

IV.) la technologie électronique numérique.

4.1) Introduction:

Deux technologies électroniques cohabitent : l'analogique et le numérique ou technologie digitale. Le numérique est plus récent, son développement est principalement dû aux ordinateurs et il prend de plus en plus de "parts de marché" de l'analogique. Cependant, l'analogique n'est pas du tout en déclin parce qu'il y a des domaines dans lesquels elle est irremplaçable, notamment en hautes fréquences. Des progrès importants sont faits dans la réalisation de circuits intégrés analogiques qui ouvrent de nouveaux champs d'applications hors de portée auparavant.

Analogique: la grandeur électrique ou signal varie de façon **analogue** à la grandeur physique qu'elle décrit. Une caractéristique importante est la continuité du signal.

Numérique: la grandeur électrique est traduite en une suite de **nombres** séparés par un intervalle de temps. L'impossibilité de décrire le signal par une suite de nombres infinie si l'intervalle de temps tend vers zéro a pour conséquence une discontinuité de la description du signal physique.

C'est cette technologie que nous allons décrire dans ce chapitre et aborder des techniques de conversion de signal analogique en numérique et numérique en analogique.

4.2) Codage binaire:

En analogique, on décrira une variation de température de 0 à 100°C par une variation de tension de 0 à 1V par exemple.

En numérique, on décrira une variation de température par une suite de nombres... Comment coder électriquement des nombres ?

4.2.1) le code binaire :

On utilisera le code binaire et on codera un 0 par une tension de 0 Volt et un 1 par une tension de 5 Volts.

Un inconvénient de cette méthode est l'obligation d'utiliser un certain nombre de fils électriques pour coder un nombre, en effet chaque bit a_n sera matérialisé par un fil.

Nombre de fils f nécessaires pour coder un nombre n :

$$f = \log_2(n + 1)$$

Nombre n pouvant être codé avec f fils:

$$n = 2^f - 1$$

	binaire						décimal
-----	0	0	0	0	0		0
-----	0	0	0	0	1		1
-----	0	0	0	1	0		2
-----	0	0	0	1	1		3
-----	0	0	1	0	0		4
-----	0	0	1	0	1		5
-----	0	0	1	1	0		6
-----	0	0	1	1	1		7
-----	0	1	0	0	0		8
-----	0	1	0	0	1		9

Fig. 1 Code binaire

4.2.2) conversions :

Conversion binaire -> décimale :

soit d un nombre décimal, alors on pourra écrire : $d = a_0 2^0 + a_1 2^1 + a_2 2^2 + \dots + a_n 2^n$ où a_n sont les bits du nombre binaire correspondant. a_0 est le bit de poids le plus faible, a_n est le bit de poids le plus fort.

Exemple :

$$\begin{aligned} 1101 &=? \\ 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 &= \\ 1 + 4 + 8 &= 13 \end{aligned}$$

Conversion décimale -> binaire :

On opère des divisions successives par 2 :

Exemple :

12 = ?

$$\begin{aligned} 12/2 &= 6, \text{ reste } 0 \\ 6/2 &= 3, \text{ reste } 0 \\ 3/2 &= 1, \text{ reste } 1 \\ 1/2 &= 0, \text{ reste } 1 \end{aligned}$$

Le résultat est la lecture des restes de bas en haut, soit 1100.

Remarque :

On utilise encore d'autres bases pour le travail sur les circuits numériques: le code octal (base 8) ou le code hexadécimal (base 16).

Exemple: le code hexadécimal: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 1A 1B...

4.3) Circuits logiques:

L'application la plus célèbre utilisant la technologie électronique numérique est l'ordinateur. Celui-ci travaille sur des nombres binaires. Ses circuits sont capables de réaliser toutes sortes d'opérations arithmétiques ou logiques sur ces nombres.

Il existe une famille nombreuse de circuits électroniques intégrés et spécialisés qui ne reconnaissent que les valeurs de tension 0 et 5V correspondants aux niveaux logiques 0 et 1.

Ci-contre, exemples de circuits logiques élémentaires: ET - OU - NON.

Ces circuits constituent des "briques de base" de circuits beaucoup plus complexes obtenus par combinaison de plusieurs d'entre eux.

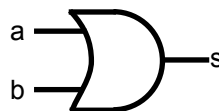
circuit logique ET (AND)



$$s = a \cdot b$$

a	b	s
0	0	0
0	1	0
1	1	1
1	0	0

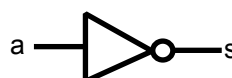
circuit logique OU (OR)



$$s = a + b$$

a	b	s
0	0	0
0	1	1
1	1	1
1	0	1

circuit logique NON (NOT)



$$s = \bar{a}$$

a	s
0	1
1	0

Fig. 2 Portes logiques : symboles, équations, tables de vérité.

