



Echantillonnage

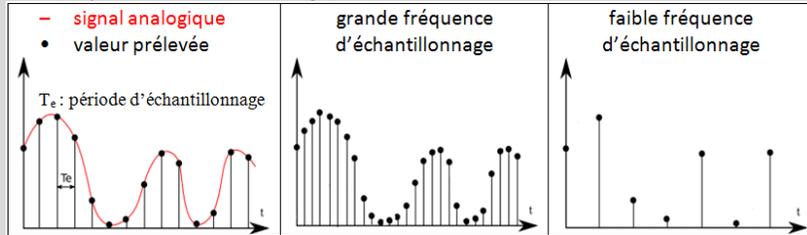
But : Comprendre le principe d'échantillonnage pour la numérisation d'un son – Constaté l'influence de la fréquence d'échantillonnage sur la numérisation – maîtriser les grandeurs de fréquence et période d'échantillonnage – Faire une mesure à partir d'un signal numérisé.

Compétences : APP – REA – VAL

L'objectif de la numérisation est de transformer le signal analogique qui contient une quantité infinie d'amplitudes en un signal numérique contenant lui une quantité finie de valeurs. Le passage de l'analogique au numérique consiste en 2 étapes successives : l'échantillonnage et la conversion analogique-numérique (CAN). L'étude de l'activité « Qualité et compression d'un son » a montré que pour la qualité d'écoute et la taille des fichiers numériques de sons dépend de la fréquence d'échantillonnage.

Principe

L'échantillonnage consiste à "découper" le signal analogique initial en prélevant des valeurs à intervalle de temps réguliers (T_e période d'échantillonnage).



Rappel : Fréquence et période sont deux grandeurs inverses, donc la fréquence (en Hz) et la période d'échantillonnage (en s) sont liées par :

$$f_e = \frac{1}{T_e}$$

1. Influence de la fréquence d'échantillonnage

Utiliser l'animation n°1 : <http://bertrand.kieffer.pagesperso-orange.fr/Animations/Echantillonnage.htm> (Source : G. Ferrant)

Déplacer le curseur *Transparence* vers la gauche pour que la courbe rouge soit juste visible.

Ne pas déplacer le curseur *phase*.

Cliquer sur le bouton **ECHANTILLONNER** puis déplacer le curseur **F échantillonnage** pour observer les variations obtenues. Cliquer sur le bouton **NUMERISER** pour observer les échantillons obtenus.

- 1.1.1. Pour quelles valeurs de f_e et T_e , l'ensemble des points obtenus permettrait-il de tracer une sinusoïde ?
 - f_e [faibles/élevées]
 - T_e [petites/grandes]
- 1.1.2. La qualité de la numérisation est d'autant plus grande que le nombre d'échantillons est :
 - [petit/élevé]

Utiliser l'animation n°2 : http://www.ostralo.net/3_animations/swf/echantillonnage.swf (Source : A. Wilm)

Pour un signal analogique généré de fréquence 200 Hz (courbe rouge), choisir une fréquence d'échantillonnage de 150 Hz (courbe verte),

1.1.3. L'échantillonnage permet de tracer un signal

- périodique
- sinusoïdal
- de même période que le signal généré

choisir une fréquence d'échantillonnage de 220 Hz (courbe verte),

1.1.4. L'échantillonnage permet de tracer un signal

- périodique
- sinusoïdal
- de même période que le signal généré

choisir une fréquence d'échantillonnage de 350 Hz (courbe verte),

1.1.5. L'échantillonnage permet de tracer un signal

- périodique
- sinusoïdal
- de même période que le signal généré

trouver la première fréquence d'échantillonnage qui permet d'obtenir un signal qui périodique de même période que le signal généré.

1.1.6. Donner la fréquence d'échantillonnage à partir de laquelle la numérisation paraît être fidèle.

- $f_e = \dots\dots\dots$

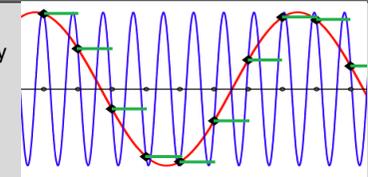
1.1.7. L'échantillonnage permet de tracer un signal

- périodique
- sinusoïdal
- de même période que le signal généré

2. Numérisation d'un son

Fréquence d'échantillonnage et théorème de Shannon

Le théorème de Shannon ou plutôt de Nyquist-Shannon (d'après Harry Nyquist et Claude Shannon), énonce que pour représenter correctement un signal analogique à numériser, la fréquence d'échantillonnage doit être égale ou supérieure au double de la fréquence maximale contenue dans ce signal.



