Chapitre 2. Numérisation des signaux vidéo et audio

II.1. Quelques rappels sur les étapes de la numérisation d'un signal

La numérisation consiste à transformer un signal analogique qui est un signal continu et qui contient une quantité infinie d'amplitudes en un signal numérique contenant, lui, une quantité finie de valeurs.

Autrement dit numériser un signal c'est partir d'un **signal analogique** pour aller vers un **signal numérique**.

Le passage de l'analogique au numérique repose sur **trois** étapes successives : **L'échantillonnage, la quantification, et le codage.**

II.2 Echantillonnage d'un signal acoustique : Application à une seule fréquence, utilisation d'un signal sinusoïdal.

Dans un premier temps, nous allons nous intéresser à un signal sinusoïdal. Ce signal a l'avantage de posséder un contenu spectral très simple (une raie), ce qui va permettre de mettre en valeur plus clairement les conditions nécessaires à une numérisation correcte.

On travaille avec un signal sinusoïdal de fréquence **400 Hz.**

Soit **$S(t) = \sin(2\pi f t)$**, où f =400 Hz.

La **Figure 1** donne en **(a)** la représentation temporelle et en **(b)** la représentation dans l'espace fréquentiel de S(t).

On va maintenant échantillonner ce signal.

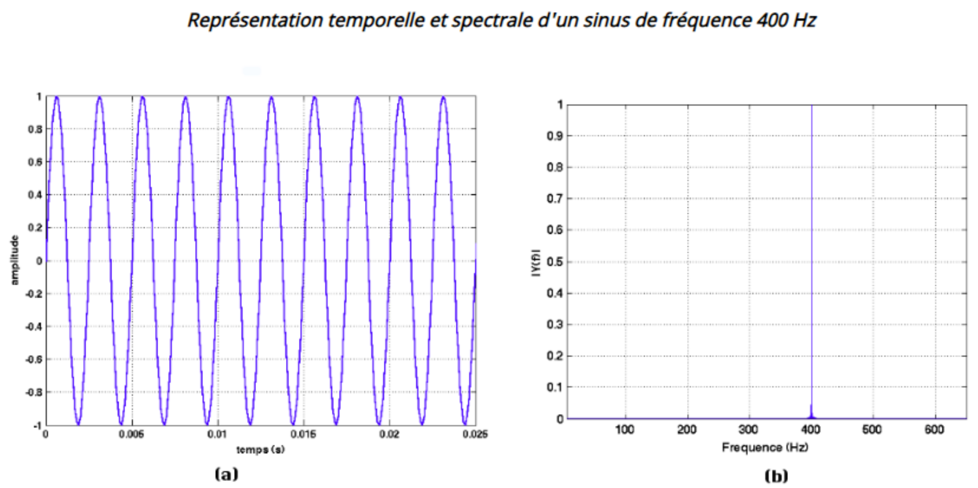

Figure 1 : (a) signal temporel de S(t), (b) spectre de S(t).

Echantillonner un signal revient à prendre un certain nombre de points régulièrement espacés de ce signal. Cette fonction consiste mathématiquement à multiplier le signal original S(t) avec un signal d'amplitude 1 à chaque instant pour lequel on prend un échantillon (opération répétée à la période Tech) et d'amplitude zéro sinon. Cette fonction est appelée peigne (ou train périodique d'impulsions) de Dirac δ(t), voir **Figure 2 (a)** en bas.

Pour voir l'influence du choix de la fréquence d'échantillonnage, dans un premier temps, on échantillonne le signal sinusoïdal à une fréquence de 500 Hz. Nous appellerons S le signal original et S_e le signal échantillonné.

La **Figure 2 (b)** présente, en rouge, le signal temporel échantillonné S_e.

