

Terminale STI2D	COURS
Traitement du signal : CAN et CNA	SIN

### A RETENIR

- Les symboles ,
- Le principe général d'un CNA et d'un CAN ,
- Savoir calculer la relation entrée-sortie des différentes structures ,
- Le vocabulaire des convertisseurs :
  - Résolution ( $1/2^{N-1}$ ),
  - Quantum ( $q$ ),
  - Tension (ou courant) pleine échelle ( $U_{PE}$  ou  $PE$ ) ,
  - Théorème de Shannon .

#### 1) - PRESENTATION

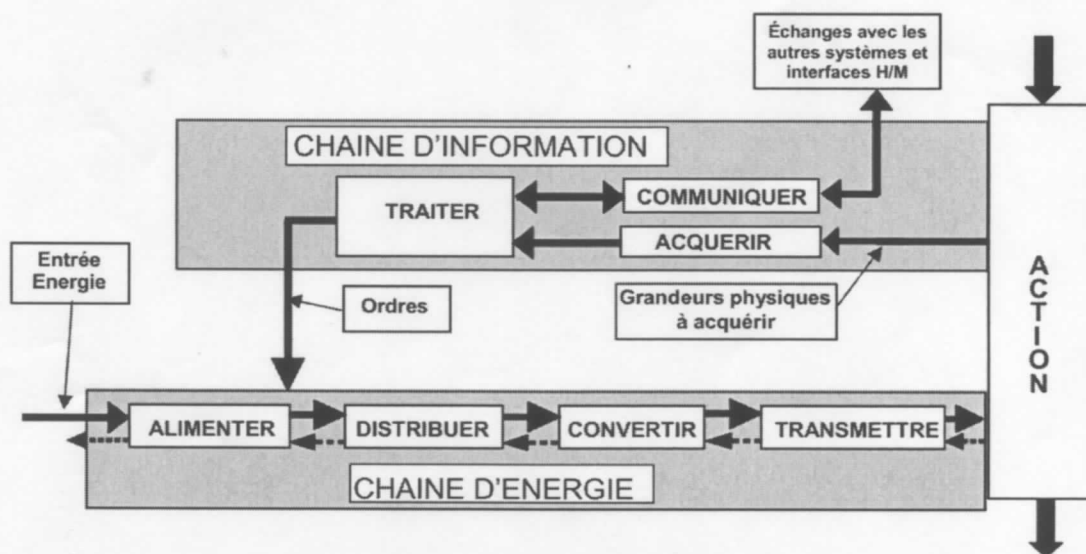
De nombreux systèmes électroniques utilisent la technique numérique, à base de microprocesseurs ou de microcontrôleurs pour les avantages qu'elle présente par rapport à la technique analogique : facilité de traitement de l'information selon des fonctions complexes (filtrage, compression...), mémorisation possible des informations, faible sensibilité au bruit...

Lorsque les informations issues de capteurs sont des grandeurs analogiques ou que les actionneurs doivent être commandés par des signaux analogiques, il est nécessaire de procéder à des conversions de données : on parle alors de conversion analogique numérique (CAN ou ADC) ou numérique analogique (CNA ou DAC).

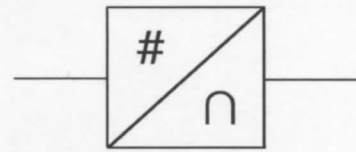
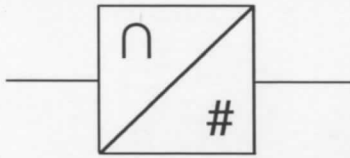
La grandeur physique à convertir peut-être de nature quelconque : vitesse, température, force. Le capteur permet de convertir cette grandeur en un signal analogique (par ex : dynamo tachymétrique pour le captage de la vitesse ou jauge d'extensiométrie pour le captage d'une force). Le convertisseur analogique numérique (CAN) va convertir le signal analogique en une suite de mots numériques qui pourront être compris et traités par le calculateur (microprocesseur).

