

# Convertisseur A-N et N-A

## Introduction

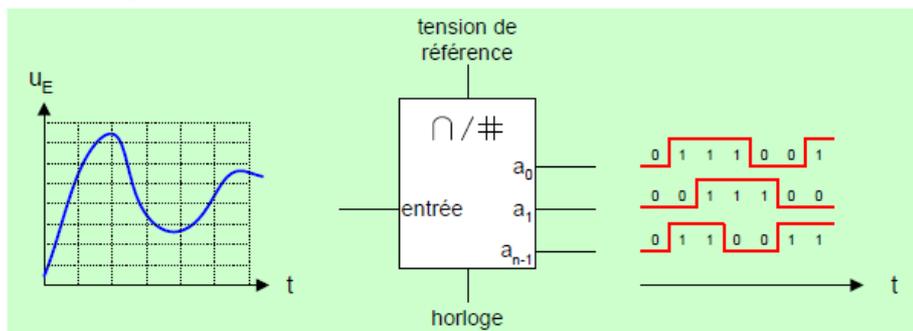
- 2 catégories de circuits électroniques :

- circuits analogiques (∩)

- circuits numériques (#)

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

- Fig. 1a



- Exemples

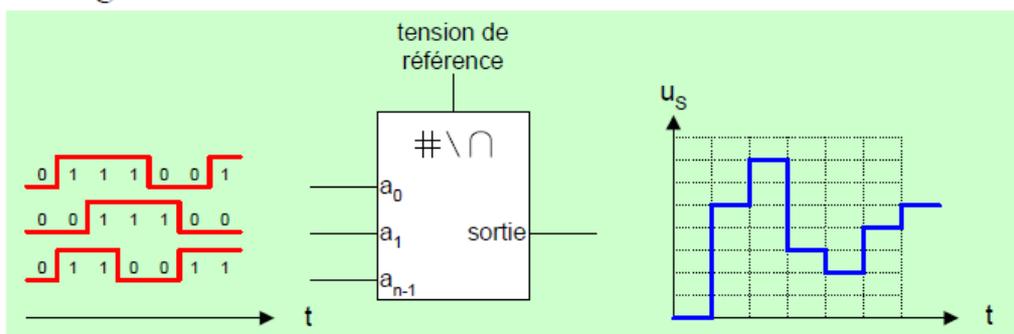
- Capteur de son (microphone) ∩ → Carte-son → Ordinateur #

- Capteur de température ∩

- Carte d'acquisition → Ordinateur #

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

- Fig. 1b



- Exemples

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

- CD # → Lecteur CD → amplificateur et haut-parleurs ∩

# Chapitre 1

## Convertisseur numérique/analogique (CNA)

Digital-to-Analog Converter (DAC)

### 1-1- Définitions

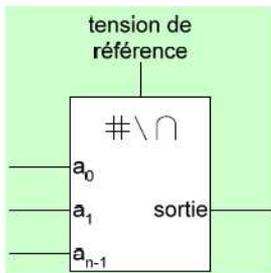
- Un CNA convertit un nombre binaire en une tension (ou un courant) qui lui est proportionnel.
- L'entrée est numérique (n bits) :

