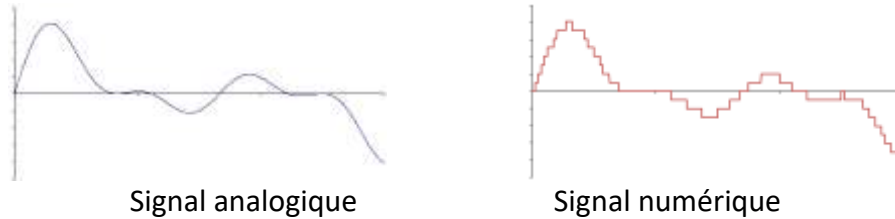


I. Principe de la numérisation :

- Signal analogique, signal numérique :

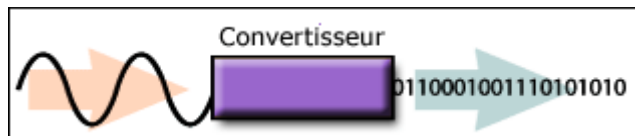
Un signal *analogique* est un **signal continu d'informations**.

Pour numériser un signal, il faut **discrétiser les informations**, c'est-à-dire découper le signal continu formé d'une infinité de valeurs en **une série limitée de valeurs individuelles** (valeurs « discrètes »)



Les valeurs discrètes sont ensuite traduites en binaire, c'est-à-dire en ensemble de 0 ou de 1.

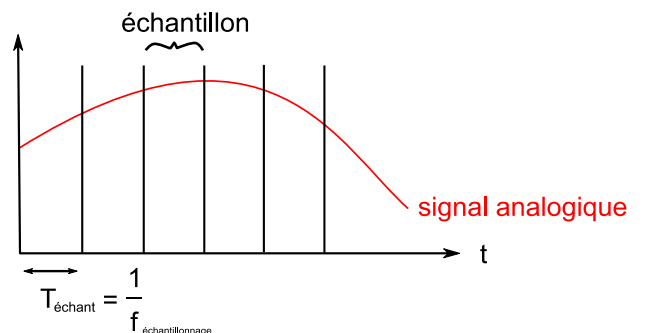
- La numérisation est faite par un **convertisseur analogique-numérique** :



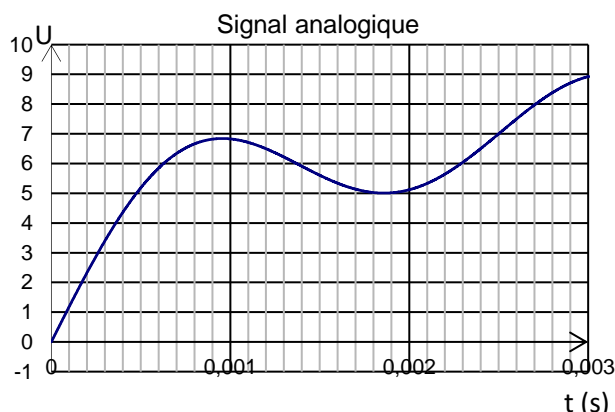
- La numérisation est d'autant meilleure que le signal numérique se rapproche du signal analogique initial. Pour cela on peut agir sur deux paramètres :
  - La fréquence d'échantillonnage : séquence de découpage temporelle
  - La quantification : séquence de découpage de l'amplitude

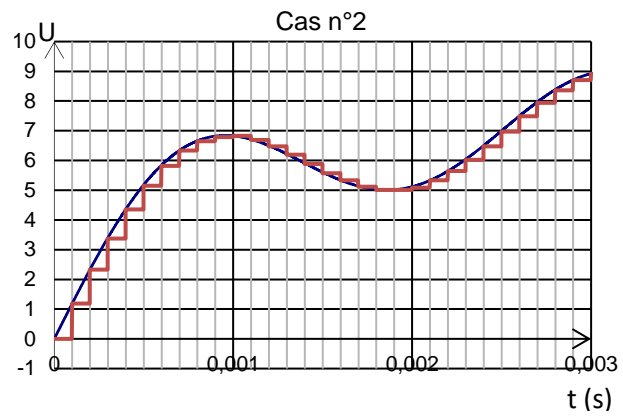
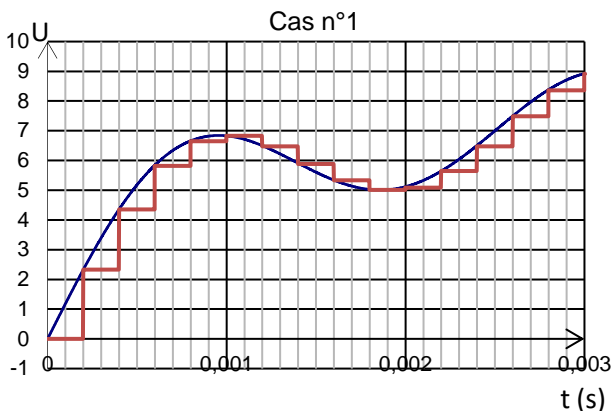
II. Fréquence d'échantillonnage :