De même, le calculateur générera en entrée du CNA (convertisseur Numérique Analogique) des mots numériques qui seront alors convertis en un signal analogique.

*Situer sur le synoptique ci-dessous les différentes conversions CAN ou CNA envisageables :*



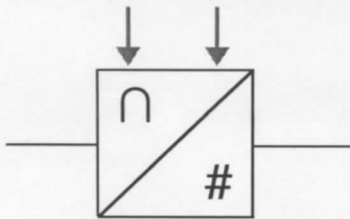
## 2) - SYMBOLISATION et TYPES DE CONVERTISSEURS



Types de convertisseurs CAN	Types de convertisseurs CNA

## 3) - PRINCIPE GENERAL D'UN CONVERTISSEUR ANALOGIQUE/NUMERIQUE (CAN)

Un convertisseur analogique / numérique (CAN) est un circuit hybride qui transforme une grandeur analogique d'entrée  $U_e$  (souvent une tension) en une valeur numérique  $N$  exprimée sur  $n$  bits.

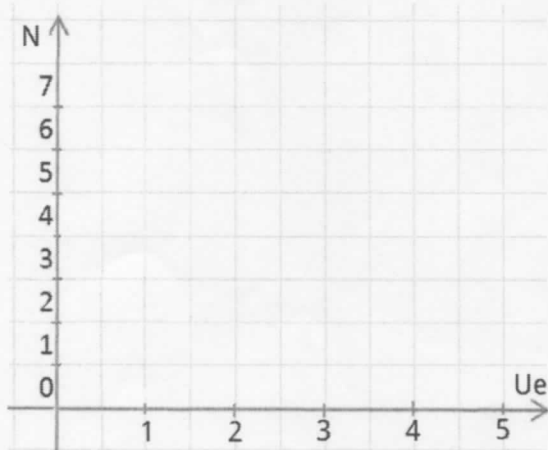


*Exemple d'un CAN 3 bits :*  $V_{ref+}$  et  $V_{ref-}$  représentent les tensions de références du convertisseur. Elles permettent de fixer les amplitudes maximales et minimales de la grandeur d'entrée à convertir.

L'opération de conversion se déroule en étapes :

La  $t_1$  consiste à prélever la valeur de la tension  $U_e$  à un instant  $t$  : c'est ce qu'on appelle aussi  $t_1$  de  $U_e$ . Le but est d'avoir un signal stable à l'entrée du convertisseur. En effet, il doit être  $t_1$  durant le codage sous peine d'avoir des valeurs erronées.

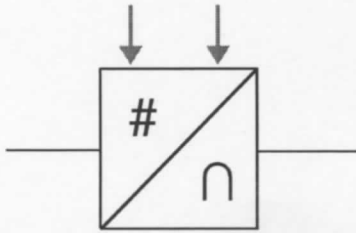
$t_2$  consiste à faire correspondre à ces échantillons (les valeurs de  $U_e$  prélevées aux temps  $t_1, t_2, t_3 \dots$ ) un mot binaire, en respectant une logique précise. De ce fait, le signal continu  $U_e$  est réduit en



La figure ci-contre (à compléter !) illustre les caractéristiques d'une conversion analogique/numérique ainsi que ses limitations.

#### 4) - PRINCIPE GENERAL D'UN CONVERTISSEUR NUMERIQUE/ANALOGIQUE (CNA)

Un convertisseur numérique / analogique (CNA) est un circuit hybride qui transforme une grandeur numérique d'entrée  $N$  en une valeur analogique  $U_s$  exprimée en volts.



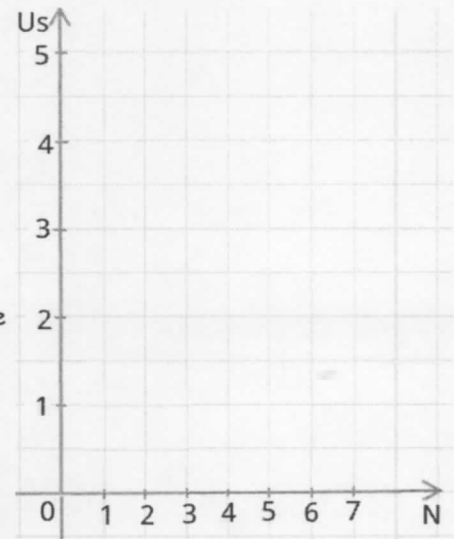
**Exemple d'un CNA de 3 bits** : Si le signal numérique en entrée est composé de 3 bits (nombre de 3 bits), il existe

Pour chacun de ces nombres, la tension de sortie  $U_s$  est différente.