— signal analogique ◆ échantillons — signal analogique reconstitué — signal numérisé

2.1. Fidélité

Utiliser l'animation n°1 : <http://bertrand.kieffer.pagesperso-orange.fr/Animations/Echantillonnage.htm> (Source : G. Ferrant)

Déplacer le curseur *Transparence* vers la gauche pour que la courbe rouge soit juste visible.

Ne pas déplacer le curseur *phase*.

Cliquer si besoin sur le bouton **ECHANTILLONNER** pour faire disparaître les pointillés verts.

Cliquer sur les boutons **NUMERISER** puis **RECONSTITUER**. Le signal numérisé apparaît.

Déplacer le curseur **F échantillonnage** pour échantillonner selon le critère minimal de Shannon, c'est-à-dire avec $f_e = 2 \times f$.

2.1.1. Combien y a-t-il de points échantillonnés par période ?

- nombre de points =

2.1.2. Que vaut la période d'échantillonnage T_e par rapport à la période du signal analogique ?

- $T_e = \dots\dots\dots$

2.1.3. Le signal numérique obtenu a-t-il la même période que le signal analogique.

- [oui/non]

2.1.4. Le son ainsi numérisé aurait-il un fondamental identique au signal analogique.

- [oui/non]

2.1.5. Le son ainsi numérisé aurait-il le même timbre que le signal analogique.

- [oui/non]

On admet qu'un son serait numérisé de façon acceptable pour $f_e = 10 \times f$

Augmenter la fréquence d'échantillonnage pour obtenir un signal numérique plus fidèle au signal analogique selon le critère évoqué.

2.1.6. Que vaut la période d'échantillonnage T_e par rapport à la fréquence du signal analogique ?

- $T_e = \dots\dots\dots$

2.2. Comparaison des fichiers CD.wav et BasseMono.wav

Matériel : Les fichiers sons "CD.wav" et "BasseMono.wav" – logiciel **Audacity**

Réaliser les mêmes opérations pour chaque fichier de façon à relever le nombre d'échantillons sur une même durée.

Ouvrir le fichier **CD.wav / BasseMono.wav** à partir du logiciel **Audacity**.

En bas de la fenêtre, choisir l'affichage de la position audio par **échantillons** puis **début et durée de la sélection**.



☞ A l'aide de l'outil *Outil de sélection* (I), sélectionner une durée de 0,5 s (par exemple entre 8,0 s et 8,5 s). Cliquer sur l'outil *Loupe* (🔍), puis plusieurs fois sur l'enregistrement pour zoomer. Lorsque la sélection est suffisamment "zoomée", sélectionner une durée de 0,0010 s (par exemple entre 8,2100 s et 8,2110 s)

☞ 2.2.1. Relever le nombre d'échantillons n correspondant à la durée sélectionnée (0,0010 s).

- CD.wav : $n = \dots\dots\dots$
- BasseMono.wav : $n = \dots\dots\dots$

☞ Utiliser à nouveau, plusieurs fois, l'outil *Loupe* (🔍) pour mettre en évidence ces échantillons.

☞ 2.2.2. A partir du nombre d'échantillons et de la durée entre deux échantillons, poser les calculs permettant de retrouver la valeur de la fréquence d'échantillonnage utilisée pour chaque fichier son.

- CD.wav : $f_e = \dots\dots\dots$
- BasseMono.wav : $f_e = \dots\dots\dots$

2.3. Justification du choix de la fréquence d'échantillonnage pour un son

☞ 2.3.1. Rappeler les limites, en fréquence, des vibrations audibles par l'Homme.

- $\dots\dots\dots < f_{\text{audibles}} < \dots\dots\dots$

☞ 2.3.2. En déduire la valeur maximale de la fréquence susceptible d'être contenue dans un fichier sonore ?

- $f_{\text{max}} = \dots\dots\dots$

☞ 2.3.3. Selon le théorème de Shannon, quelle fréquence d'échantillonnage minimale permettrait une numération correcte des sons.

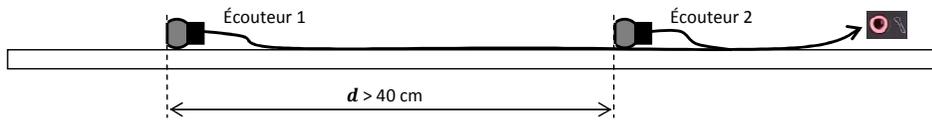
- $f_e(\text{min}) = \dots\dots\dots$

☞ 2.3.4. Justifier en quelques mots le choix de la fréquence d'échantillonnage utilisée pour la qualité CD.

3. Mesure de la vitesse du son

3.1. Mode opératoire avec Audacity

✳ Brancher les écouteurs sur l'entrée **microphone** (🎧) de l'ordinateur. Les éloigner et les positionner l'un de l'autre d'une distance supérieure à 40 cm, si possible. Les orienter dans le même sens et les maintenir sur le support avec du ruban adhésif par exemple.