- Pour numériser un signal, il faut le découper en échantillons (« samples » en anglais) de durée égale  $T_e$  appelée période d'échantillonnage.
- La fréquence d'échantillonnage correspond au nombre de mesures réalisées par seconde :  $F_e = \frac{1}{T_e}$



Déterminer les périodes et les fréquences d'échantillonnage du signal ci-dessous dans les deux cas envisagés :





$$T_{e1} = \frac{0.001}{10} \times 2 = 0.00020 \text{ s}$$

$$F_{e1} = \frac{1}{0.0002} = 5000 \text{ Hz} = 5 \text{ kHz}$$

$$T_{e2} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$F_{e2} = 10 \text{ kHz}$$

Conclure quant à la relation entre la fidélité du signal numérique et la fréquence d'échantillonnage :

Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée, plus le signal numérique est fidèle au signal analogique.

- Théorème de Shannon : pour numériser « convenablement » un signal, il faut que la fréquence d'échantillonnage soit **au moins** deux fois supérieure à la fréquence du signal à numériser.

- Expliquer pourquoi les sons des CD sont échantillonnés à 44,1 kHz.

Le son le plus aigu perceptible par l'oreille humaine est de 20 kHz.

Pour le numériser, il faut d'après le théorème :  $2 \times 20 = 40 \text{ kHz}$   
44,1 kHz est donc bien suffisant pour une très bonne qualité sonore.

- La voix humaine est comprise dans une bande de fréquence comprise entre 100 et 3400 Hz. Quelle fréquence d'échantillonnage doit-on choisir pour la téléphonie ?

6,8 kHz suffisent pour échantillonner la voix humaines.

### III. La quantification :

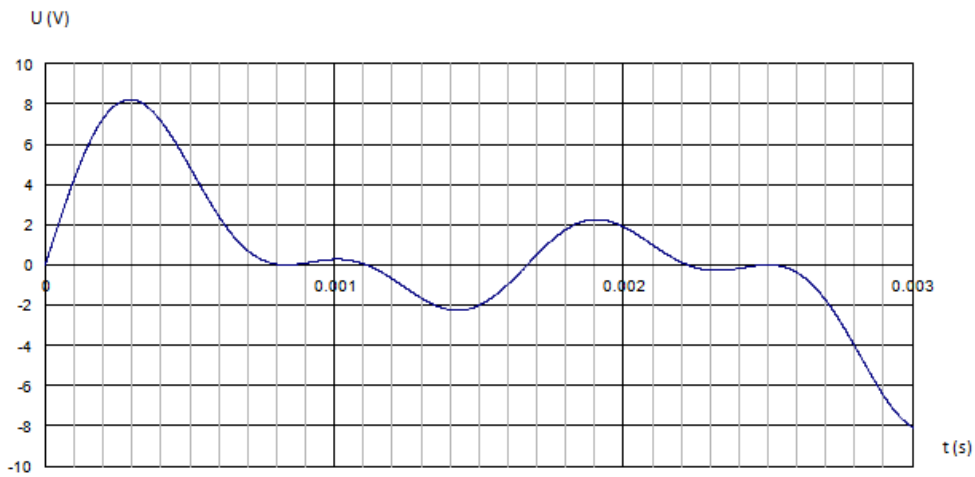
- Lors de la numérisation, il faut également discrétiser les valeurs de l'amplitude du signal. On définit le pas en tension électrique  $p$  d'un convertisseur analogique-numérique comme la plus petite variation de tension que le convertisseur peut coder.