$V_{ref+}$  et  $V_{ref-}$  représentent les tensions de références du convertisseur. Elles permettent de fixer les amplitudes maximales et minimales de la grandeur de sortie convertie.

A2	A1	A0	N	$U_s$

Quand le mot en entrée est à 111 la tension de sortie du CNA est maximale.  
 Sortie analogique =  $q \times$  valeur de l'entrée numérique  
 Soit  
 représente le quantum, plus petite variation de la tension de sortie ( $q$  en volt)  
 et la valeur décimale de l'entrée numérique  
 Compléter le tableau si  $q = 0,71V$   
 Tracer l'allure de la courbe  $U_s(N)$



**Exercice** : (CNA 8 bits, quantum et résolution, MSB, LSB. )

Sachant que  $U_{S_{MAX}} = 10V$  et  $U_{S_{MIN}} = 0V$  pour un CNA de 8 bits, définir la valeur de  $q$  et calculer la tension en sortie, pour les octets d'entrée  $N_1 = 1001\ 0001$  puis  $N_2 = 0001\ 0110$ .

Préciser ce que signifie LSB et MSB et donner pour ce convertisseur les tensions  $U_{S_{LSB}}$  et  $U_{S_{MSB}}$  correspondantes.

## 5) - QUELQUES DEFINITIONS

### **Quantum :**

Le quantum noté \_\_\_\_\_ correspond à la quantité élémentaire de variation du signal analogique. On l'appelle aussi \_\_\_\_\_ ou \_\_\_\_\_

### **Résolution numérique :**

La résolution numérique \_\_\_\_\_ est tirée du nombre de bits \_\_\_\_\_ que le convertisseur peut traiter (caractérise le mot N à convertir). Elle est aussi exprimée sous forme de rapport \_\_\_\_\_ souvent notée \_\_\_\_\_

Compléter le tableau suivant :

<i>CNA à n bits</i>	<i>R en décimal</i>	<i>R en %</i>
<i>n = 4</i>		
<i>n = 8</i>		
<i>n = 10</i>		
<i>n = 12</i>		
<i>n = 16</i>		
<i>n = 24</i>		

### **Remarques :**

Il ne faut pas faire de confusion entre *R* et *q*, l'utilisation de ces deux définitions doit se faire avec précaution car elles ne sont pas équivalents.

Par ailleurs, on rencontre fréquemment la définition de la résolution *R* comme étant simplement le nombre de bits du convertisseur, ***erreur à ne pas faire !***

### **Tension pleine échelle :**

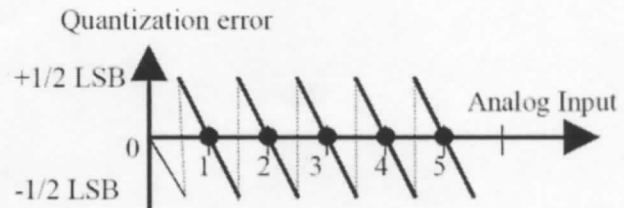
\_\_\_\_\_, tension pleine échelle, est la valeur analogique \_\_\_\_\_ que peut traiter le convertisseur.

### Erreur de quantification (ou précision) :

C'est l'écart entre la tension que l'on convertit (entrée du CAN) et la tension correspondant au code que l'on obtient (sortie du CNA).

C'est une caractéristique en dent de scie à valeur moyenne nulle. Elle évolue entre  $\pm 1/2$  quantum.