$$N = (a_{n-1} \dots a_1 a_0)_2$$

n est la *résolution numérique*

$$N_{\min} = (0 \dots 00)_2 = 0$$

$$N_{\max} - 1 = (1 \dots 11)_2 = 2^n - 1$$



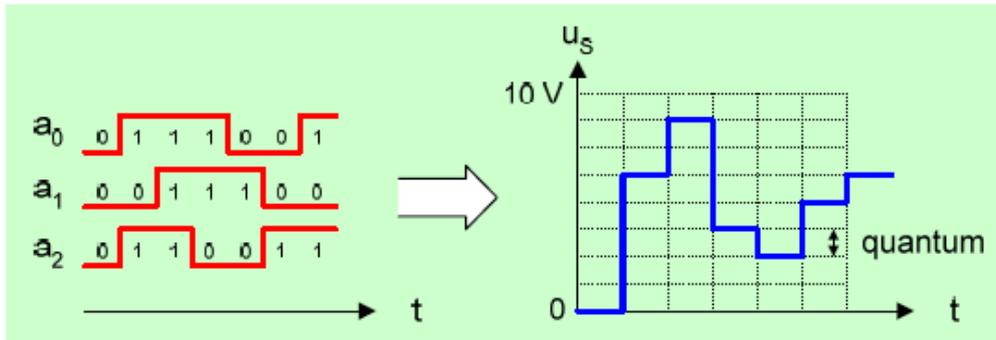
- La sortie est analogique (tension) :  $u_S = Nq + u_{S\min}$   
q est le *quantum* ou *résolution analogique* (en V)  
L'*étendue* de la tension de sortie est :  
 $u_{S\max} - u_{S\min} = 2nq$
- Relation entre résolution (n) et quantum (q)  
quantum = étendue de la tension de sortie /  $2^n$

### 1-2- Caractéristiques d'un CNA

- résolution ("précision")
- durée de conversion ("vitesse")
- plage de la tension de sortie
- prix
- Exemple n°1 (fig. 2a) : CNA 3 bits, plage [0,10 V]

N	$a_2$	$a_1$	$a_0$	$u_s$ (V)
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1,25
2	0	1	0	2,5
3	0	1	1	3,75
4	1	0	0	5
5	1	0	1	6,25
6	1	1	0	7,5
7	1	1	1	8,75

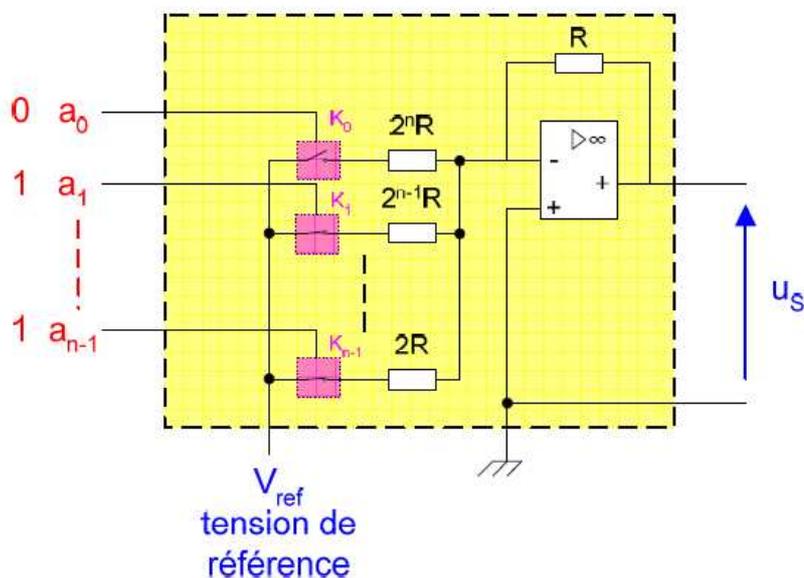
$$q = (10 - 0) / 2^3 = 10/8 = 1,25 \text{ V}$$



## 1-3- Les principaux types de CNA

### 1-3-1- CNA à réseau de résistances pondérées

• Fig. 3a



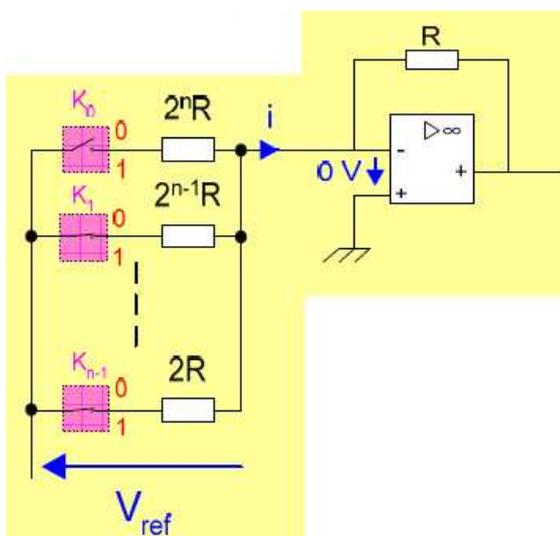
• Analyse du fonctionnement

Les interrupteurs électroniques  $K_i$  sont des transistors :