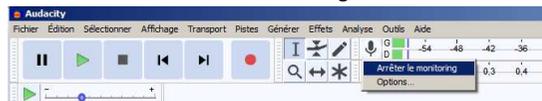


✳ Mesurer précisément et noter la distance d entre les écouteurs.

☞ $d = \dots\dots\dots$

📄 Ouvrir le logiciel **Audacity**.

Cliquer sur et vérifier avec le **monitoring** que les écouteurs jouent bien le rôle de micros. Observer les niveaux sonores d'enregistrements différents captés par chaque écouteur.



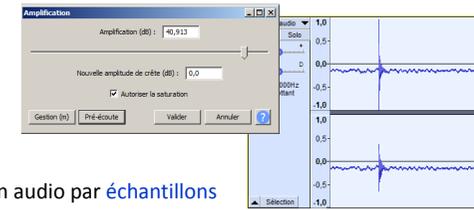
☞ En bas de la fenêtre, vérifier modifier la fréquence d'échantillonnage par défaut est **44100 Hz** et la régler à **8000 Hz**.



☞ Démarrer l'enregistrement puis produire un son bref (claquement de mains par exemple) à proximité d'un écouteur (écouteur 1) puis stopper l'enregistrement .



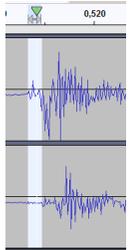
☞ Cliquer dans le cadre à gauche de la piste audio enregistrée pour la sélectionner puis, dans le menu supérieur choisir **Effets** puis **Amplification...** Tester l'écoute pour entendre le son enregistré puis valider pour l'amplification qui convient. Des signaux visibles sur la piste doivent s'afficher.



☞ En bas de la fenêtre, choisir l'affichage de la position audio par **échantillons** puis **début et durée de la sélection**.



☞ A l'aide de l'outil *Outil de sélection* (I), sélectionner une zone étroite autour du pic identifié. Avec l'outil *loupe* (🔍), zoomer plusieurs fois en cliquant sur l'enregistrement, jusqu'à pouvoir observer un décalage entre les débuts de réception du "clap" des signaux enregistrés sur chaque voie.



☞ Sélectionner le décalage entre la réception du "clap" par les deux écouteurs.

☞ Relever le nombre d'échantillons n correspondant à cette durée : $n = \dots\dots\dots$ échantillons

3.2. Calcul de la vitesse du son à partir de la fréquence d'échantillonnage.

Le nombre d'échantillons n et la fréquence d'échantillonnage permettent de calculer la durée Δt correspondant au décalage entre les 2 signaux. La vitesse du son est alors obtenue à partir de la distance séparant les 2 écouteurs et cette durée.

☞ 3.2.1. Justifier que la vitesse du son peu être calculée par la relation :

$$v_{\text{son}} = \frac{d}{n} \times f_e$$

où n correspond au nombre d'échantillons et f_e correspond à la fréquence d'échantillonnage en hertz.

☞ 3.2.2. Calculer la valeur "expérimentale" de la vitesse du son correspondant à l'expérience réalisée.

$$v_{\text{son}} = \dots\dots\dots \text{ m/s}$$

3.3. Comparaison des méthodes

✳ Mesurer la température ambiante correspondant aux conditions de l'expérience.

📄 En utilisant le calcul en ligne à l'adresse <https://www.cactus2000.de/fr/unit/massmac.shtml> Comparer le résultat expérimental avec le calcul "théorique" du son dans l'air dans les conditions de l'expérience.

☞ Noter la valeur théorique de la vitesse du son : à $\dots\dots\dots$ °C, $v_{\text{son}}(\text{théorique}) = \dots\dots\dots$ m/s

Écart relatif : L'écart relatif entre une valeur théorique et une valeur expérimentale est donné par la relation : $\frac{|v_{\text{théorique}} - v_{\text{expérimentale}}|}{v_{\text{théorique}}}$; On l'exprime en %.

☞ 3.3.1. Calculer l'écart relatif correspondant à l'expérience réalisée.

☞ 3.3.2. Essayer d'identifier les sources d'erreurs éventuelles (choisir et recopier dans la liste suivante).

- Erreur due au placement des écouteurs
- Erreur due à la fréquence d'échantillonnage
- Erreur due à la mesure de la distance
- Erreur due à la sélection du "décalage"
- Erreur due au nombre d'échantillons
- Erreur due à la position choisie pour le clap

📄 Retrouver le résultat obtenu collectivement avec les smartphones :

<https://lite.framacalc.org/9gmz-n5lo9y3w>

☞ 3.3.3. Porter un regard critique sur les 2 modes opératoires.