4.4) Conversion A/D (analogique --> digitale):

On a souvent besoin de fournir à un ordinateur des données constituées par des tensions analogiques issues de capteurs quelconques.

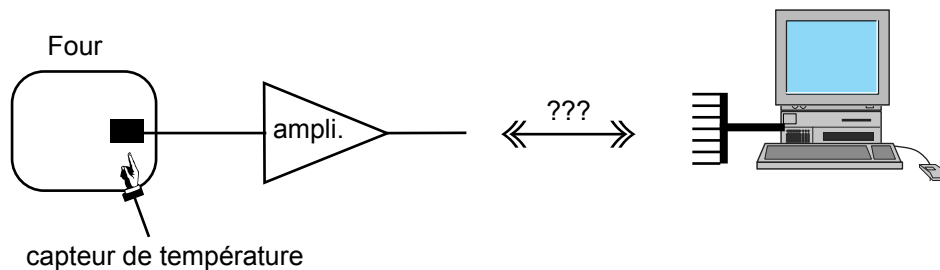


Fig. 3 Nécessité de la conversion analogique - digitale.

Le capteur de température fournit une tension proportionnelle à T variant de 0 à 10mV. On amplifie ce signal pour l'amener dans une plage de variation plus grande de l'amplitude de la tension par exemple de 0 à 10V.

Il s'agit ensuite de convertir ce signal en numérique.

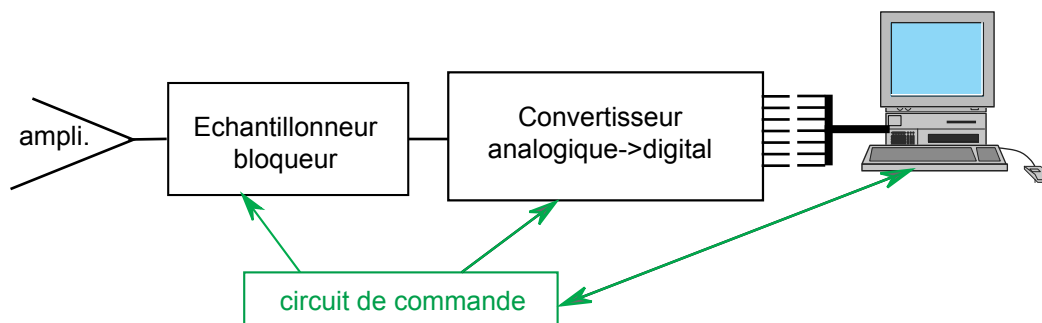


Fig. 4 Synoptique du convertisseur analogique - digital.

En dehors de la conversion A/D elle-même, on trouve dans la pratique des circuits annexes indispensables :

- **L'échantillonneur-bloqueur** a pour rôle de "prélever" un échantillon à des intervalles de temps précis fournis par le circuit de commande. Il doit aussi maintenir la tension échantillonnée constante pendant le temps que met le **Convertisseur A/D** pour faire la conversion.
- Le **circuit de commande** est le "chef d'orchestre" : il donne les "tops" :
 1. début d'échantillonnage à l'échantillonneur-bloqueur,
 2. début de conversion au convertisseur A/D
 3. dialogue avec l'ordinateur:
 4. conversion effectuée, lire la valeur convertie ==> ordinateur
 5. l'ordinateur répond, prêt pour la donnée suivante. ==> circuit de commande

4.4.1) L'échantillonneur - bloqueur:

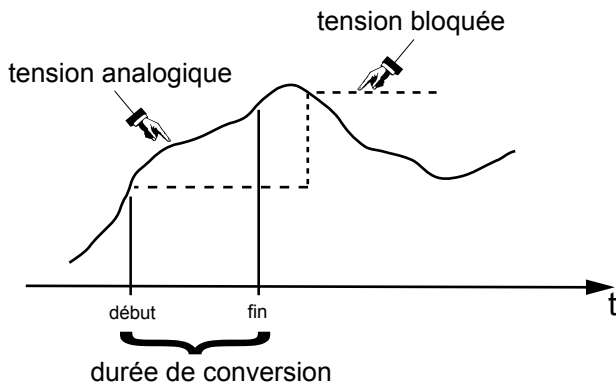


Fig.5 Mémorisation d'une tension analogique pendant la conversion A/D

Problème: le convertisseur analogique-digital nécessite un certain laps de temps pour effectuer la conversion. Pendant ce temps, le signal évolue : il y a donc incertitude sur la valeur effectivement convertie !