$K_i$  est fermé quand  $a_i = 1$  (niveau de tension haut)

$K_i$  est ouvert quand  $a_i = 0$  (niveau de tension bas)

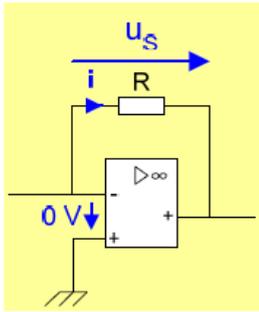
L'A.O. fonctionne en régime linéaire :  $\varepsilon = 0$  V



Loi des nœuds :

$$i = a_{n-1} \cdot \frac{V_{ref}}{2R} + \dots + a_0 \cdot \frac{V_{ref}}{2^n R}$$

D'autre part :  $u_S = -Ri$



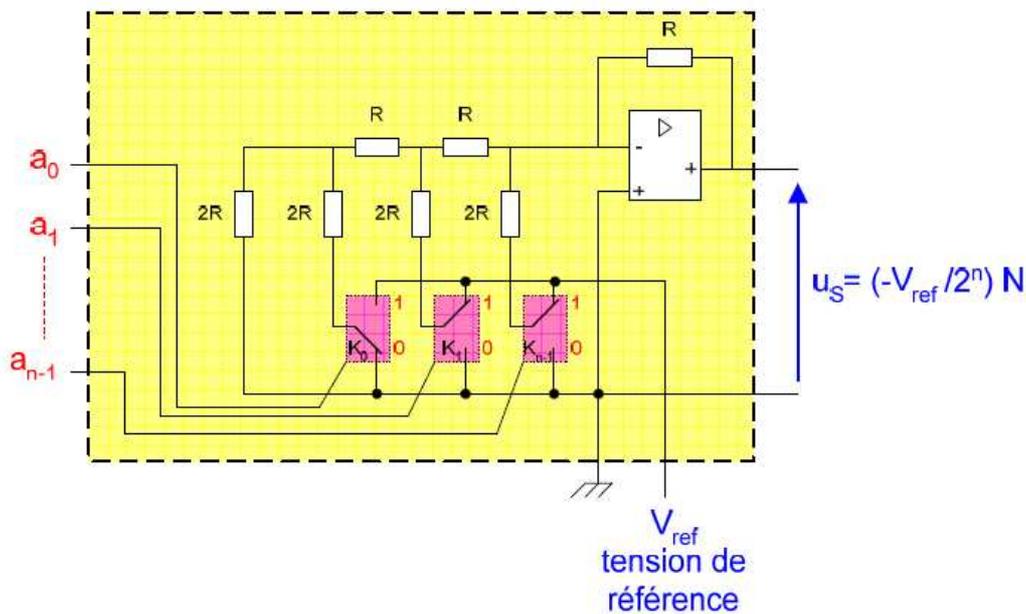
d'où : 
$$u_S = -(V_{ref}/2^n) \cdot (2^{n-1}a_{n-1} + \dots + 4a_2 + 2a_1 + a_0)$$

**Finalement :  $u_S = -(V_{ref}/2^n) \cdot N$**

- quantum :  $q = -(V_{ref}/2^n)$
- plage de la tension de sortie : 0 à  $-V_{ref}$