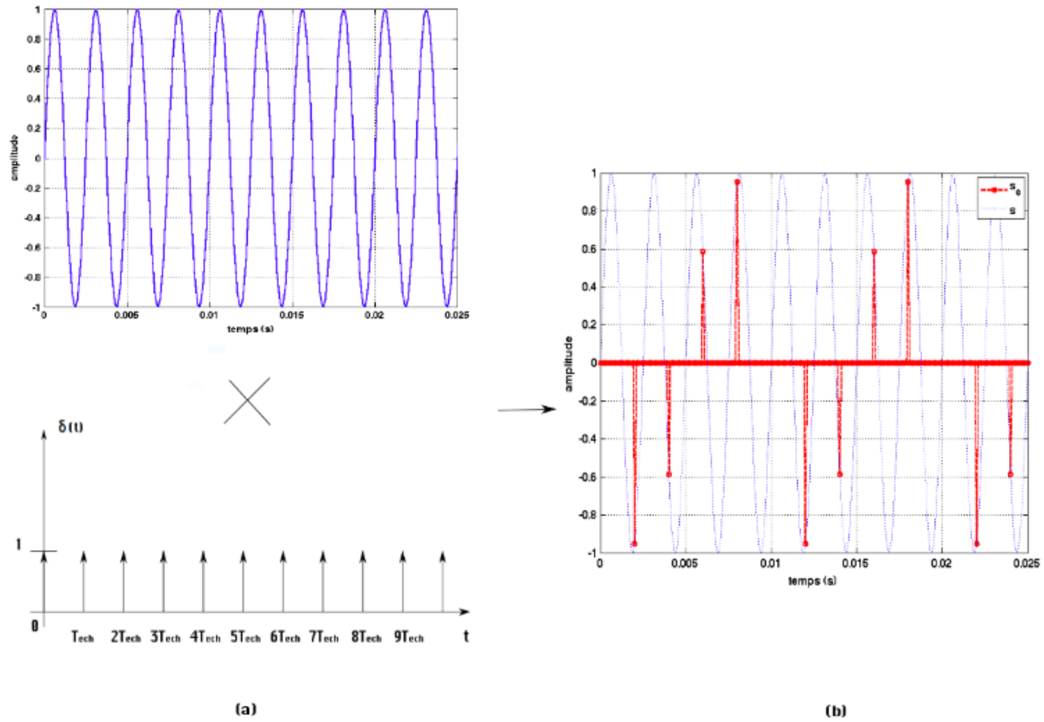

Figure 2 : (a) signal sinusoïdal (haut) et train d'impulsion (bas), (b) signal sinusoïdal échantillonné à F_{ech} = 500 Hz (en rouge).

Le spectre du signal échantillonné est représenté sur la **Figure 3**. On représente en bleu, la raie à 400 Hz du signal original S, et en rouge apparaissent les raies appartenant au signal échantillonné S_e.

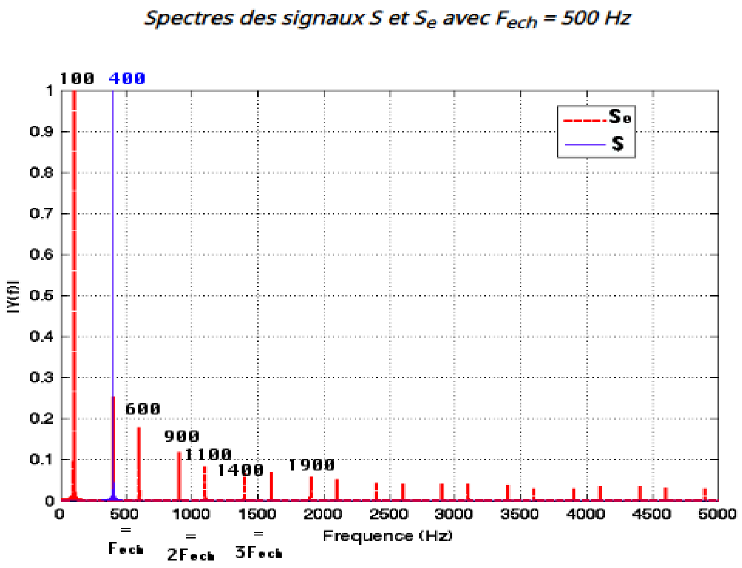

Figure 3 : spectre du signal temporel original S (en bleu) et échantillonné S_e (rouge).

Remarque

On constate que les deux signaux n'ont plus du tout le même contenu spectral. Il n'est plus fidèle au signal S

De façon générale, La **Figure 4** va nous aider à comprendre la modification du spectre du signal. Sur la **Figure 4(a)** est représenté le spectre d'un signal quelconque. Le contenu spectral de ce signal est limité à f_{max}.

