

ACQUISITION NUMERIQUE- CAN

I.	PRESENTATION - DEFINITIONS	4
A.	« SIGNAUX »	4
B.	NUMERISATION	4
C.	CHAINE NUMERIQUE.....	4
D.	RAPPEL SUR L'ECRITURE EN BASE N.....	5
1.	Base 10 – Ecriture décimale	5
2.	Base 2.....	5
3.	Base 16.....	6
E.	MOT BINAIRE ET TAILLE DU MOT	6
F.	L'OCTET	7
II.	NOTIONS D'ECHANTILLONNAGE ET DE CONVERSION.....	8
A.	PRINCIPE DE L'ECHANTILLONNEUR-BLOQUEUR	8
B.	LE CONVERTISSEUR	10
C.	PROPRIETES DU CONVERTISSEUR.....	11
III.	EXEMPLES ET APPLICATIONS DE LA NUMERISATION	12
A.	ELECTRONIQUE	12
B.	AUDIO	12
C.	IMAGE ET VIDEO	12

L'objectif de ce cours est de présenter rapidement et simplement l'acquisition numérique, dans le cadre des sciences physiques.

Après une « courte » présentation des généralités associées à la numérisation, et à la formation d'une chaîne numérique, on verra quelques exemples d'acquisition de données à l'aide de matériel didactique.

Question préliminaire : pourquoi faire du « numérique » ?

Extrait du BO :

Bulletin officiel spécial n°1 du 22 janvier 2019 : Tous les programmes

Enseignements de 1^{ère} :

STL : Programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire NOR : MENE1901645A
Annexe 4

Notions et contenus	Capacités exigibles
Instrument de mesure.	- Choisir un instrument de mesure adapté en fonction de ses caractéristiques (résolution, temps de réponse, étendue de mesure) et du cahier des charges.
Chaîne de mesure.	- Exploiter une notice utilisateur pour retrouver les caractéristiques d'un instrument de mesure. - Dans le cas d'une chaîne de mesure, identifier les différents blocs (capteur, conditionneur, convertisseur analogique numérique, calculateur, afficheur) à partir d'une documentation.
Convertisseur analogique numérique (CAN). Quantum, résolution.	- Différencier un signal analogique d'un signal numérique. - Définir et relier le quantum, la résolution (nombre de bits) et la tension pleine échelle d'un CAN. - Expliquer l'impact de la conversion sur la qualité de la mesure. Capacités expérimentales : ▪ Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de mesurer le quantum et la résolution d'un CAN. ▪ Utiliser un microcontrôleur pour afficher la valeur de la mesure. ▪ Adapter les paramètres (valeurs de résistances, facteur d'amplification) d'un conditionneur pour optimiser une mesure.

Lien :

http://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/86/6/spe645_annexe4_22-1_1063866.pdf

Programme d'enseignement scientifique de première générale, NOR : MENE1901573A :

4.3 - Le son, une information à coder

Le son, vibration de l'air, peut être enregistré sur un support informatique. Les techniques numériques ont mis en évidence un nouveau type de relations entre les sciences et les sons, le processus de numérisation dérivant lui-même de théories mathématiques et informatiques.

Savoirs	Savoir-faire
Pour numériser un son, on procède à la discrétisation du signal analogique sonore (échantillonnage et quantification). Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée et la quantification est fine, plus la numérisation est fidèle, mais plus la taille du fichier audio est grande. La reproduction fidèle du signal analogique nécessite une fréquence d'échantillonnage au moins double de celle du son.	Justifier le choix des paramètres de numérisation d'un son. Estimer la taille d'un fichier audio.

https://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/13/4/spe573_annexe_1063134.pdf

I. PRESENTATION - DEFINITIONS

A. « SIGNAUX »

On appelle « signal » une grandeur physique, qui est le plus souvent électrique, et qui peut être la sortie d'un capteur. Cela peut être une tension (V), un courant (I) ou une charge électrique (Q). Ce signal en sortie d'un capteur est l'image d'une autre grandeur physique variable. Prenons l'exemple d'un thermomètre numérique : la grandeur physique variable est la température et on relève en sortie du thermomètre une variation de tension décrivant les variations de température (cf. TP Capteurs). J'emploierai donc le terme « signal » pour évoquer une tension qui peut être variable dans le temps.

