

**Objectifs**

- Comprendre la différence analogique/numérique
- Comprendre que la qualité d'une numérisation dépend d'un certain nombre de paramètres
- Reconnaître des signaux de nature analogique et des signaux de nature numérique

**Matériel et logiciel nécessaires aux manipulations :**

- Logiciel Regressi (<http://regressi.fr/WordPress/download/>) + [Notice Regressi](#) (A. Bougaud)
- Casques audio + Micro relié à l'ordinateur
- Logiciel Audacity (<https://www.audacityteam.org/download/>) + [Notice Audacity](#) (A. Bougaud)
- Son du TP sur Moodle : **piano\_44kHz\_16bits.wav**

**I. Signal analogique, signal numérique**

- Un signal analogique est un ensemble **continu** d'informations (Exemple : capteurs de température, son, ...)
- Un signal binaire est ensemble discret (c'est-à-dire discontinu) d'informations.
- Les ordinateurs ne traitant que des données binaires (0 ou 1), pour numériser un signal, il faut **discrétiser** les informations : on parle de **numérisation**.
- Ces informations 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* :

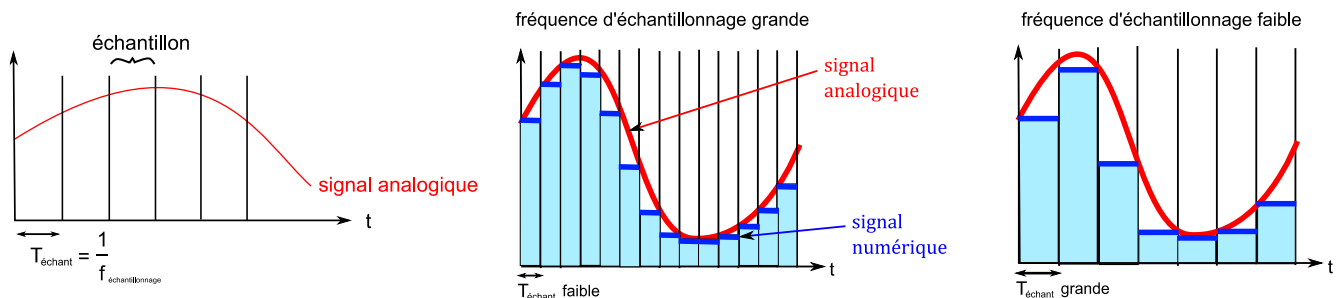
**1.1. Classer les signaux décrits ou représentés ci-dessous en « analogique » ou « numériques ».**

<p><b>A</b> </p>	<p><b>B</b> </p>	<p><b>C</b> Evolution de la température au cours d'une journée</p>	<p><b>D</b> Affichage toutes les heures des températures</p>	<p><b>E</b> Film diffusé en streaming sur internet</p>
<p><b>F</b> Son émis par un haut-parleur relié à un lecteur CD (via un amplificateur)</p>	<p><b>G</b> Film enregistré par un magnétoscope sur cassette VHS</p>	<p><b>H</b> </p>		

- La numérisation est d'autant meilleure que le signal numérique se rapproche du signal analogique initial.
- Pour cela, plusieurs paramètres ont leur importance, en particulier la fréquence d'échantillonnage et la quantification.

**II. La fréquence d'échantillonnage****1. Généralités**

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

**1.1. Compléter en barrant un des deux adjectifs entre les crochets :**

Plus la fréquence d'échantillonnage sera grande, plus la période d'échantillonnage sera [*grande / petite*], plus le nombre d'échantillons sera [*grand / petit*], plus le signal numérique sera [*proche/éloigné*] du signal analogique et donc [*meilleure/moins bonne*] sera la numérisation :

## 2. Approche expérimentale

- Nous allons simuler l'acquisition d'un son à l'aide du générateur basse fréquence GBF par une carte d'acquisition type Orphylab présente au lycée.
- Le GBF délivre un signal électrique analogique (signal continu au sens mathématique du terme)
- Ce signal sera sinusoïdal, de fréquence  $f = 500$  Hz et de tension maximale  $U_{\max} = 2$  V

2.1. Déterminer la période  $T$  du signal de fréquence  $f = 500$  Hz.

2.2. En déduire le nombre  $N$  de périodes pour une durée  $\Delta t = 0,010$  s.

- Ouvrir le logiciel Regressi. Faire Fichier Nouveau **Simulation**.

- La durée d'acquisition est  $\Delta t = 0,010$  s. Le nombre de points d'acquisition est initialement  $N = 20$ .

La tension  $u$  varie au cours du temps suivant la tension maximale  $U_{\max}$  l'expression :  $u = 2 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 500 \cdot t)$   
où 2 la valeur de tension maximale  $U_{\max}$  et 500 est la fréquence  $f$  (en Hz) du signal analogique.

- Régler les bonnes valeurs pour la durée d'acquisition et le nombre de points d'acquisition  $N$ . Les autres valeurs se modifient automatiquement. Vous devriez observer la figure ci-dessous après avoir cliqué sur Mise à jour.