C'est une erreur qui est inhérente à toute numérisation. *On ne peut pas l'éliminer.*



### Temps de conversion (ou d'établissement) :

C'est le temps nécessaire pour que la sortie prenne la valeur indiquée par le code d'entrée et soit stable. Ce temps dépend des performances du convertisseur utilisé et de son nombre de bits.

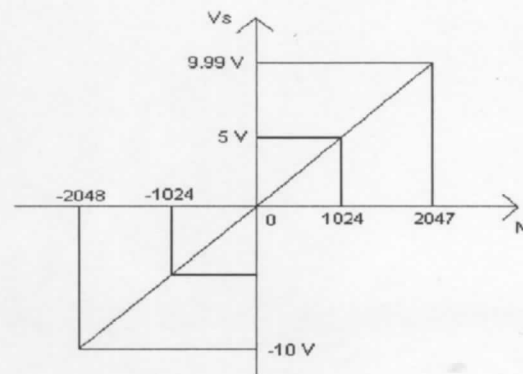
Il vaut typiquement 100ns pour un 8 bits mais peut dépasser les 100µs pour un 18 bits.

### Conversion unipolaire ou bipolaire :

*Unipolaire* : la grandeur en sortie et/ou en entrée est toujours du même signe.

*Bipolaire* : la grandeur en sortie et/ou en entrée est positive ou négative, ce qui nécessite une alimentation négative supplémentaire.

Pour coder sous forme binaire un nombre négatif on utilise le code complément à 2.



Exemple d'un CNA 12 bits à sortie bipolaire  $\pm 10V$

### Exemple de convertisseurs :

Signal unipolaire : 0 à +10V ; 4mA à 20mA.

Signal bipolaire : -5V à +5V ; -20mA à +20mA

Exercice : voici les principales caractéristiques fournies par un constructeur :

TEXAS INSTRUMENTS TL5632C 8-BIT 3-CHANNEL HIGH-SPEED DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTER	TEXAS INSTRUMENTS TLC0820AC HIGH-SPEED 8-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS USING FLASH TECHNIQUES
<ul style="list-style-type: none"><li>• 8-Bit Resolution</li><li>• Linearity . . . <math>\pm 1/2</math> LSB Maximum</li><li>• Differential Nonlinearity . . . <math>\pm 1/2</math> LSB Maximum</li><li>• Conversion Rate . . . 60 MHz Min</li><li>• Nominal Output Signal Operating Range <math>V_{CC}</math> to <math>V_{CC} - 1V</math></li><li>• TTL Digital Input Voltage</li><li>• 5-V Single Power Supply Operation</li><li>• Low Power Consumption . . . 350 mW Typ</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Advanced LinCMOS™ Silicon-Gate Technology</li><li>• 8-Bit Resolution</li><li>• Differential Reference Inputs</li><li>• Parallel Microprocessor Interface</li><li>• Conversion and Access Time Over Temperature Range</li><li>• Read Mode . . . 2.5 µs Max</li><li>• No External Clock or Oscillator Components Required</li><li>• On-Chip Track and Hold</li><li>• Single 5-V Supply</li></ul>

Déterminer le quantum  $q$ , la résolution  $R$  (en %) et le temps de conversion typique, de chacun de ces deux convertisseurs.