- Un signal **analogique** présente une variation continue dans le temps.
- Un signal **numérique** présente une variation « pas à pas » (discrète).
- Un signal **logique** ne peut prendre que deux valeurs (0/1, haut/bas, ouvert/fermé, noir/blanc....) : dans ce cas, on crée un « codage binaire »

B. NUMERISATION

Cf article de wikipédia¹ : « La numérisation est la conversion des informations d'un support (texte, image, audio, vidéo) ou d'un signal électrique en données numériques que des dispositifs informatiques ou d'électronique numérique pourront traiter. Les données numériques se définissent comme une suite de caractères et de nombres qui représentent des informations. On utilise parfois le terme anglais digitalisation (digit signifiant chiffre en anglais). »

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Num%C3%A9risation>

C. CHAÎNE NUMÉRIQUE

En entrée de la chaîne, on trouvera un capteur (on prendra pour exemple dans ce cours les capteurs optiques, de température et les capteurs audio, type microphone). En sortie de la chaîne on trouvera souvent un système d'affichage de la grandeur physique (température par exemple), associé éventuellement à un système d'enregistrement, de transmission, de traitement et mise en forme,etc.

¹ Contenu soumis à la licence CC-BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.fr>) Source : Article Numérisation de Wikipédia en français (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Num%C3%A9risation>).

D. RAPPEL SUR L'ECRITURE EN BASE N

Travailler en « mode numérique » entraîne obligatoirement une procédure de « traduction » puis d'écriture du signal analogique dans un « langage numérique ». Il est donc utile de revenir aux fondements de la numération et des modes d'écritures des nombres.

1. Base 10 – Ecriture décimale

Soit $[N]_{10}$, un nombre en base dix : $[N]_{10} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i (10)^i$ avec $a_i \in [0,9]$

On peut utiliser un tableau pour illustrer la représentation de N dans la base 10 et à chaque colonne est associée une puissance de 10 :

10^3 <i>Millier</i> $a_3 \in [0,9]$	10^2 <i>Centaines</i> $a_2 \in [0,9]$	10^1 <i>Dizaines</i> $a_1 \in [0,9]$	10^0 <i>Unités</i> $a_0 \in [0,9]$
0	0	0	6
0	1	7	7

On retrouve dans les deux exemples ci-dessus les valeurs 6 et 177 (on parlera d'adjectifs numéraux cardinaux ☺).

Remarque : Dans la base dix, les valeurs possibles pour chacun des coefficients a_i , associé à une puissance de 10, sont comprises entre 0 et 9.

Cependant, on peut aussi choisir d'écrire le nombre (N) dans une autre base.

2. Base 2

En base 2, on écrira le nombre (N) choisi au § précédent, et écrit en base 10, de la façon suivante : $[N]_2$ (Code Binaire Naturel).

$[N]_2 = \sum_{i=0}^{n-1} b_i (2)^i$ avec $b_i \in [0,1]$

On construit un nouveau tableau pour illustrer la représentation de N en base 2 et à chaque colonne est associée une puissance de 2 :

2^7 $b_7 \in [0,1]$	2^6 $b_6 \in [0,1]$	2^5 $b_5 \in [0,1]$	2^4 $b_4 \in [0,1]$	2^3 $b_3 \in [0,1]$	2^2 $b_2 \in [0,1]$	2^1 $b_1 \in [0,1]$	2^0 $b_0 \in [0,1]$
0	0	0	0	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0	0	1

Remarque : Dans cette base 2, les seules valeurs possibles pour chacun des coefficients b_i , associé à une puissance de 2, sont 0 ou 1.

Prenons l'exemple du nombre 110 en base 2 :

$$[110]_2 = 1.(2)^2 + 1.(2)^1 + 0.(2)^0 = 4 + 2 + 0 = [6]_{10} = 6.(10)^0$$

$$\begin{aligned}
 [10110001]_2 &= 1.(2)^7 + 0.(2)^6 + 1.(2)^5 + 1.(2)^4 + 0.(2)^3 + 0.(2)^2 + 0.(2)^1 + 1.(2)^0 \\
 &= 128 + 0 + 32 + 16 + 0 + 0 + 0 + 1 \\
 &= [177]_{10} = 1.(10)^2 + 7.(10)^1 + 7.(10)^0
 \end{aligned}$$

Pour nommer $[N]_2$, on utilise parfois l'expression mot binaire.

