

Nom: Prénom: Classe: Date:

La numérisation d'un son analogique

Objectifs

- Pour numériser un son, on procède à la discréttisation 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.
- Justifier le choix des paramètres de numérisation d'un son. Estimer la taille d'un fichier audio.

Classe

1^{ère} ES

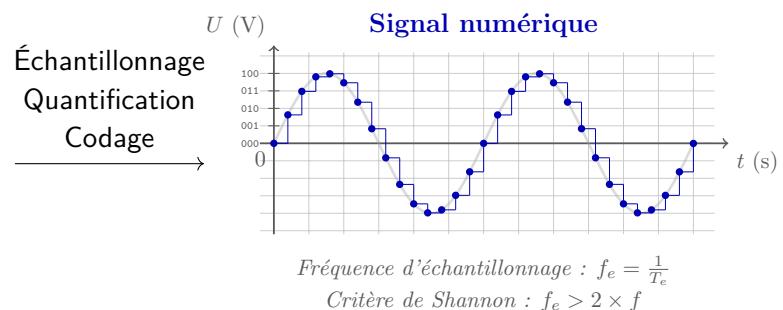
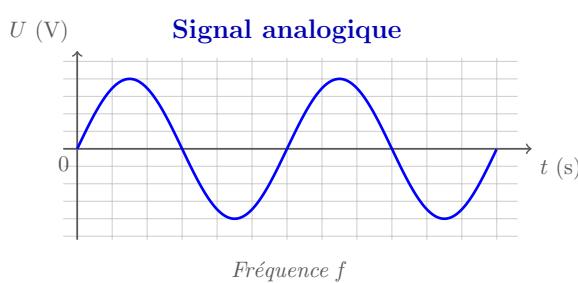
Durée

1 h

À chaque fois que l'on écoute de la musique à partir d'un ordinateur ou d'un smartphone, celle-ci a été préalablement numérisée, c'est-à-dire que le signal sonore a été transformé en une suite de nombres constitués de « 0 » et de « 1 ». **Mais quelles sont les étapes de numérisation d'un son analogique ? Et comment numériser un son analogique le plus fidèlement possible¹ ?**

Document 1: Numérisation

La numérisation d'un son analogique consiste à le transformer en un signal numérique codé avec des nombres binaires. La numérisation d'un signal s'effectue grâce à un convertisseur analogique-numérique (CAN) en 2 étapes successives : l'échantillonnage et la quantification.



Document 2: Échantillonnage

Cette première étape consiste à **ne conserver que des échantillons du signal**: on prélève à des intervalles de temps égaux la valeur prise par le signal analogique (« on découpe le signal verticalement »). La durée séparant 2 échantillons successifs est la **période d'échantillonnage** T_e . On passe donc d'une infinité de valeurs du signal analogique à quelques valeurs sélectionnées. La **fréquence d'échantillonnage** f_e est reliée à la péri-

ode d'échantillonnage par la relation :

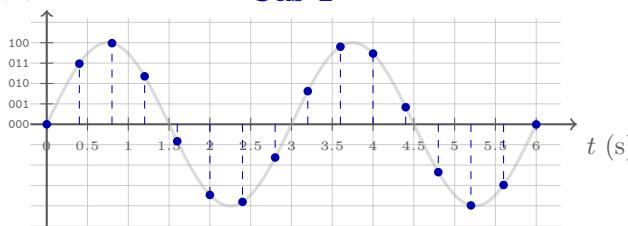
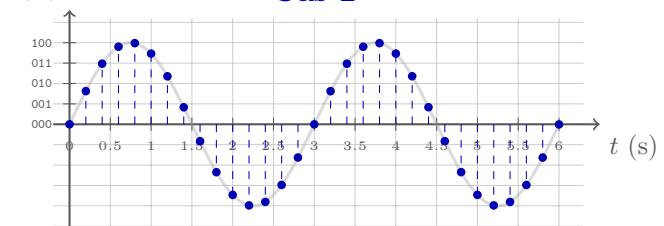
$$f_e = \frac{1}{T_e} \quad (1)$$

Théorème de Shannon: pour numériser convenablement un signal analogique, il faut que la fréquence d'échantillonnage soit au moins 2 fois supérieure à la fréquence la plus élevée du signal à numériser.