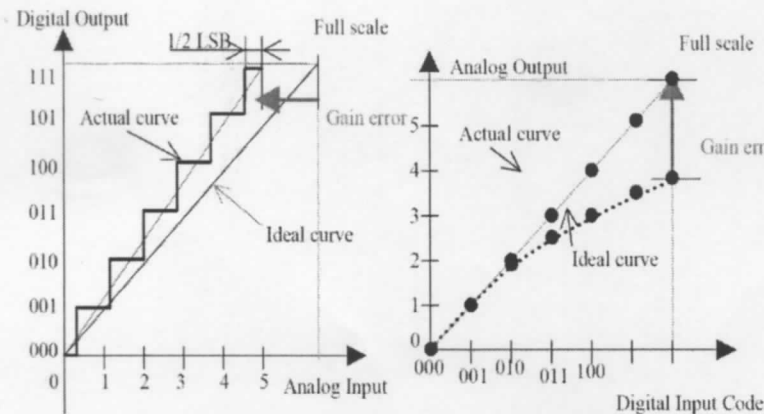
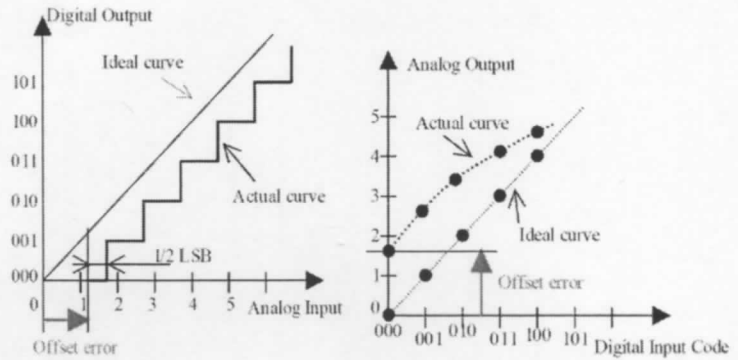
## 6) - ERREURS DES CONVERTISSEURS

### Erreur d'offset :

C'est un décalage entre la courbe de transfert idéal et la courbe réelle. Elle est définie par l'écart existant sur le code nul ( $N = 0$ ).

Elle est due à la présence d'offset des amplificateurs et comparateurs au sein du convertisseur.

On peut la compenser par un circuit externe en ramenant l'écart sur le code nul à zéro.



### Erreur de gain :

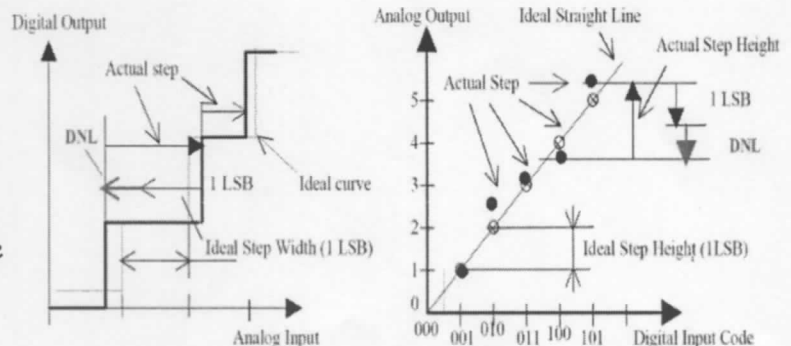
La pente de la fonction de transfert est différente de la pente idéale.

On la définit par rapport à la pleine échelle du convertisseur ( $N = 11...1$ ).

Elle peut être due à une erreur sur la référence de tension, sur les gains des amplificateurs utilisés ou encore un mauvais appareillage d'un réseau de résistances. On peut la compenser par un circuit externe qui annule l'erreur.

### Erreur de linéarité différentielle (DNL)

Elle est définie pour chaque palier du convertisseur et elle représente la différence entre la largeur du palier réelle et la largeur idéale. On l'exprime en nombre de LSB.



## 7) - RETOUR SUR LE CAN (Théorème de Shannon, filtre anti-repliement)

Nous avons vu plus haut (§ 3) que l'opération de conversion se déroule en deux étapes :

- qui consiste à prélever à intervalles réguliers la valeur de la tension  $V_e$ . C'est ce qu'on appelle aussi l'échantillonnage ou discrétisation de  $V_e$ .
- qui fait correspondre à ces échantillons un mot binaire, en respectant une logique précise.

La figure ci-contre illustre le problème de l'échantillonnage d'une grandeur analogique et de sa valeur numérique convertie en tension.

L'horloge interne du CAN prélève des échantillons tous les instants  $T_e$  ( $T_e$  étant la période d'échantillonnage).

