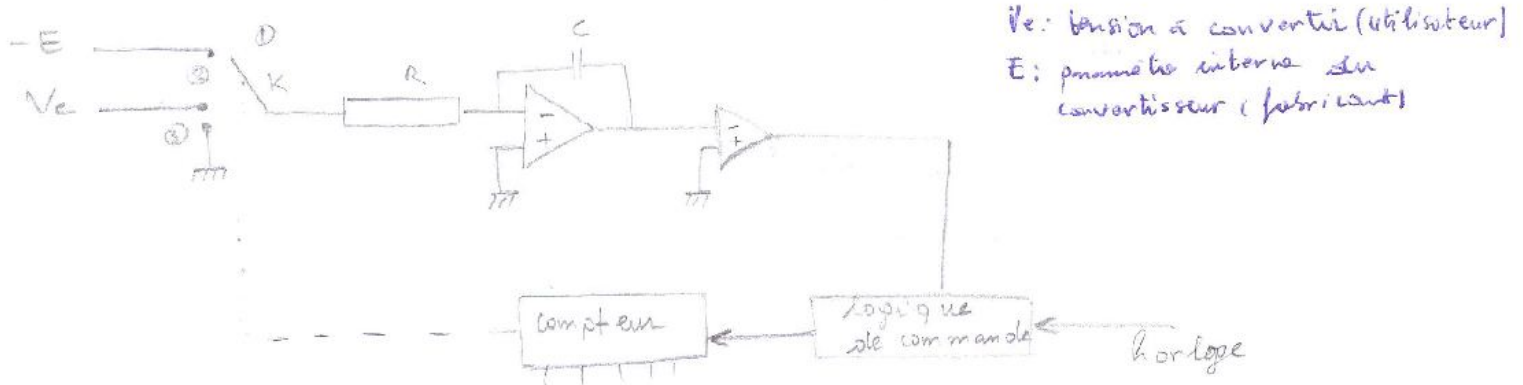
$$\text{à } t_1: V_c = V_e$$

$$U_c(t_1) = \frac{E}{C} t_1 = V_e$$

$$V_e = \frac{E}{C} \cdot N \cdot T$$

* Convertisseur à double rampe

Le convertisseur à double rampe réalise deux intégrations, celle d'une tension de référence négative $-E$ et celle de la tension à convertir.



V_e : tension à convertir (utilisateur)

E : paramètre interne du convertisseur (fabricant)

initialement le compteur est à zéro, et le condensateur est déchargé

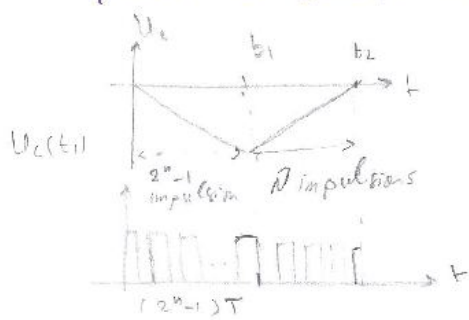
à $t=0$ l'interrupteur est mis à la position 2. $U_c = -\frac{E}{RC} t$

la sortie des compteurs est un niveau haut (tension sur position ou position)

le comptage est autorisé

le compteur atteint la valeur max $(2^n - 1)$, à t_1 le compteur se

passé à zéro, l'interrupteur est mis à sa position 1. $U_c = \frac{E}{RC} (t - t_1) + U_c(t_1)$



④

$$\frac{V_e}{RC} = \frac{-U_c(t_1)}{t_1}$$

$$t_1 = (2^n - 1) T$$

$$(t_2 - t_1) = NT$$

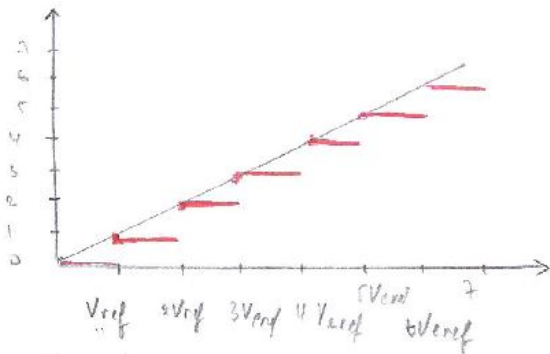
$$\frac{E}{RC} = \frac{U_c(t_1)}{t_2 - t_1}$$

$$\Rightarrow N = \frac{V_e}{E} (2^n - 1) \rightarrow \text{on perd la partie entière}$$

N est un entier.

- le convertisseur analogique numérique à double rampe est plus simple que le c a n à simple rampe