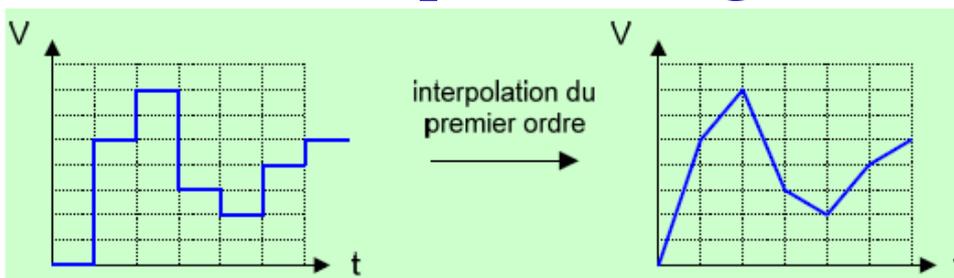
## 1-3-2- CNA à réseau de résistances R-2R

• Fig. 3b

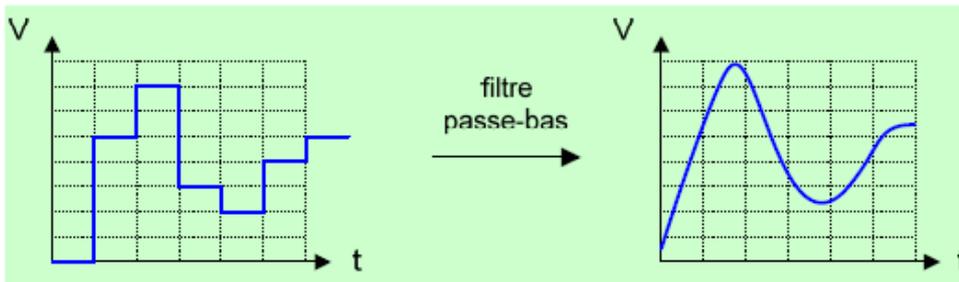


## 1-4- Restitution du signal analogique initial

### 1-4-1- Par interpolation (fig. 4a)

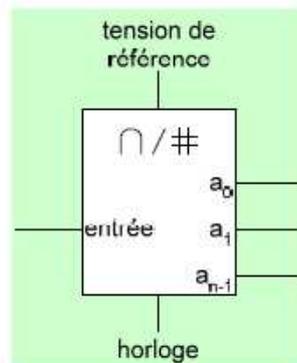


## 1-4-2- Par filtrage analogique (fig. 4b)



# Chapitre 2

## Convertisseur analogique/numérique (CAN)



Analog-to-Digital Converter (ADC)

### 2-1- Définitions

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 sortie est numérique (n bits) :  $N = (a_{n-1} \dots a_1 a_0)_2$

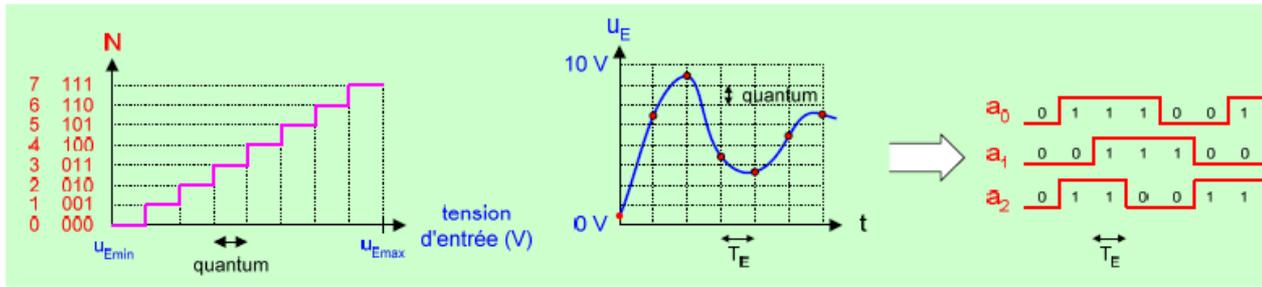
Remarque : la conversion A/N est plus complexe à réaliser que la conversion N/A.