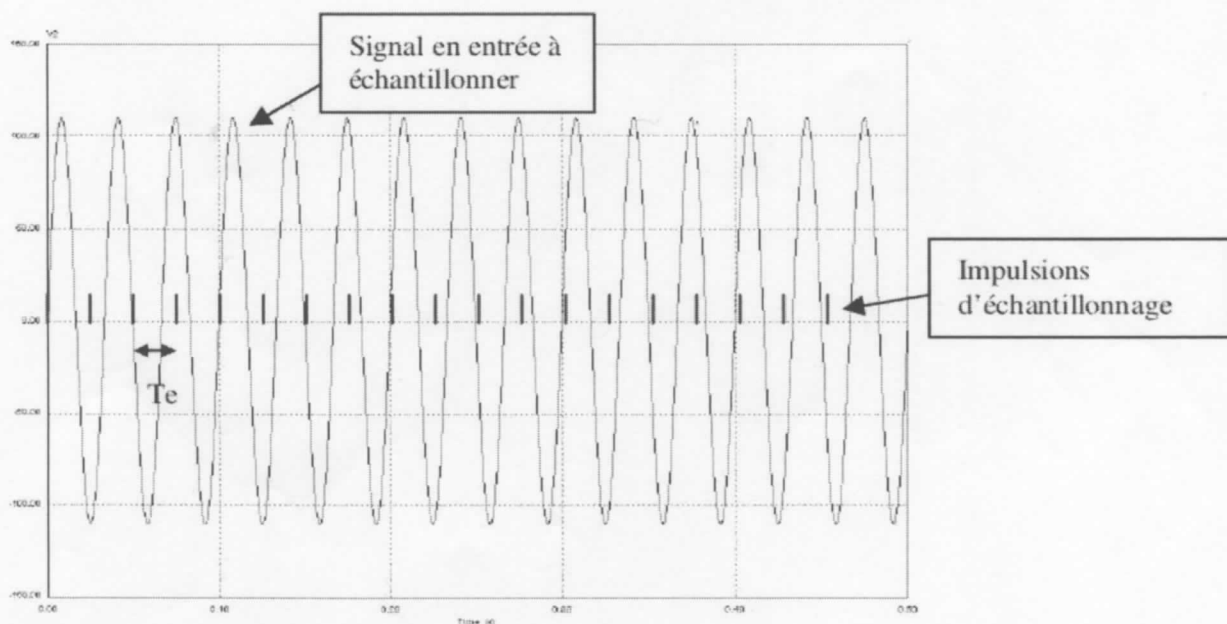
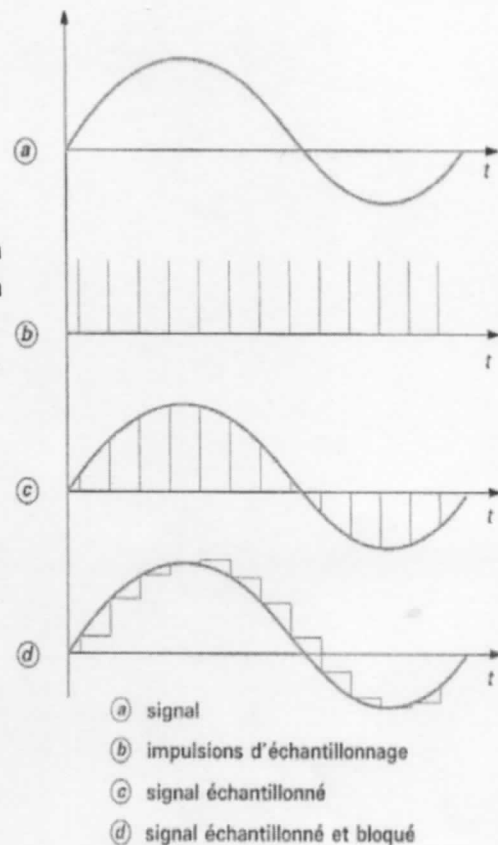
Cette valeur, sous sa forme analogique, est bloquée (fonction échantillonneur bloqueur) de façon à permettre la conversion numérique.

La période d'échantillonnage  $T_e$  est donc une caractéristique essentielle de ce type de convertisseur.