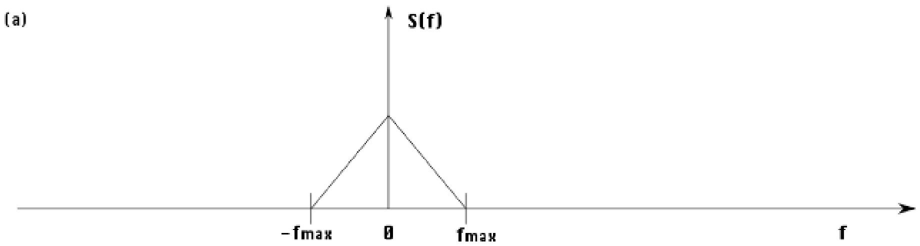

Figure 4. a Spectre d'un signal quelconque

On va maintenant échantillonner, dans le temps, le signal correspondant à ce spectre. L'échantillonnage dans le domaine temporel agit comme une périodisation du spectre, et on va retrouver, espacé à la fréquence F_{ech}, le contenu fréquentiel du signal original, **Figure 4(b)**.

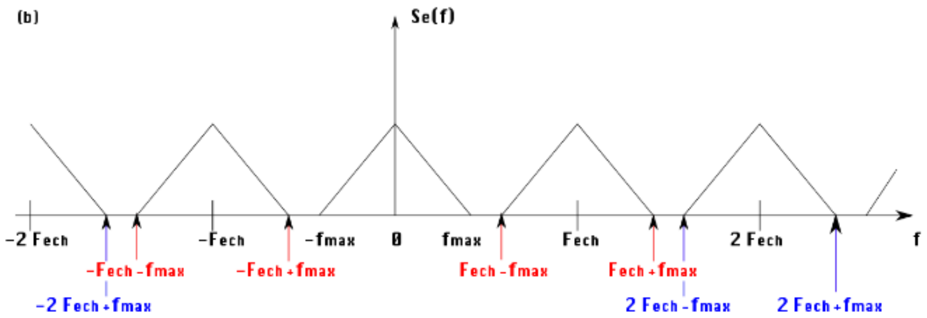

Figure 4. b Spectre d'un signal quelconque

Ainsi pour retrouver le signal original, il suffit d'utiliser un filtre passe bas, dont la fréquence de coupure est choisie entre f_{max} et F_{ech}-f_{max}, **Figure 4(c)**.

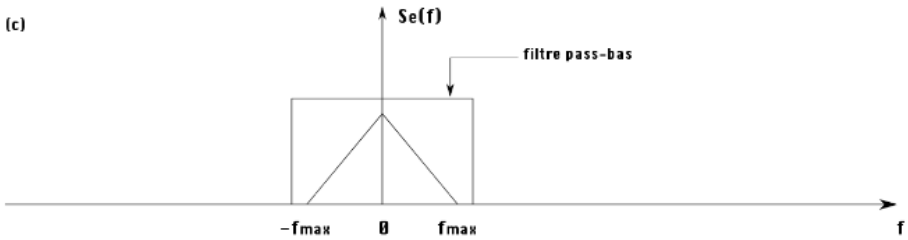

Figure 4. c. Restitution à l'aide d'un filtre passe-bas.

Par contre, si la fréquence d'échantillonnage est mal choisie, il n'est pas possible de retrouver le signal original. La **Figure 5** montre un cas où on voit apparaître un repliement du spectre qui vient empêcher de retrouver l'information spectrale contenue dans le signal original.