➤ 1<sup>er</sup> cas : faible fréquence d'échantillonnage

2.3. Décrire la courbe obtenue correspondant à la fréquence d'échantillonnage soit  $F_E = 2$  kHz. Que pouvez-vous en conclure ?

➤ 2<sup>nd</sup> cas : grande fréquence d'échantillonnage

2.4. Décrire la courbe obtenue correspondant à la fréquence d'échantillonnage soit  $F_E = 20$  kHz. Que pouvez-vous en conclure ?

### ➤ 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.

2.5. En se remémorant le domaine de fréquence audible par l'homme, expliquer pourquoi les sons des CD sont échantillonnés à 44,1 kHz.

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

## 3. Influence de la fréquence d'échantillonnage sur les hautes fréquences du signal analogique

- A l'aide du logiciel Audacity (voir notice ci-jointe)
  - Enregistrer un son à l'aide du logiciel et d'un micro en 44kHz et 16 bits. L'enregistrer dans votre dossier personnel sous le nom : « **44.wav** »
  - Ré-échantillonner le son à l'aide du logiciel en 8kHz. L'enregistrer sous le nom : « **8.wav** »

3.1. Écouter ces deux sons en passant. Conclure.

3.2. Ré-échantillonner le son « **8.wav** » en son 48 kHz. L'enregistrer en « **8vers48.wav** ». L'écouter. Le son est-il meilleur maintenant ?

## 4. Exercice

- Un son aigu a une fréquence de 10 kHz. Un son grave a une fréquence de 100 Hz

4.1. Calculer les périodes de ces deux sons.

4.2. Si la fréquence d'échantillonnage choisie pour numériser ces sons est de 1 kHz, calculer la durée des échantillons.

4.3. Conclure : Si l'on réduit la fréquence d'échantillonnage, quel type de son est alors mal numérisé ?

## 5. Conclusion

5.1. Deux idées à retenir sur le choix de la fréquence d'échantillonnage :

- Il faut choisir  $F_E$  de manière .....
- Une fréquence  $F_E$  trop faible enlève l'information portant sur .....

• Ordres de grandeurs

Type de support de sons	$F_E$ choisie	Type de support de sons	$F_E$ choisie
CD audio	44,1 kHz	Téléphonie	8 kHz
DVD	48 kHz	Radio numérique	22,5 kHz

### III. La quantification

#### 1. Présentation de la quantification

- Lors de la numérisation, il faut également discrétiser les **valeurs de l'amplitude du signal**. La quantification consiste, pour chaque échantillon, à lui associer **une** valeur d'amplitude.
- Cette valeur de l'amplitude s'exprime en « bit » et l'action de transformer la valeur numérique de l'amplitude en valeur binaire s'appelle le **codage**.

#### 2. Qu'est-ce qu'un bit ?

- Un « bit » (de l'anglais *binary digit*) est un chiffre binaire égal à **0** ou **1**.
- Avec **2** bits, on peut écrire : **00**, **01**, **10** et **11** soit **4** valeurs.

2.1. Quels sont les nombres binaires écrits avec 3 bits ? combien de valeurs peut-on écrire avec 3 bits ?

2.2. Avec **4** bits, combien de valeurs peut-on écrire ? .....

2.3. Avec **n** bits, combien de valeurs peut-on écrire ? .....

➤ Conversion d'un nombre binaire en nombre décimal

2.4. Que vaut l'octet (ensemble de 8 bits) **10110010** en décimal ? Compléter le tableau ci-dessous.

	$2^7$ = <b>128</b>	$2^6$ = <b>64</b>	$2^5$ = <b>32</b>	$2^4$ = <b>16</b>	$2^3$ = <b>8</b>	$2^2$ = <b>4</b>	$2^1$ = <b>2</b>	$2^0$ = <b>1</b>
<b>Octet =</b>								
<b>somme de:</b>								
<b><math>(10110010)_2 = (\dots\dots\dots)_{10}</math></b>								

#### 3. Exemples d'écriture binaire

3.1. Écrire la valeur décimale de l'octet 01001101.

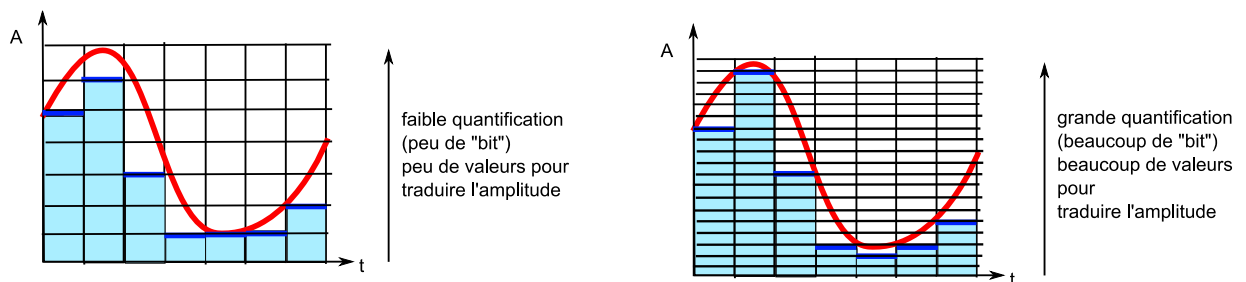
3.2. Écrire, en binaire, la valeur maximale que peut prendre une grandeur codée sur 4 bits puis calculer sa valeur en décimal.