### 2-2- Fonction de transfert

- $N = [(uE - uEmin) / \text{quantum}]$

[les crochets désignent la partie entière]

- Exemple (fig. 5) : CAN 3 bits, plage [0,10 V]



## 2-3- Caractéristiques

- résolution
- durée de conversion (TC)
- plage de la tension d'entrée
- prix

## 2-4- Echantillonnage (“ numérisation ” “ sampling ”)

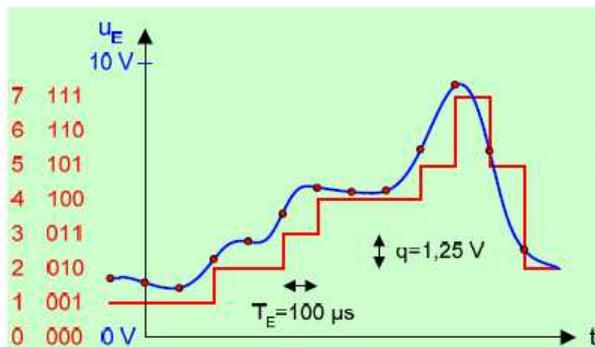
L'échantillonnage consiste à numériser (échantillonner) un signal analogique.  
L'élément principal est le convertisseur A/N.

### 2-4-1- « Vitesse » d'échantillonnage (sampling frequency)

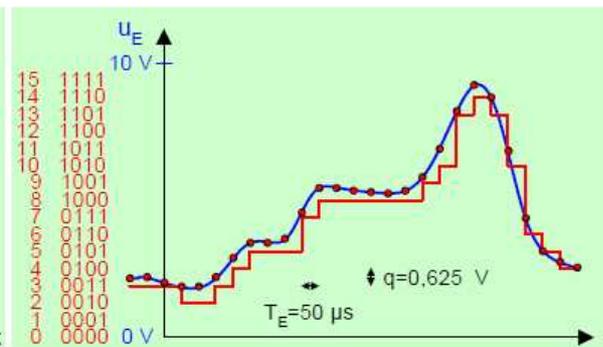
- L'échantillonnage est caractérisé par sa période  $T_E$
- Fréquence d'échantillonnage :  $f_E = 1/T_E$
- Limite :  $TC < T_E$
- Exemple : ADC0804  
 $f_E$  limitée à  $1/100 \mu s = 10 \text{ kHz}$  :  
 10 000 échantillons (de 8 bits) par seconde

### 2-4-2- Influence de la résolution et de la fréquence d'échantillonnage

• Fig. 6a :  
CAN 3 bits,  $f_E = 10 \text{ kHz}$



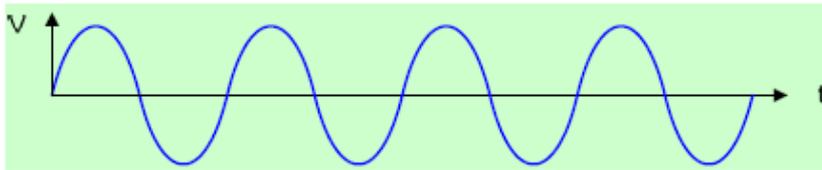
• Fig. 6b :  
CAN 4 bits,  $f_E = 20 \text{ kHz}$



- L'échantillonnage est d'autant meilleur que :  
 $f_E$  est élevée (vitesse)  
 $n$  est élevée (précision)

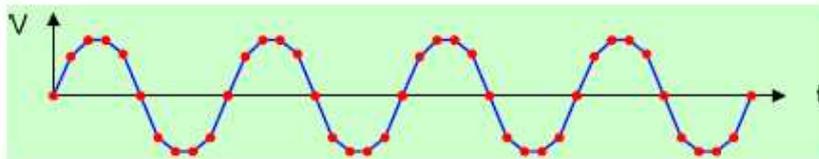
## 2-4-3- Théorème de Shannon

Considérons un signal sinusoïdal de fréquence  $f$  (fig. 7a) :



Avec  $fE = 10f$  (10 échantillons par période) :  
échantillonnage correct.