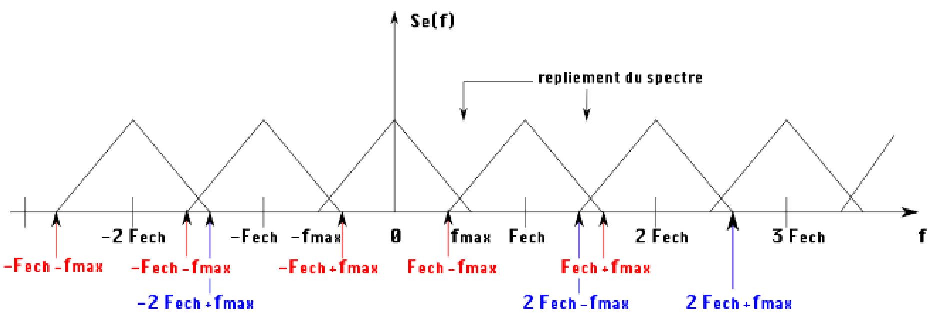

Figure 5 : spectre du signal échantillonné.

Il existe un critère, donné par le théorème de l'échantillonnage, qui permet de préserver l'information contenue dans le signal lors de sa discrétisation.

I.3 Théorème de l'échantillonnage- Claude Shannon

Si un signal continu S(t) ne contient aucune composante de fréquence supérieure à f_{max}, toute l'information concernant S(t) est entièrement contenue dans les valeurs du signal discret $S(nT_{ech})$, pourvu que $T_{ech} < 1/(2f_{max})$. T_{ech} correspond à la période d'échantillonnage. Avec $T_{ech} = 1 / F_{ech}$

On va maintenant échantillonner le signal sinusoïdal à une fréquence égale au double de la première et qui vaut 1000 Hz. Ce choix répond au théorème de Shannon, ainsi on s'attend à pouvoir retrouver le sinus à 400 Hz. Le résultat est donné dans la **Figure 6**.

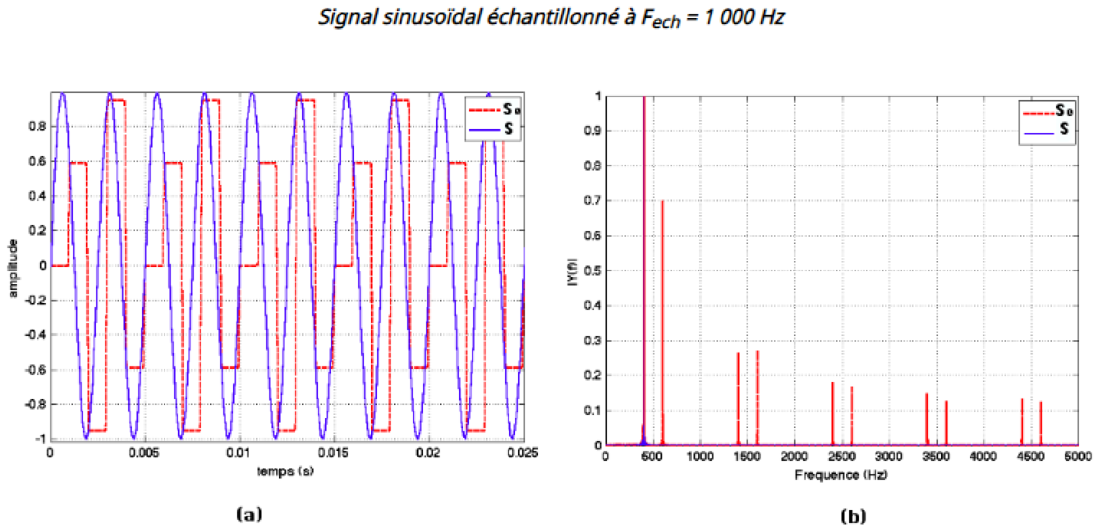

Figure 6 : (a) signal temporel original S (bleu) et échantillonné S_e (rouge), (b) spectres correspondants.

Au regard du spectre, **Figure 6(b)**, on constate qu'aucune sous-fréquence n'a été introduite n'appartenant pas au signal original. Le signal échantillonné possède des harmoniques dûes à la périodisation du spectre, que l'on pourra couper à l'aide d'un filtre passe-bas. Dans la pratique on utilise plutot $F_{ech} > 10\ F_{max}$. Cela permet en outre d'utiliser un filtre passe-bas d'ordre moins élevé. Pour une fréquence d'échantillonnage à 5 000 Hz, le signal et le spectre sont présentés dans la **Figure 7**.