3. Base 16

Cette base fait appel au système « hexadécimal » :

En base 16, on écrira le nombre (N) choisi au §1 et écrit en base 10, de la façon suivante :

$$[N]_{16} = \sum_{i=0}^{n-1} c_i (16)^i \quad \text{avec} \quad c_i \in [(0,9);(A,F)]$$

16^3 $c_3 \in [0,F]$	16^2 $c_2 \in [0,F]$	16^1 $c_1 \in [0,F]$	16^0 $c_0 \in [0,F]$
0	0	0	6
0	0	B	1

Prenons l'exemple du §2, soit le nombre $[177]_{10}$, en base 10, et son équivalent en base 2, $[10110001]_2$. On écrira ce nombre en hexadécimal sous la forme : $[B1]_{16}$.

Remarque : pour trouver l'expression du nombre $[177]_{10}$ en base 16, « il suffit de » diviser 177 par 16 jusqu'à ce que le quotient soit inférieur à la valeur maxi que peut prendre c_i , à savoir 15, en écriture décimale ou F en écriture hexadécimale... Pour s'en convaincre on peut commencer par tester cette technique en base 10 : on divise 177 par 10 jusqu'à ce que le quotient soit inférieur à la valeur maxi que peut prendre a_i , à savoir 9 en écriture décimale.

Exercice : retrouver les expressions du nombre 117 en base 10 puis 16 puis 2.

E. MOT BINAIRE ET TAILLE DU MOT

L'écriture des valeurs numérique en base 2 est particulièrement simple et permet d'utiliser des « devices » qui présentent 2 états. Tout système à deux états permet donc de réaliser ou modéliser l'écriture d'un mot binaire. Exemples

0	Ouvert	$< V_{\text{seuil}}$	Saturé	Up
1	Fermé	$> V_{\text{seuil}}$	Bloqué	Down
Informatique	Interrupteur Electrique	Electronique classique	Transistor	Electronique de Spin

On peut donc associer à chaque colonne du tableau un composant (électronique) qui basculera d'un état à l'autre pour prendre les valeurs 0 ou 1.

Le nombre de composants que l'on pourra/choisira de juxtaposer définira la taille du mot binaire : on dit alors que les valeurs sont codées sur M bits

Nb de bit pour le codage	1	2	4	8	16	32	64
Nb de mots binaire accessibles	$2^1 = 2$	$2^2 = 4$	$2^4 = 16$	$2^8 = 256$	65 536		
$[M_{\text{max}}]_2$	[1]	[11]	[1111]	[11111111]			
Valeur max en base 10	1	3	15	255			

Comment trouver la valeur max (exprimé en base dix) :

- 1 bit → $[1] \times 2^0 = 1$ $= 2^1 - 1$
- 2 bit → $[1] \times 2^1 + [1] \times 2^0 = 3$ $= 2^2 - 1$
- 4 bit → $[1] \times 2^3 + [1] \times 2^2 + [1] \times 2^1 + [1] \times 2^0 = 15$ $= 2^4 - 1$
- 8 bit → $= 255 = 2^8 - 1$
- 16 bit → $= 65\,535 = 2^{16} - 1$
- 32 bit → $2^{32} - 1 \approx 4,3 \cdot 10^9$

Le codage le plus « populaire » est celui sur 8 bits, ce qui permet de disposer d'une gamme de 256 valeurs (ou mots numériques) possibles, allant de $[00000000]_2$ à $[11111111]_2$. Chaque mot numérique forme alors un octet. Ce codage est le standard utilisé en vidéo.

F. L'OCTET

L'octet est un regroupement (« multiplet ») de 8 bit. C'est également une unité de mesure en informatique, avec ses multiples (capacité des mémoires, vitesse de transmission)².

1 octet = $2^8 = 256$ valeurs possibles

1 kilo-octet binaire (kibiocet, noté Kio) = 2^{10} octets = 1 024 octet

On prendra ensuite les multiples de l'exposant 10 du 2^{10} pour décliner les capacités :

1 méga-octet binaire (mibiocet, noté Mio) = 2^{20} octets = 1 048 576 octet

1 giga-octet binaire (gibiocet, noté Gio) = 2^{30} octets = 1 073 741 824 octets

1 téra-octet binaire (tibiocet, noté Tio) = 2^{40} octets = 1 099 511 627 776 octets

1 péta-octet binaire (pébiocet, noté Pio) = 2^{50} octets = 1 125 899 906 842 624 octets

Cependant, les préfixes kilo, méga, giga, téra, etc. s'appliquent également à l'exposant 3 du 10^3 , employé dans l'ensemble des notations scientifiques (comme le Hz, kHz, Mhz, Ghz, Thz...)