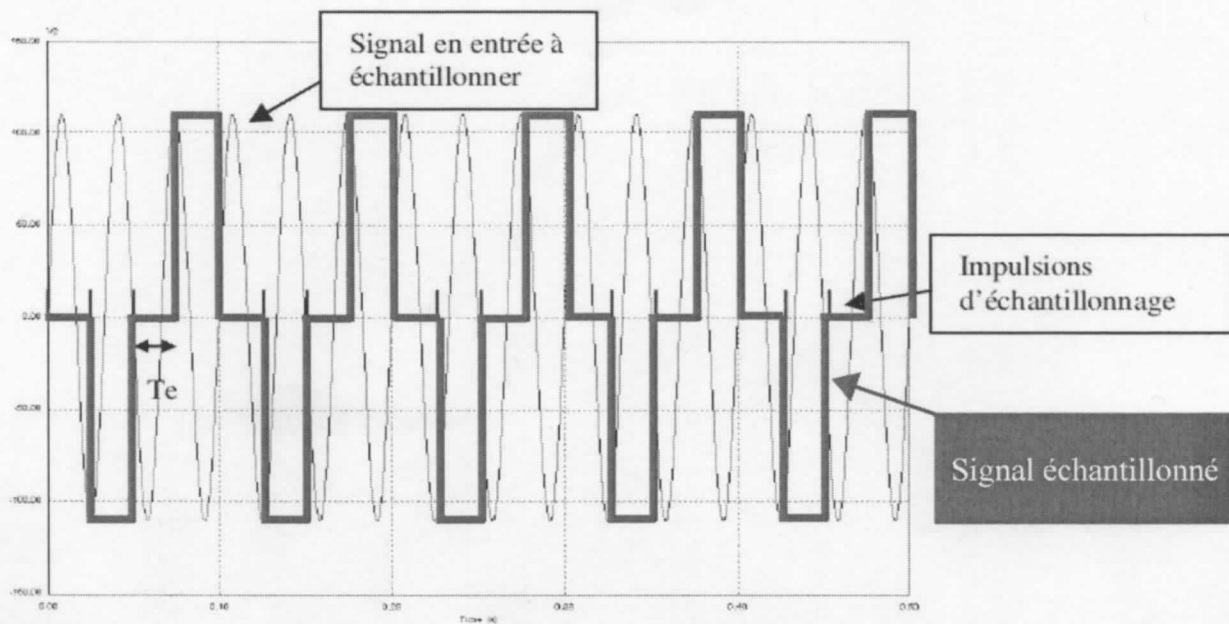
Pour montrer son importance nous allons envisager la situation suivante.

A partir du graphe ci-dessous, esquisser l'allure du signal échantillonné et bloqué et commenter l'allure de ce signal échantillonné sur sa fréquence apparente.

**Commentaire :**







On dit qu'il y a

On vient de montrer que pour échantillonner correctement un signal d'entrée de fréquence  $F$ , il faut que la fréquence d'échantillonnage  $F_e = 1 / T_e$  soit plus grande que  $F$ .

Dans la pratique, un coefficient

est retenu : il s'agit du théorème de

De plus, pour éviter d'échantillonner des signaux plus grands que  $F$ , on place avant le CAN un filtre passe-bas réglé à la fréquence maximum échantillonnable du signal d'entrée.

On l'appelle

### Exemples : Signaux auditifs

- Pour la transmission de la parole avec une intelligibilité suffisante (on comprend tous les mots), on estime qu'une bande passante de 160 Hz à 3 500 Hz est suffisante (*téléphonie*).
- Pour transmettre l'ensemble des signaux auditifs, y compris pour les personnes ayant l'ouïe la plus fine, on estime qu'une bande passante de 20 Hz à 20 kHz est suffisante (*disque CD*).

Si les signaux ayant la fréquence la plus élevée sont transmis, à plus forte raison, ceux de fréquence inférieure, décrits par plus d'échantillons, seront également transmis.

Déterminer le réglage du filtre anti-repliement et la fréquence d'échantillonnage pour ces deux exemples.