Signal sinusoïdal échantillonné à F_{ech} = 5 000 Hz

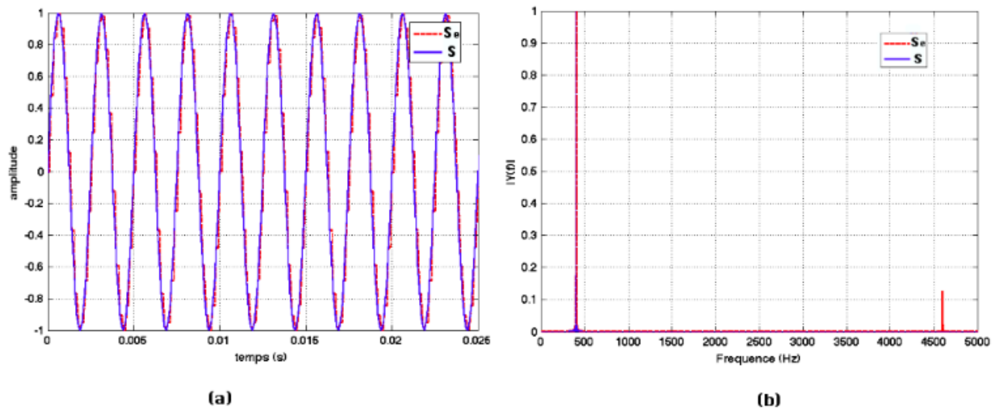

Figure 7 : (a) signal temporel original S (bleu) et échantillonné S_e (rouge), (b) spectres correspondants.

I.4 Application à d'autres signaux

Dans cette application le spectre est plus riche que lorsqu'il s'agissait d'un sinus pur. Sur la **Figure 8**, on retrouve la représentation temporelle et spectrale de ce signal.

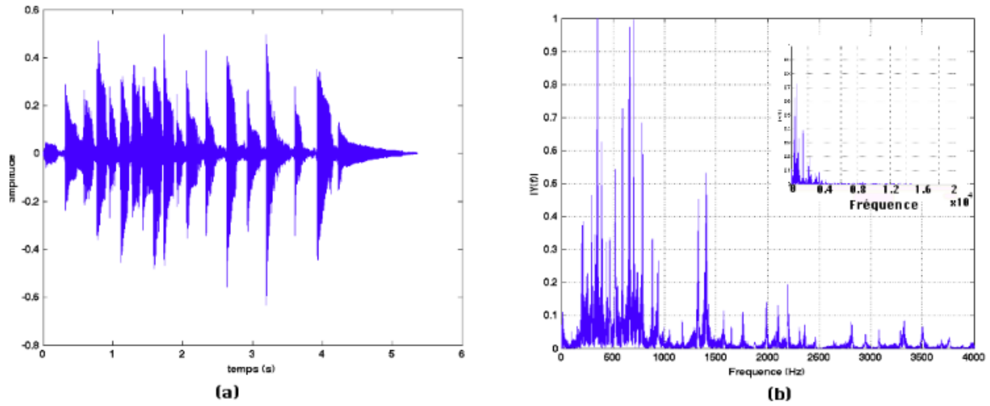

Figure 8 : Signal d'une mélodie (a) représentation temporelle, (b) représentation spctrale.

Dans cette application le spectre est plus riche que lorsqu'il s'agissait d'un sinus pur. Il comporte beaucoup plus d'harmoniques.

Dans un premier temps, pour se rendre compte de l'effet sonore que produisent la présence des harmoniques dans un signal, on décide que les harmoniques au-delà de 2 000 Hz, n'ont pas assez d'énergie pour être prises en compte. Ainsi, on va échantillonner le signal à la fréquence F_{ech} = 4 410 Hz, **Figure 9**.