Appliqué à l'informatique, cela donne :

1 kilooctet (ko) = 10^3 octets = 1 000 octets

1 mégaoctet (Mo) = 10^6 octets = 1 000 ko = 1 000 000 octets

1 gigaoctet (Go) = 10^9 octets = 1 000 Mo = 1 000 000 000 octets

1 téraoctet (To) = 10^{12} octets = 1 000 Go = 1 000 000 000 000 octets

1 pétaoctet (Po) = 10^{15} octets = 1 000 To = 1 000 000 000 000 000 octets

Il est parfois difficile de savoir précisément quel système de notation est utilisé.....

² Voir par exemple

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Octet>

On vient de voir que la conversion analogique numérique permet de « coder » des valeurs de tension (analogique) en des mots numériques. Cette technique offre donc la possibilité d'effectuer une représentation des tensions v (ou tout autre grandeur physique), sur un graphe, selon l'axe des Y, par exemple. On s'intéresse en général aux variations de v en fonction d'une autre variable, bien souvent le temps, mais cela peut aussi être une variable d'espace,... On obtient un graphe $y=f(x)$ ou dans notre exemple, $v=f(t)$

Nous traiterons dans un premier temps de l'évolution temporelle de la variable v .

II. NOTIONS D'ECHANTILLONNAGE ET DE CONVERSION

La conversion analogique-numérique est un processus électronique qui nécessite donc un temps δt , non nul, pour effectuer la prise de mesure et sa conversion.

Par ailleurs, à chaque valeur de tension v mesurée correspond un mot binaire qu'il va falloir « ordonner » (c'est le rôle de l'ordinateur) de façon à pouvoir reproduire correctement le signal. On aura donc à faire une prise de mesure à intervalle de temps régulier, δt , de telle façon que :

- Le signal numérisé soit une image correcte de l'évolution de la grandeur physique
- La quantité de données (mots binaires) à traiter reste « acceptable »

L'intervalle de mesure δt permet de définir une fréquence d'échantillonnage $f_e = \frac{1}{\delta t}$ qui sera un paramètre très important dans le processus de numérisation.

A. PRINCIPE DE L'ECHANTILLONNEUR-BLOQUEUR

Tout est dans le titre.

L'échantillonnage est l'opération qui consiste à faire des prises de mesure aux instants $t, t+\delta t, t+2\delta t, t+3\delta t, \dots$

Il est nécessaire de conserver la valeur de $v(t)$ constante sur tout le temps δt que dure l'opération de conversion : on utilise donc un système de bloqueur, l'exemple le plus simple étant un condensateur.

On voit sur le schéma (page suivante) les trois étapes précédant la conversion :

1. L'enregistrement analogique (avec un capteur).
2. L'échantillonnage
3. Le blocage

Sur le graphe analogique :