On utilisera un circuit de mémorisation et de maintien de la tension analogique présente à l'entrée du convertisseur à un instant donné l'échantillonneur - bloqueur.

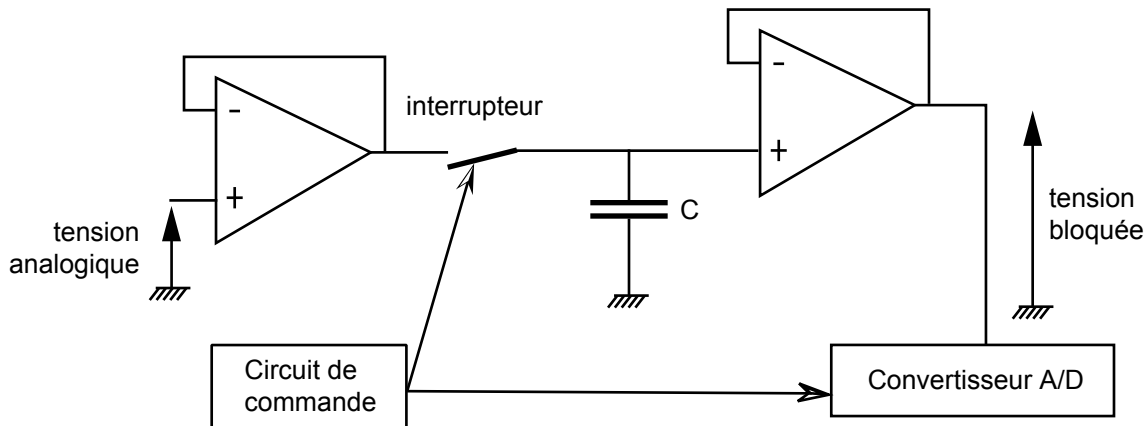


Fig. 5 Circuit d'échantillonneur-bloqueur

La tension analogique V_a est transmise via un suiveur au condensateur C pendant le temps où l'interrupteur est fermé. Le condensateur C se charge rapidement à la valeur de V_a car la résistance du circuit de charge est la résistance de sortie du suiveur, donc nulle ($RC=0$).

L'interrupteur est alors ouvert et la tension du condensateur reste stable: aucune décharge n'est possible puisque la résistance d'entrée du 2^{ème} suiveur est infinie. La tension présente aux bornes du condensateur est transmise par le 2^{ème} suiveur au convertisseur A/D qui peut alors convertir une tension stable étant exactement celle correspondant à l'instant choisi pour l'échantillonnage.

Ce circuit équivaut à une mémoire analogique.

4.4.1) Le convertisseur A/D:

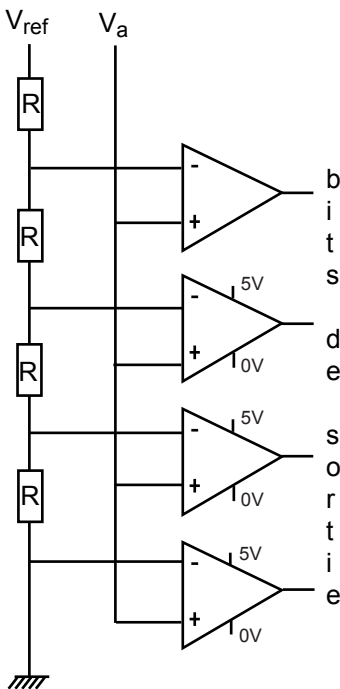


Fig. 4 Convertisseur A/D à comparateurs

La tension à mesurer (quantifier) V_a est comparée aux différents niveaux de tensions présents aux différents points de l'échelle de résistances R . Si la tension analogique est supérieure à la tension de la borne - du comparateur, celui-ci bascule sur la tension positive d'alimentation qui peut être une tension correspondant à un niveau logique. Réciproquement, si la tension analogique est inférieure à la tension sur la borne +, alors la sortie du comparateur bascule à la tension d'alimentation complémentaire. Si on choisit comme valeurs de tension d'alimentation $0V$ et $+5V$, on obtient en sortie directement un mot binaire.

Il est évident que dans cette opération on fait une erreur dans la quantification du signal analogique qui est au maximum égale à la différence des tensions de référence entre les bornes - de 2 comparateurs voisins. C'est le pas de quantification. Pour réduire cette erreur, il faudra augmenter le nombre de "pas", c'est à dire augmenter le nombre de comparateurs.