Le nombre d'échelons discrets est alors :  $N = \frac{\Delta U}{p}$

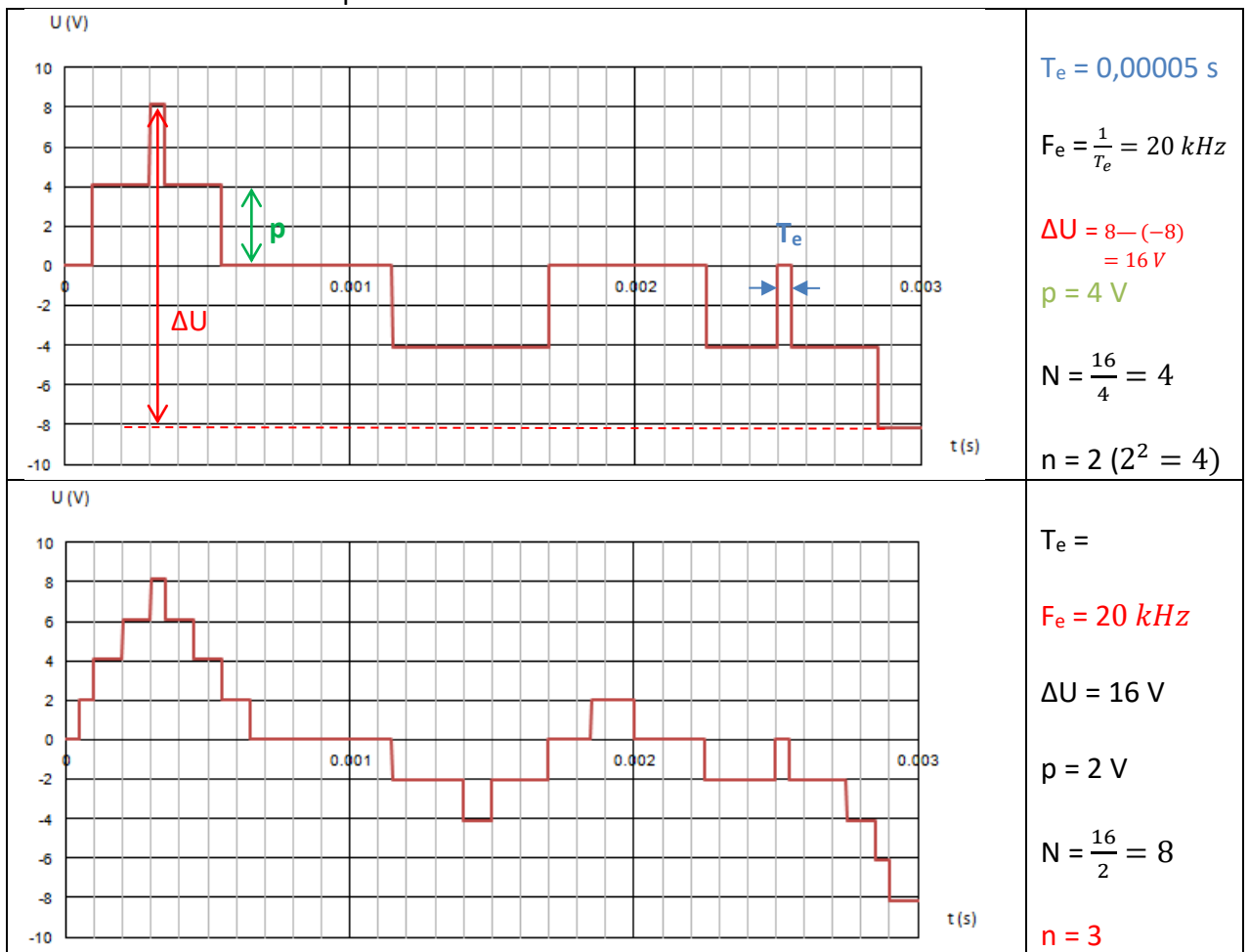
- Le niveau de quantification ou « quantification » correspond au nombre de bits  $n$  utilisés pour créer la discrétisation de l'amplitude du signal.