¹Activité basée sur le travail de C. Voinot.

Document 3: Échantillonnage suite

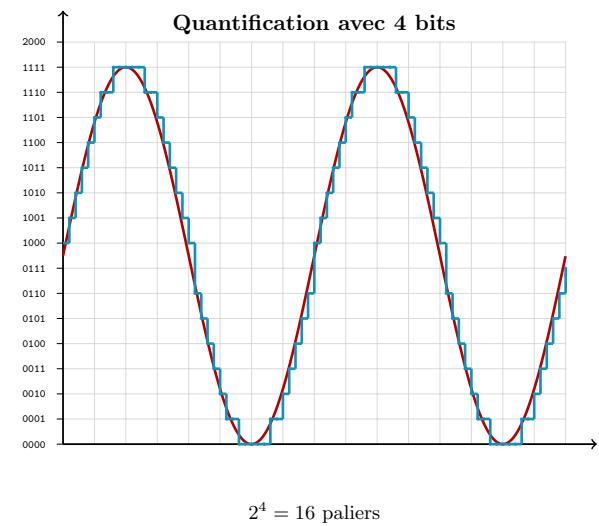
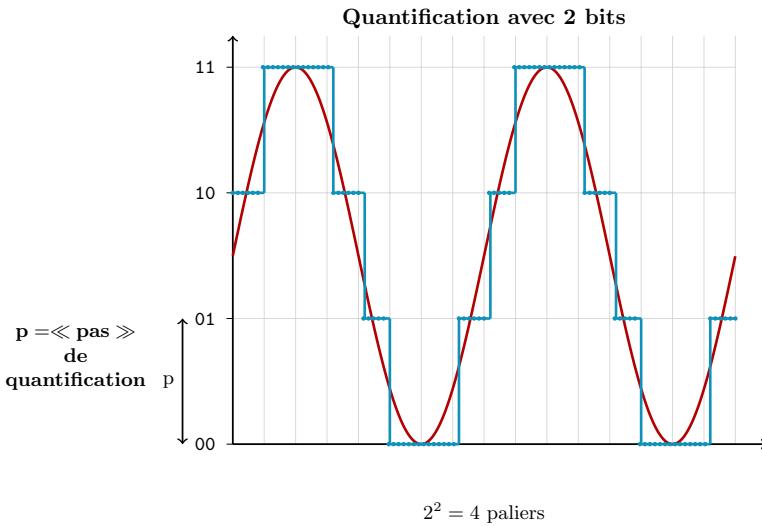
Exemples numérisation du signal sonore analogique avec deux fréquences d'échantillonnage différentes

 U (V)**Cas 1** U (V)**Cas 2**

Document 4: Quantification

La quantification consiste à réaliser un découpage en amplitude du signal analogique.

- On définit un nombre N de bits (Binary digit), et on divise la zone d'amplitude en $2 \times N$ paliers, aussi appelés niveaux de quantification.
 - Par exemple, avec 2 bits on peut coder 4 valeurs possibles ($4 = 2^2$): 00 ; 01 ; 10 ; 11.
 - Avec **N bits**, on peut coder 2^N valeurs possibles qui correspondent aux paliers ou niveaux de quantification.
- Puis on attribue à chaque échantillon le palier dont il se rapproche le plus (« codage »).



1. Comment s'appellent les deux étapes de numérisation d'un son analogique ?

Solution: Les deux étapes de numérisation d'un son analogique sont :

- 1) **L'échantillonnage** : consiste à prélever des échantillons du signal à des intervalles de temps égaux.
- 2) **La quantification** : consiste à réaliser un découpage en amplitude du signal et à attribuer à chaque échantillon un niveau de quantification (palier).