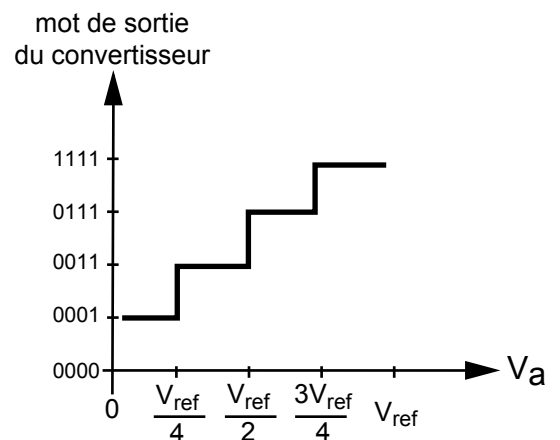
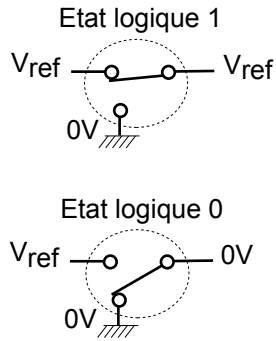


Fig. 7 Quantification

4.4) Conversion D/A (Digitale --> Analogique):

Lorsqu'on a besoin de transformer des données numériques en un signal analogique, on utilise un convertisseur Digital / Analogique.

Les Compact Disc (CD) audiophoniques sont des supports de données numériques. Les données numériques, en l'occurrence décrivant une vibration acoustique, doivent être converties en un signal analogique susceptible d'être envoyé aux haut-parleurs.



Le mot binaire est matérialisé dans le circuit convertisseur D/A par des interrupteurs bipolaires qui présentent deux niveaux de tension différentes selon leur position.

En pratique, ces interrupteurs sont électroniques car ils doivent être rapides et pouvoir être actionnés un très grand nombre de fois.

Fig. 9 Etats logiques d'un interrupteur.

Exemple de convertisseur D/A à 3 bits

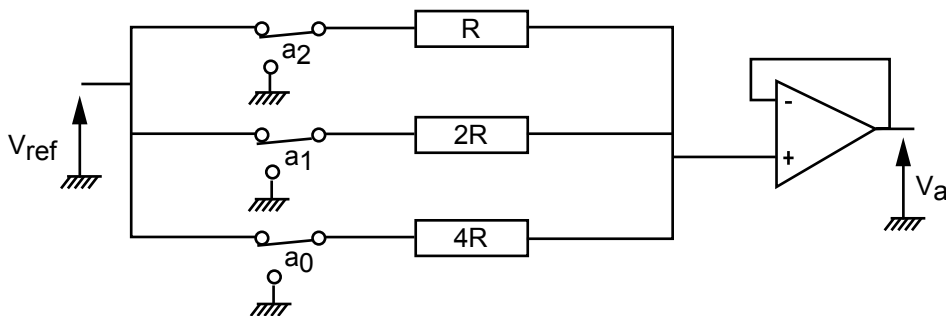


Fig. 8 Convertisseur Digital / Analogique

:
On peut montrer que :

a₂	a₁	a₀	V_a (V)
0	0	0	0
0	0	1	$V_{ref}/7$
0	1	0	$2V_{ref}/7$
0	1	1	$3V_{ref}/7$
1	0	0	$4V_{ref}/7$
1	0	1	$5V_{ref}/7$
1	1	0	$6V_{ref}/7$
1	1	1	V_{ref}

On a donc une valeur de tension analogique proportionnelle à la valeur binaire codée sur les bits a_0 , a_1 et a_2 . Le choix de la tension V_{ref} déterminera la plage de tension qu'on désire obtenir en sortie.

4.4) Comparatif:

Quelques éléments de comparaison entre la technologie analogique et numérique:

Analogique:	Numérique:
<p><u>inconvénients:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • bruit • dérive • mémorisation difficile <ul style="list-style-type: none"> condensateur piste magnétique (séquentiel) • consommation importante <p><u>avantages:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • caractère analogique des capteurs • facilité des réglages 	<p><u>inconvénients:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • quantification et échantillonnage <ul style="list-style-type: none"> plus de bits ==> plus lent et plus cher • inutilisable pour des fréquences > à 10 GHz <p><u>avantages:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • insensible aux bruit et dérives <ul style="list-style-type: none"> si erreur, il y a possibilité de mettre en place des algorithmes de correction • facilité de transmission <ul style="list-style-type: none"> on peut régénérer le signal • isolement galvanique • facilité de traitement numérique • intelligence de la programmation <ul style="list-style-type: none"> dialogue homme-machine commande adaptative

oo*oo
 ooo_ooo
 ooo