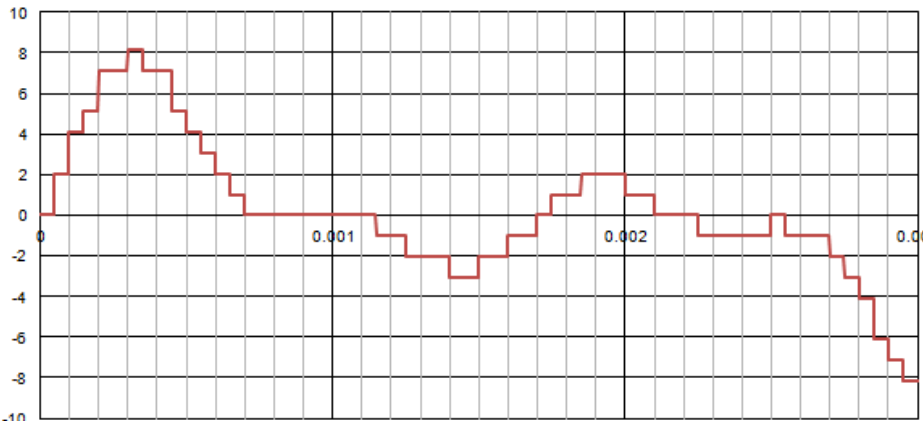
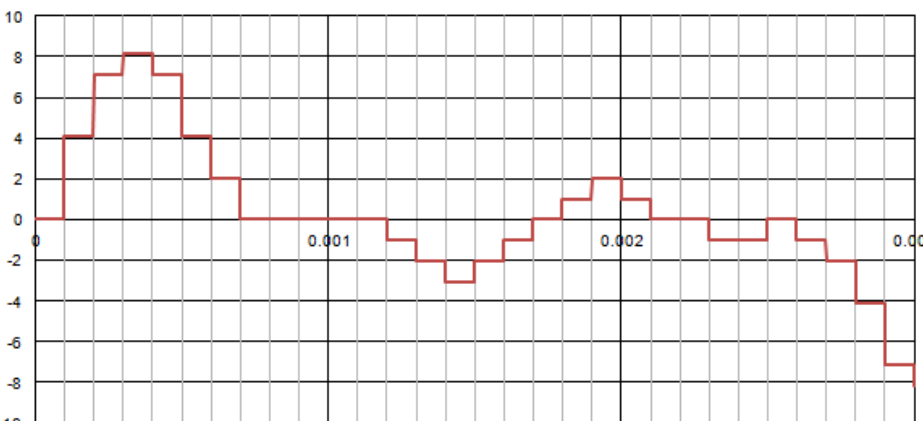
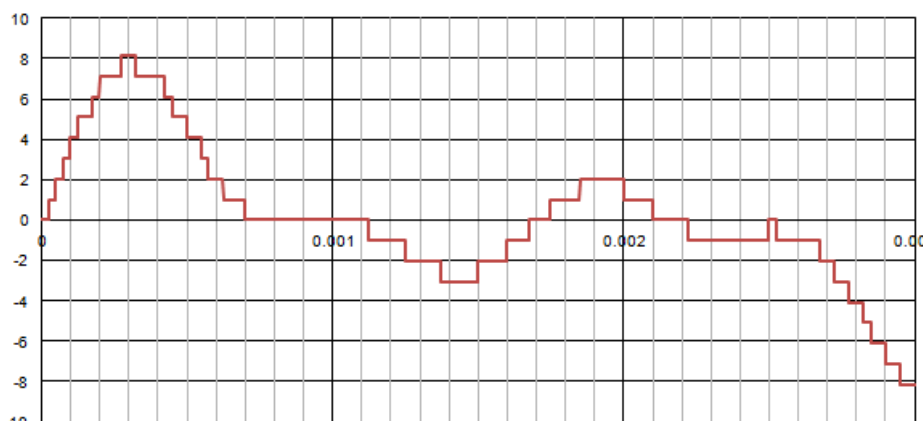
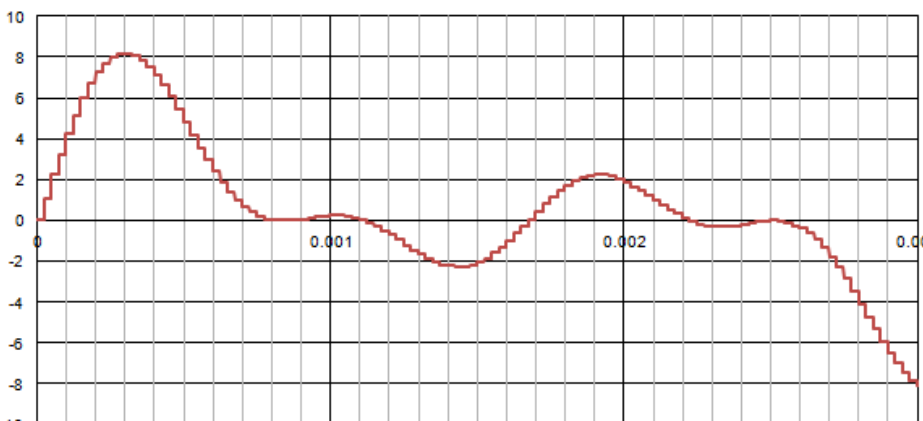
Il est relié au nombre d'échelons discrets par :  $2^n = N$

- Exemple :  
On s'intéresse à un signal analogique suivant :



Ce signal a été échantillonné avec différentes fréquences d'échantillonnage et niveaux de quantifications. Pour échantillonnage, déterminer la fréquence d'échantillonnage  $F_e$ , le pas  $p$  du convertisseur et le niveau de quantification  $n$ .