Après restitution par interpolation linéaire (fig. 7b) :



Avec  $fE < 2f$ , l'échantillonnage est incorrect (fig. 7c) :



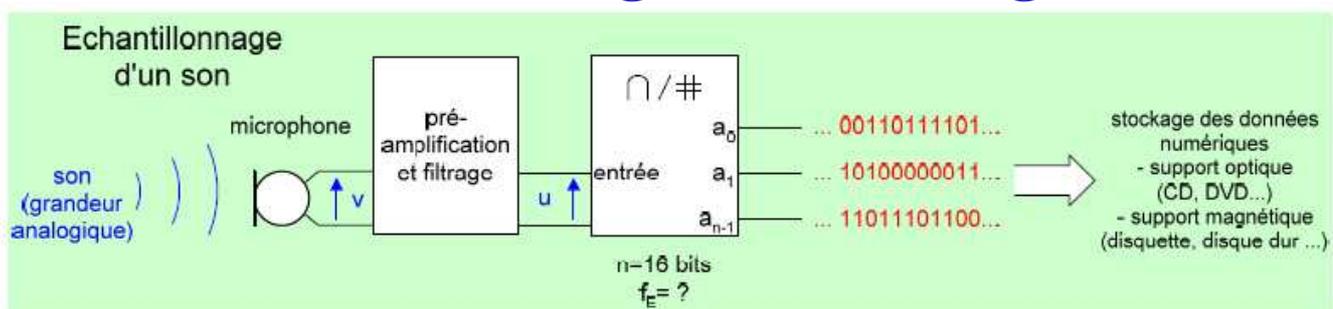
Théorème de Shannon

La fréquence d'échantillonnage  $fE$  doit être au moins double de la plus grande fréquence  $f$  contenue dans le signal à échantillonner :

$$fE > 2f$$

## 2-4-4- Application : le son “ numérique ”

### 2-4-4-1- Echantillonnage d'un son (fig. 8a)



Bande passante d'un son : 20 Hz (grave) à 16 kHz (aigu)

Théorème de Shannon :

Fréquence d'échantillonnage d'au moins  $2 \times 16 = 32$  kHz

Son de « qualité CD » : 44,1 kHz

Taille mémoire

Une seconde d'enregistrement nécessite :

$$2 \text{ (stéréo)} \times 16 \text{ (résolution)} \times 44\,100 \text{ (nombre d'échantillons)} \\ = 1\,411\,200 \text{ bits} = 176\,400 \text{ octets} = 172 \text{ ko}$$

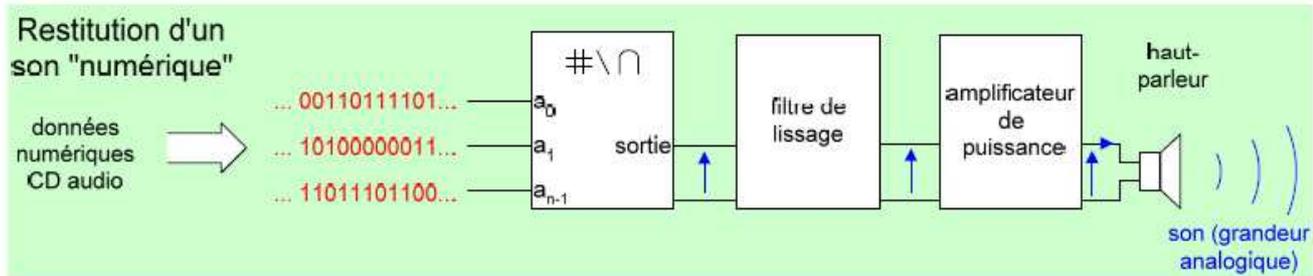
Capacité d'un CD audio : 650 Mo

172 ko /s soit 74 min de son

## 2-4-4-2- Restitution d'un son "numérique"

La restitution est l'opération inverse de l'échantillonnage.

Fig. 8b :



Le lecteur de CD effectue la lecture optique du CD, la conversion N/A et le filtrage (lissage des marches d'escalier).