3.3. Écrire l'octet correspondant au nombre 15. Même question pour le 16. Peut-on « coder » 16 sur 4 bits ?

#### 4. Exemples de quantifications

4.1. Avec une quantification de 16 bits (soit une séquence binaire de 16 zéros ou un), de combien de valeurs dispose-t-on pour traduire l'amplitude du signal dans chaque échantillon ?

4.2. Même question avec une quantification de 8 bits (soit une séquence binaire de 8 zéros ou un).



4.3. Compléter en barrant un des deux adjectifs entre les crochets :

Lors de la quantification, plus le codage s'effectue avec un nombre important de bits, plus l'amplitude du signal numérique sera [*proche/éloignée*] de celle du signal analogique et donc [*meilleure/moins bonne*] sera la numérisation.

• Ordres de grandeurs

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

## 5. Exercice

5.1. Calculer le nombre de « paliers » dont on dispose pour décrire l'amplitude en 24 bits. Idem en 4 bits.

5.2. Lequel permettra de bien distinguer un son intense d'un son moins intense ?

## 6. Influence de la quantification sur la qualité d'un son

- Les fichiers se trouvent dans le répertoire **Physique\_Chimie** de la classe, sous répertoire Sons.
  - Ouvrir Audacity et le fichier : **piano\_44kHz\_16bits.wav**
  - Modifier la quantification du fichier audio en 8 bits. L'enregistrer en **piano\_44kHz\_8bits.wav**
  - Fermer Audacity.
  - Ouvrir et écouter le fichier audio suivant : **piano\_44kHz\_16bits.wav**
  - Ouvrir et écouter maintenant le fichier : **piano\_44kHz\_8bits.wav**
- 6.1. Que remarque-t-on lorsque l'on réduit la quantification ?

## IV. Choix des critères de numérisation

- Voir l'animation : [Résumé numérisation](#)
  - En résumé, L'échantillonnage consiste à prélever périodiquement des échantillons d'un signal analogique. La quantification consiste à affecter une valeur numérique à chaque échantillon prélevé. Plus la fréquence d'échantillonnage et la quantification sont grandes, meilleure sera la numérisation.
- 1.1. Alors pourquoi se restreindre au niveau de ces valeurs ?
- Piste de réflexion et information :  
Le **nombre N d'octets par seconde** (ensemble de 8 bits) nécessaires pour « décrire » numériquement le son est : 
$$N = F \times \left(\frac{Q}{8}\right) \times n$$
 avec F fréquence échantillonnage en Hz ; Q : quantification en bits ; n : nombre de voies (si le son est stéréo, n= 2 ; en mono : n = 1) ; N s'exprime en octets.

## 2. Exemples

- 2.1. Calculer la taille occupée, en octets puis Mo, d'une minute du son d'un CD audio (44,1 kHz et 16 bits, stéréo).
- 2.2. Même question pour le son d'un film encodé au format « ac3 » sur un DVD (48 kHz et 24 bits, stéréo).
- 2.3. Un réseau informatique domestique de mauvaise qualité possède un débit binaire (nombre d'octets pouvant circuler sur le réseau par seconde) de 230 ko/s. Le son du CD pourra-t-il être transmis sur ce réseau ? Et celui du DVD ?

## 3. Exercice bilan

- Une personne mal attentionnée télécharge sur un forum une chanson de 3 minutes au format mp3.
  - La chanson a été numérisée par un pirate à 16 kHz et 8 bits mono.
  - La personne, voulant une qualité « DVD » pour la chanson, modifie le fichier et le transforme en 48 kHz et 24 bits stéréo.
- 3.1. Calculer le poids en octet de la chanson avant transformation.
- 3.2. Même question après transformation.
- 3.3. Décrire la sensation auditive que l'on éprouve en écoutant le fichier téléchargé avant transformation.
- 3.4. La qualité de la chanson a-t-elle été améliorée par la transformation ?
- 3.5. Comment la personne peut-elle améliorer la qualité du fichier téléchargé ?
- Remarque intéressante  
➤ Traditionnellement, en informatique, 1 ko n'est pas 1000 octets mais 1024 octets (= 2<sup>10</sup>). De même, 1 Mo n'est pas 10<sup>3</sup> ko mais 1024 ko !! Conserver en tête que 1 kilo ≈ 10<sup>3</sup> et 1 méga ≈ 10<sup>6</sup>.

## V. Expliquer le fonctionnement d'un Convertisseur Analogique Numérique (CAN) 3 bits ?

- Visualiser l'animation [CANflash](#) (Y. Morel) et expliquer, en 10 lignes environ, le principe de fonctionnement de ce CAN.

Amplificateur opérationnel en mode comparateur de tensions	Porte logique OU exclusif	Porte logique OU