	<p><math>T_e =</math></p> <p><math>F_e = 20 \text{ kHz}</math></p> <p><math>\Delta U = 16 \text{ V}</math></p> <p><math>p = 1 \text{ V}</math></p> <p><math>N = 16</math></p> <p><math>n = 4</math></p>
	<p><math>T_e = 0,0001 \text{ s}</math></p> <p><math>F_e = 10 \text{ kHz}</math></p> <p><math>\Delta U = 16</math></p> <p><math>p = 1</math></p> <p><math>N = 16</math></p> <p><math>n = 4</math></p>
	<p><math>T_e = \frac{0.0001}{4} = 0.000025 \text{ s}</math></p> <p><math>F_e = 40 \text{ kHz}</math></p> <p><math>\Delta U = 16 \text{ V}</math></p> <p><math>p = 1 \text{ V}</math></p> <p><math>N = 16</math></p> <p><math>n = 4</math></p>
	<p><math>T_e =</math></p> <p><math>F_e = 40 \text{ kHz}</math></p> <p><math>\Delta U = 16</math></p> <p><math>p = 0,0625 \text{ V}</math></p> <p><math>N = \frac{16}{0,0625} = 256</math></p> <p><math>n = 8</math></p>

Conclusion :

Conclure quant à la relation entre la fidélité du signal numérique et la quantification du convertisseur

**Plus la quantification est élevée, plus le signal est fidèle !**

Quelques ordres de grandeurs :

Type de support de sons	Quantification choisie
CD audio	16 bits
DVD	24 bits
Téléphonie	8 bits
Radio numérique	8 bits

▪ Exercices :

1. Calculer le nombre le de niveaux discrets dont on dispose pour décrire l'amplitude en 24 bits. Idem en 4 bits.

$$2^{24} = 17 \text{ millions de niveaux discrets}$$
$$2^4 = 16 \text{ niveaux}$$

2. Lequel permettra de bien distinguer un son intense d'un son moins intense ?  
24 bits
3. On suppose qu'un convertisseur analogique-numérique 16bits fonctionne avec une tension maximale  $\Delta U = U_{\max} = 10 \text{ V}$ . Calculer le pas en tension de ce convertisseur.

$$p = \frac{10}{2^{16}} = 1,53 \times 10^{-4} \text{ V}$$

#### IV. Poids d'un enregistrement audio :

Le poids d'un enregistrement audio est le nombre d'octet nécessaires au codage de l'enregistrement. On cherche à déterminer le poids d'un morceau de musique d'une durée de  $\Delta t = 3 \text{ min}$  enregistrée avec le convertisseur suivant :

Fréquence d'échantillonnage :  $F_e = 44,1 \text{ kHz}$

Quantification :  $n = 16 \text{ bits}$

Enregistrement stéréo : signifie qu'il y a 2 voies d'enregistrement.

- a. Combien de mesures sont réalisées par le convertisseur chaque seconde pour la numérisation ?

$$\text{Nombre de mesures} = 2 \times \frac{1}{T_e} = 2 \times F_e = 2 \times 44,1 = 88,2 \times 10^3 \text{ mesures/s}$$

- b. Combien de mesures sont réalisées chaque minute ?

$$N' = 5,292 \times 10^6 \text{ mesures/min}$$

- c. Combien de mesures sont réalisées pour le morceau entier ?

$$N_{\text{tot}} = 1,5876 \times 10^7 \text{ mesures}$$

- d. Combien d'octets sont utilisés pour réaliser chaque mesure ?

*chaque mesure utilise 2 octets !*

e. Combien d'octets sont utilisés pour la conversion du morceau entier ?

$$N_{tot} = 3,18 \times 10^7 o = 30,3 Mio$$

Rappel :  $1kio = 2^{10} o$  et  $1Mio = 2^{10} kio$  donc  $1Mio = 2^{10} \times 2^{10} o = 2^{20} o$

$$N_{tto} = 3,18 \times \frac{10^7}{2^{20}} = 30,3 Mio$$

$$N_{tot} = \frac{2 \times F_e \times \Delta t \times n}{8} \text{ en octets} \quad \text{où } \Delta t \text{ s'exprime en seconde pour enregistrement stéréo}$$

Même question pour le son d'un film d'une durée de 110 minutes sur DVD dont les caractéristiques d'enregistrement sont précisées ici : (48 kHz et 24 bits, stéréo)