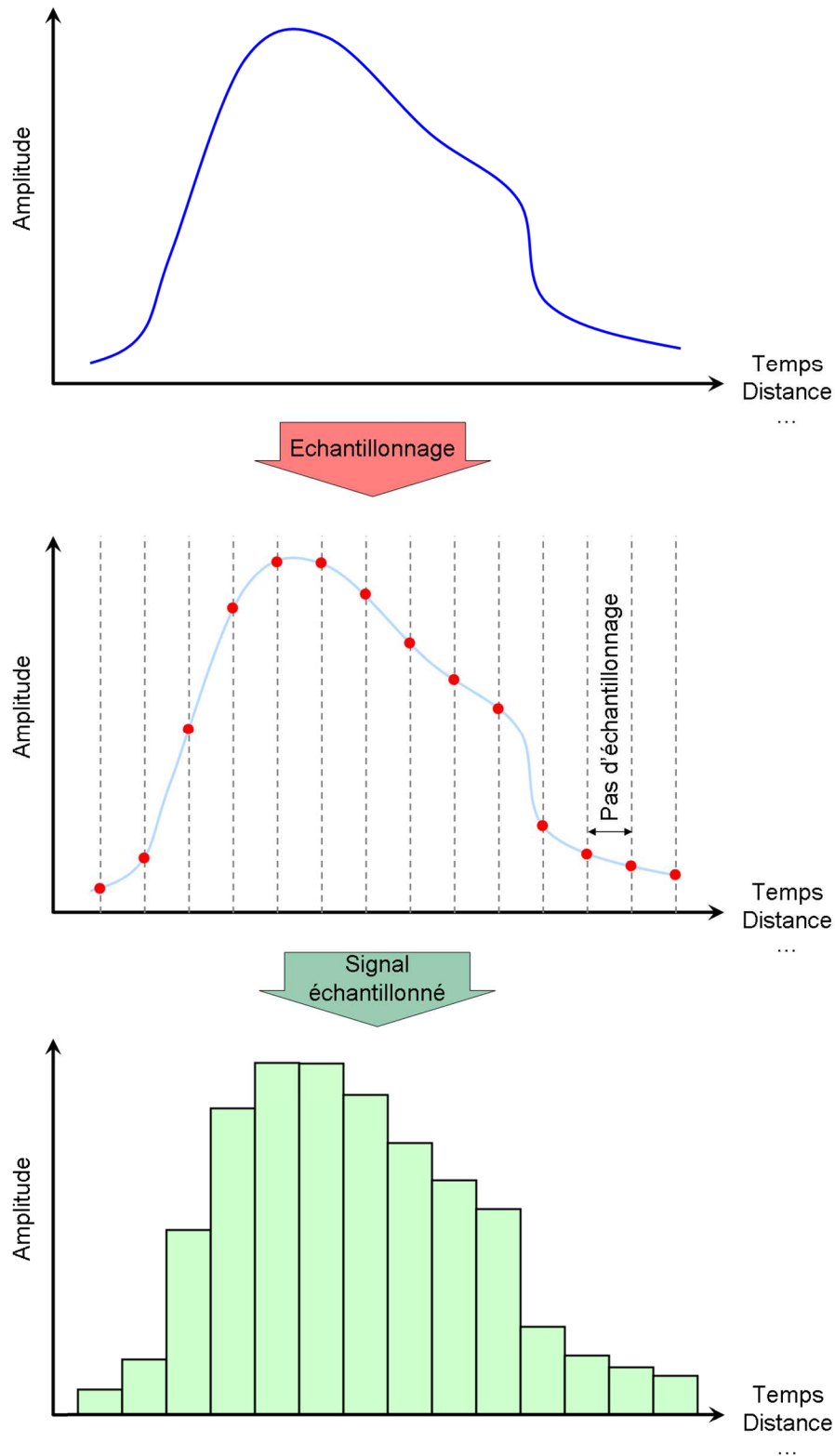
- on place la tension instantanée ($v(t)$) en ordonnée, le temps en abscisse.

Sur le graphe, après **échantillonnage** du signal analogique :

- on place le temps en abscisse : « pas » en temps, δt .
- on place la tension échantillonnée ($V^*(t_i)$) en ordonnée. A chaque valeur de V^* (en sortie de l'échantillonneur) correspondra un mot binaire $[N]_2$ (en sortie du convertisseur A/N).

Notations :

- $v(t)$ = tension instantanée et donc variable à chaque instant t
- $V^*(t_i)$ = tension échantillonnée, constante sur le temps δt , variable à chaque prise de mesure, à l'instant t_i .
-



Crédit image : <http://www.avex-asso.org/dossiers/wordpress/?p=157>

L'échantillonneur –bloqueur est donc défini par sa fréquence d'échantillonnage : $f_e = \frac{1}{\delta t}$

B. LE CONVERTISSEUR

Le Convertisseur Analogique Numérique (CAN ou ADC en anglais) a pour rôle de convertir (ou d'associer) les valeurs de tension $V^*(t_i)$, après échantillonnage, en mots numériques $[N]_2$. Si l'échantillonneur et le convertisseur sont sur un même composant, on dispose alors d'une simple (et unique) entrée analogique et de n sorties numériques ($n \in [0, (n-1)]$). On dit alors que l'on dispose de n « bits » en parallèle et le codage du mot binaire est réalisé sur n bits.

Sur la courbe analogique, l'écart entre deux valeurs de $v(t)$ peut être aussi faible que possible (avec une limite qui serait la charge de l'électron...). Par contre, la sortie numérique du convertisseur ne peut pas prendre de valeur inférieure à (b_0) (qui donne la valeur de tension la plus basse, non nulle, que peut prendre la sortie du CNA) : on appelle cette valeur le Quantum (Q). Pour des raisons de simplicité on considérera que son unité est le volt.