## 2-5- Les différents types de CAN

### 2-5-1- CAN à comparateurs en échelle ("Flash")

Exemple de réalisation

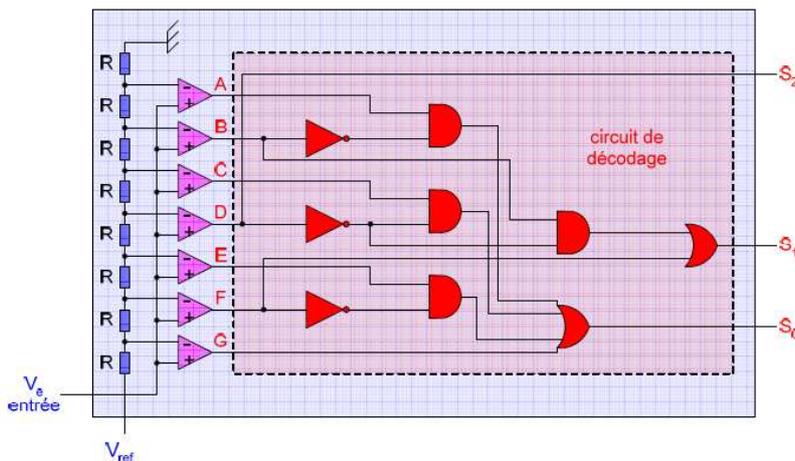
$n = 3$  bits

plage de la tension d'entrée : 0 à  $V_{ref}$

quantum :  $(V_{ref} - 0)/2^n = V_{ref}/8$

Avantage : conversion très rapide

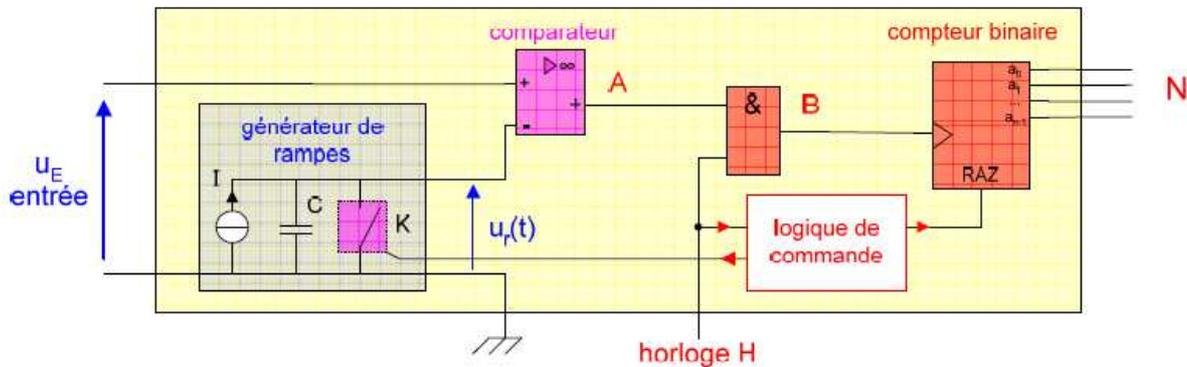
Schéma (fig. 9b)