2. Calculer la fréquence d'échantillonnage utilisée dans le cas N°1 du document 3.

Solution: Analyse du cas 1 : On observe que pour les deux périodes du signal, soit 6 secondes, et il y a environ 15 échantillons prélevés.

La période d'échantillonnage est : $T_e = \frac{6,0\text{s}}{15} = 0,40\text{s}$

La fréquence d'échantillonnage est :

$$f_e = \frac{1}{T_e} = \frac{1}{0,40\text{s}} = 2,5\text{Hz}$$

La fréquence d'échantillonnage du cas 1 est donc $f_e = 2,5\text{Hz}$

3. Calculer la fréquence d'échantillonnage utilisée dans le cas N°2 du document 3.

Solution: Analyse du cas 2 : On observe que pour les deux périodes du signal, soit 6 secondes, et il y a environ 30 échantillons prélevés.

La période d'échantillonnage est : $T_e = \frac{6,0\text{s}}{30} = 0,20\text{s}$

La fréquence d'échantillonnage est :

$$f_e = \frac{1}{T_e} = \frac{1}{0,20\text{s}} = 5,0\text{Hz}$$

La fréquence d'échantillonnage du cas 1 est donc $f_e = 5,0\text{Hz}$

4. Doit-on augmenter ou diminuer la fréquence d'échantillonnage pour augmenter la qualité de numérisation du signal analogique ?

Solution: Il faut **augmenter** la fréquence d'échantillonnage pour augmenter la qualité de numérisation.

En effet, plus la fréquence d'échantillonnage est élevée, plus on prélève d'échantillons du signal analogique, et donc plus la représentation numérique est fidèle au signal original. On observe cela en comparant les cas 1 et 2 du document 3: le cas 2 (fréquence plus élevée) reproduit mieux la forme du signal analogique que le cas 1.

5. Lors de la quantification, combien de valeurs possibles peut-on coder avec 3 bits ?

Solution: Avec N bits, on peut coder 2^N valeurs possibles.

Avec 3 bits : $2^3 = 8$ valeurs possibles

Ces 8 valeurs sont : 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111

6. D'après les exemples du document 4, quel est le lien entre le nombre de bits utilisés et la qualité de numérisation du signal analogique ?

Solution: Plus le nombre de bits est élevé, meilleure est la qualité de numérisation.

Explication :

- Avec 2 bits : on a seulement 4 paliers ($2^2 = 4$), donc le pas de quantification p est grand et la représentation est grossière.
- Avec 4 bits : on a 16 paliers ($2^4 = 16$), donc le pas de quantification p est plus petit et la représentation est beaucoup plus fine et fidèle au signal analogique original.

Plus le nombre de paliers est élevé, plus le signal numérique se rapproche du signal analogique.

7. Le critère de Shannon est-il respecté dans le cas 1 ?

Solution: On a calculé la fréquence d'échantillonnage à $f_e = 2,5 \text{ Hz}$.

La fréquence du signal analogique est $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{3,0\text{s}} = 0,33 \text{ Hz}$.

Comme $f_e = 2,5 \text{ Hz} > 2 \times f = 0,66 \text{ Hz}$ alors le critère de Shannon est vérifié et le signal est correctement échantillonné.

8. Conclusion : Quels sont les paramètres de numérisation qui ont une influence sur la qualité de la numérisation d'un signal analogique ?

Solution: Les deux paramètres principaux qui influencent la qualité de numérisation sont :

1) **La fréquence d'échantillonnage f_e** (ou période d'échantillonnage T_e) :

- Plus f_e est élevée, meilleure est la qualité (résolution temporelle).
- Critère de Shannon : $f_e > 2 \times f$

2) **Le nombre de bits N** utilisés pour la quantification :

- Plus N est grand, plus le nombre de paliers 2^N est élevé.
- Plus il y a de paliers, plus la résolution en amplitude est fine et meilleure est la qualité.

Remarque importante : Plus ces paramètres sont élevés, plus la qualité est bonne, mais plus la taille du fichier audio est grande.