Si la courbe analogique $v(t)$ oscille entre les valeurs extrêmes V_{a-max} et V_{a-min} , on trouvera alors les mots numériques extrêmes :

- $[N^{max}]_2 = \text{Int} \left[\frac{V_{max}^*}{Q} \right]$
- $[N^{min}]_2 = \text{Int} \left[\frac{V_{min}^*}{Q} \right]$

On dispose donc d'une « gamme » de 2^n valeurs possibles pour les mots numériques $[N]_2$ associées aux valeurs $V^*(t_i)$ après échantillonnage.

La valeur (de tension) pleine échelle est donnée par : $(2^n - 1) * Q$ et notée FSR (Full Scale Range).

[voir courbes § IV –D, page 13]

Remarques :

- Si la valeur de Q est fixée, on voit que $\left\lceil \frac{V_{\max}^*}{Q} \right\rceil$ peut dépasser 2^n : il y a « saturation ».
- Si la valeur de Q est définie par l'expérimentateur on essaiera alors de s'assurer que
$$\left\lceil \frac{V_{\max}^*}{Q} \right\rceil \leq [N_{\max}]_2 = \sum_{i=0}^{n-1} 1 \cdot (2)^i$$
- On observe que plus n est grand, plus Q peut être petit : on améliore la résolution. Il faut par contre traiter un nombre de données plus important, ce qui augmente le « temps d'acquisition ».

Les CAN sont donc définis par le nombre de bit sur lequel on va pouvoir coder.

Nb de bit pour le codage	1	2	4	8	16	32	64
Nb de mots binaire accessibles	$2^1 = 2$	$2^2 = 4$	16	256	65 536		
$[N_{\max}]_2$	[1]	[11]	[1111]	[11111111]			
Valeur max en base 10	1	3	15	255			

Comment trouver la valeur max en base dix :

- 1 bit → $[1] \times 2^0 = 1$
- 2 bit → $[1] \times 2^1 + [1] \times 2^0 = 3$ $= 2^2 - 1$
- 4 bit → $[1] \times 2^3 + [1] \times 2^2 + [1] \times 2^1 + [1] \times 2^0 = 15$ $= 2^4 - 1$
- 8 bit → $= 256 = 2^8 - 1$
- 16 bit → $= 65\,536 = 2^{16} - 1$
- 32 bit → $2^{32} - 1 \approx 4,3 \cdot 10^9$

C. PROPRIETES DU CONVERTISSEUR

On voit que pour avoir une grande finesse de reproduction de la courbe analogique, on aura intérêt à choisir un **convertisseur 16 ou 32 bits**, qui donnera un « quantum » très faible sur l'axe des ordonnées, et donc une bonne représentation des tensions. Le « pas » en temps est lui défini par la **fréquence d'échantillonnage** : plus elle sera grande, plus le pas δt sera faible. On aura alors une « bonne » représentation de l'évolution temporelle du signal. Mais vouloir améliorer la résolution en tension et en période d'échantillonnage a pour conséquence d'augmenter le volume de données et donc le temps de leur traitement. Sans parler du coût des composants....

Remarque : le plus souvent les deux éléments (échantillonneur-bloqueur et convertisseur) sont intégrés dans le même composant qui prend le nom de CAN (ou ADC).

III. EXEMPLES ET APPLICATIONS DE LA NUMERISATION

On retrouve un grand nombre d'utilisation de la numérisation dans trois domaines : l'électronique, l'audio et l'image.

A. ELECTRONIQUE

- Machines à commande numériques et autres calculateurs embarqués (satellites, avions, voitures,...etc)
- Téléphonie mobile et IP
- Internet...
- GPS

B. AUDIO

- Téléphonie
- Prise de son
- Lecteur CD audio
- Lecteurs mp3 et autres baladeurs numériques
- Radio Numérique Terrestre
- ...

C. IMAGE ET VIDEO

- Télévision Numérique Terrestre
- Appareil Photo Numérique et caméra vidéo ou thermique.
- Webcam / Flexcam
- Souris optique
- Ecran LED et O-LED, LCD et écran Plasma (en voie d'extinction)
- Scanner, Imprimantes et photocopieurs
-