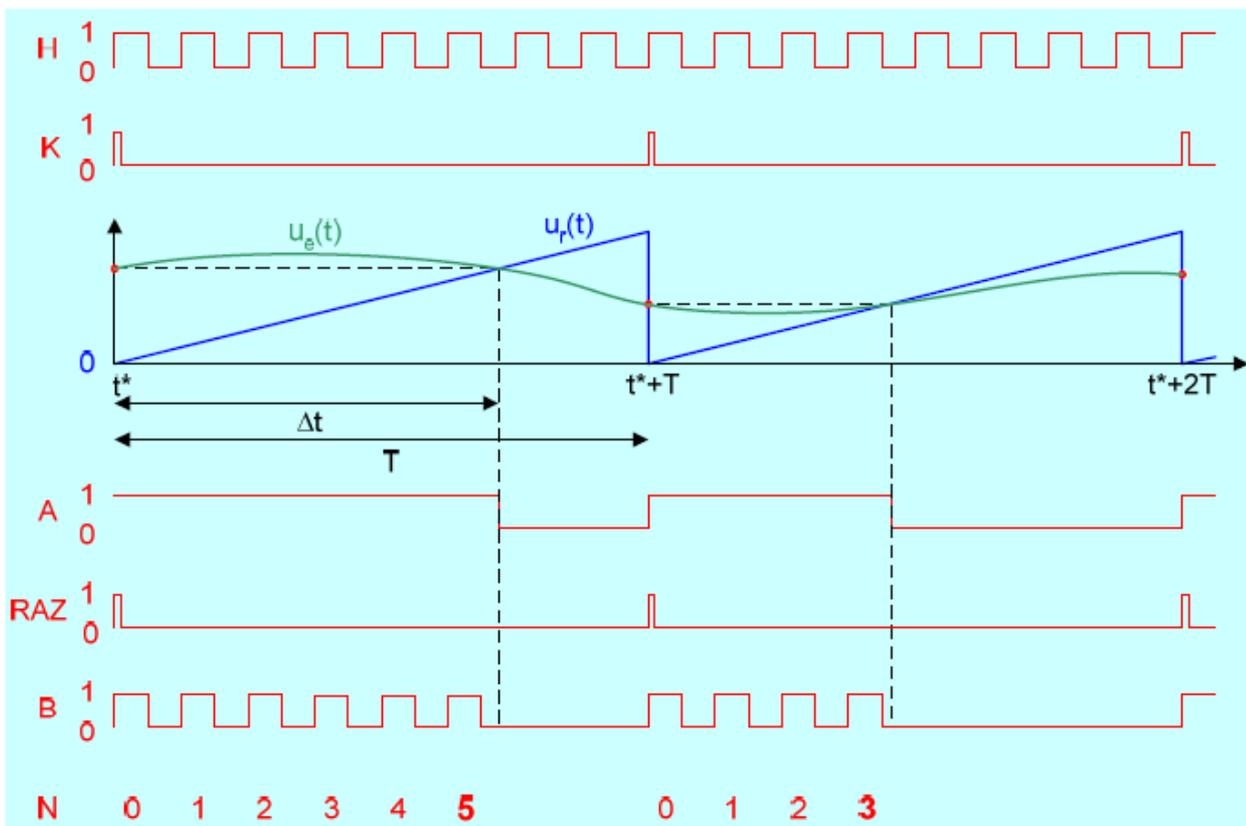
$V_e$	$S_2$	$S_1$	$S_0$	$N$
$0 < V_e < V_{ref}/8$	0	0	0	0
$V_{ref}/8 < V_e < V_{ref}/4$	0	0	1	1
$V_{ref}/4 < V_e < 3V_{ref}/8$	0	1	0	2
$3V_{ref}/8 < V_e < V_{ref}/2$	0	1	1	3
$V_{ref}/2 < V_e < 5V_{ref}/8$	1	0	0	4
$5V_{ref}/8 < V_e < 3V_{ref}/4$	1	0	1	5
$3V_{ref}/4 < V_e < 7V_{ref}/8$	1	1	0	6
$7V_{ref}/8 < V_e < V_{ref}$	1	1	1	7

## 2-5-2- CAN « simple rampe »

Schéma (fig. 10a)



Chronogrammes (avec  $n = 3$  bits) : fig. 10b



Principe de fonctionnement

La conversion  $A/N$  est indirecte : on se ramène au comptage d'une durée.

La durée  $\Delta t$  est *proportionnelle* à  $u_E$ .

**Le résultat en fin de comptage est proportionnel à  $u_E$ .**

La durée de conversion est :  $TC = TE = T = 2nTH$

Avantage : résolution élevée (application : multimètre numérique)

## 2-6- Echantillonneur-bloqueur (sample-and-hold)

La conversion A/N n'est pas instantanée.

Il faut maintenir la tension d'entrée constante pendant toute la durée de la conversion (TC).

C'est le rôle de l'Echantillonneur-Bloqueur.

Fig. 11a :