Performance d'un CAN



V_{seuil} : la plus petite tension détectable par le CAN

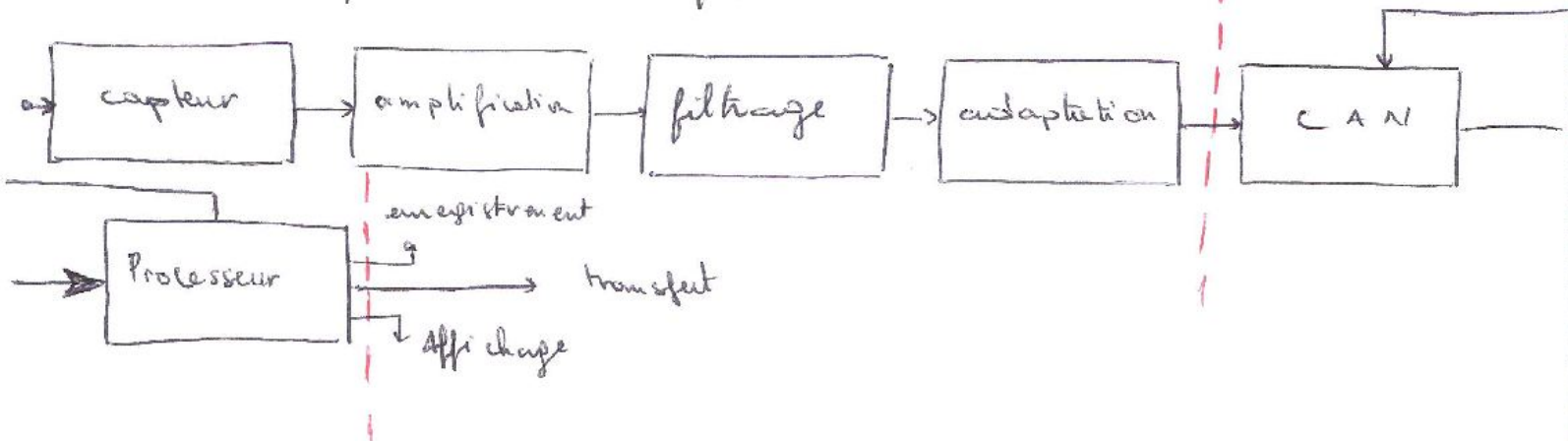
V_{seuil}

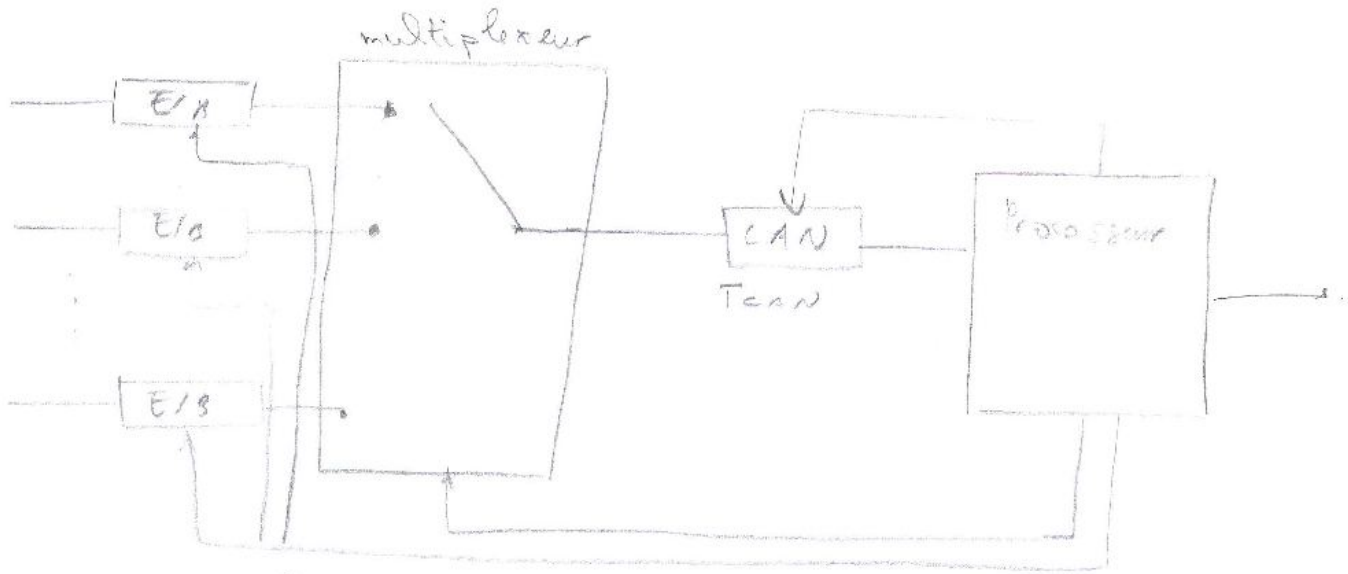
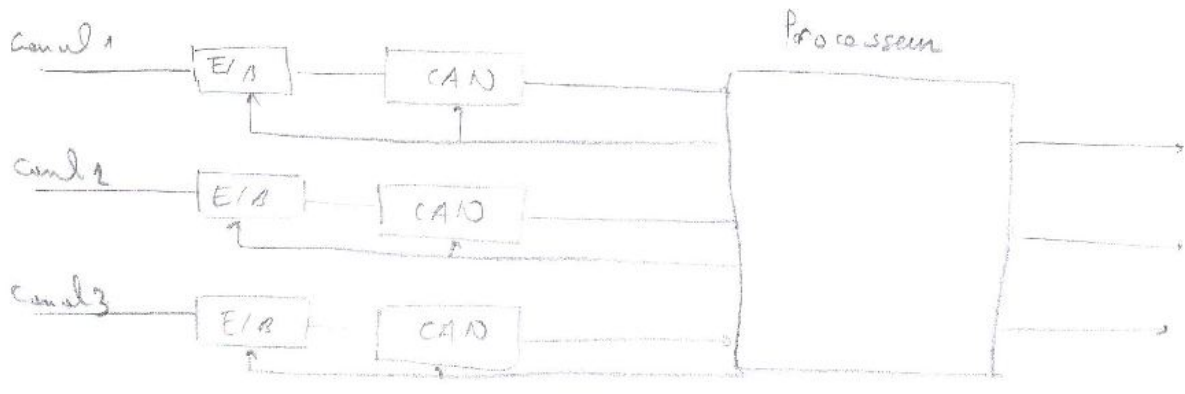
- la linéarité
- Temps de conversion
- Résolution : nombre de bits
- La valeur seuil de la tension à convertir
- Précision.

Les applications des CAN et des CNA

les caractéristiques d'acquisition.

chaîne d'acquisition numérique





$T_{conversion} = n \times T_{can}$

 nombre de canaux multiplie