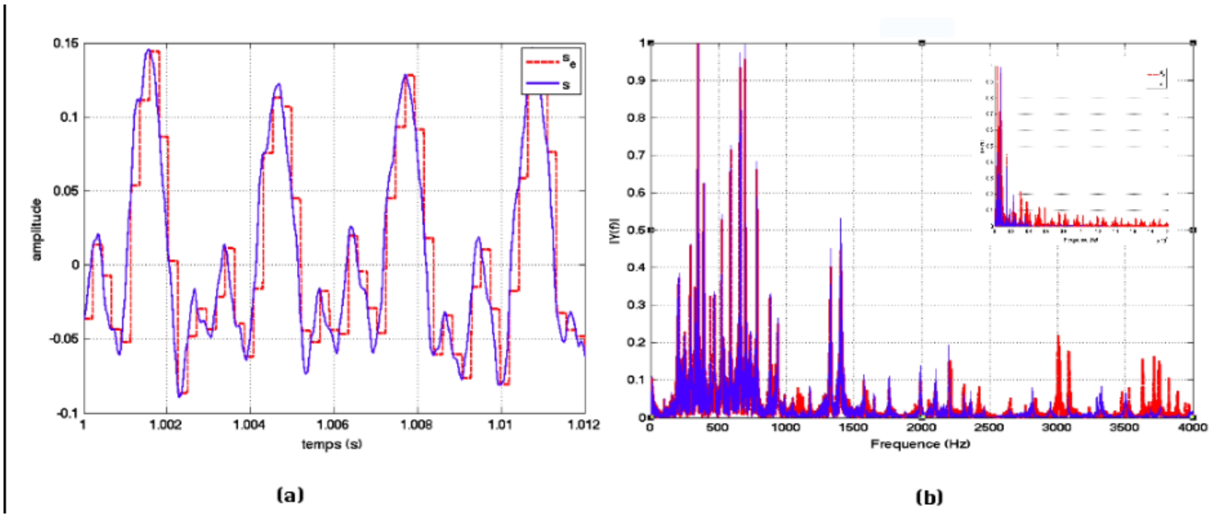

Figure.9. (a) Signal temporel original S (bleu) et échantillonné S_e (rouge), (b) spectres correspondants.

L'oreille rend tout de suite compte de la dégradation du signal.

Avec une fréquence d'échantillonnage F_{ech} = 22 050 Hz, le résultat en audio **Figure 10**:

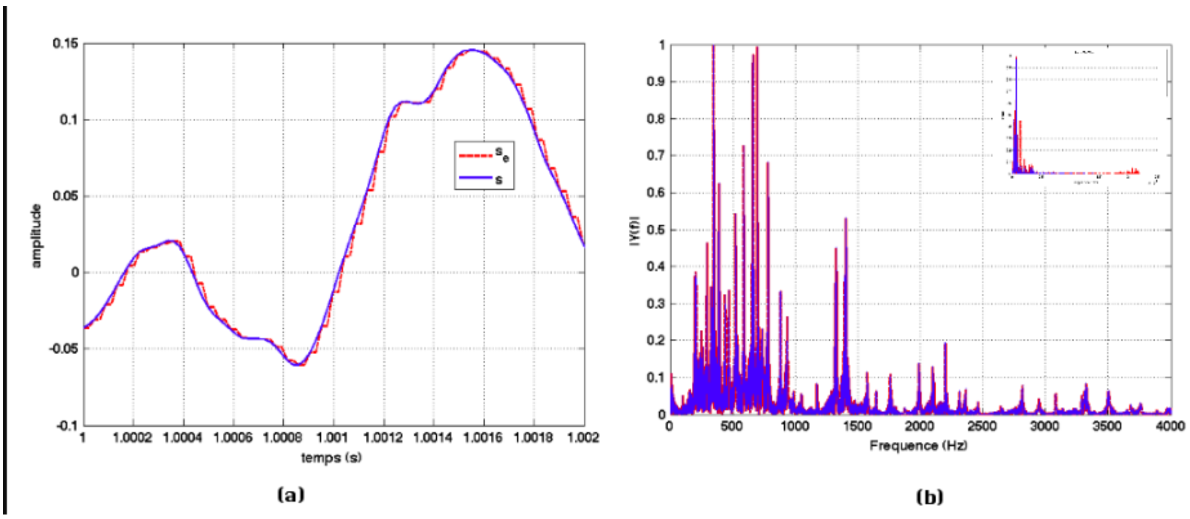

Figure 10 : (a) Signal temporel original S (bleu) et échantillonné S_e (rouge), (b) spectres correspondants.

On est maintenant très proche du signal original, numérisé à 44,100 kHz.