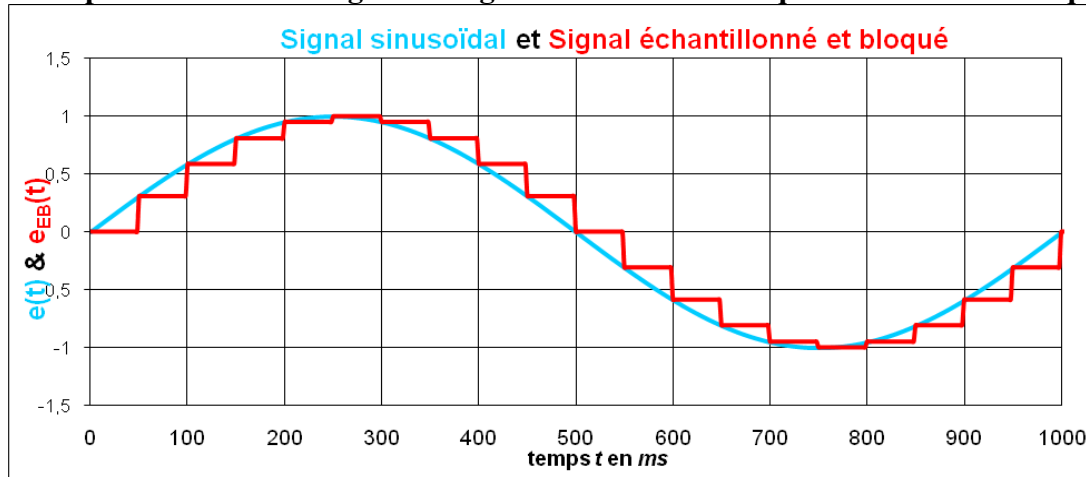


Exemple d'échantillonnage d'un signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz à la fréquence  $f_E = 20\text{kHz}$ .



Il est évident que plus la fréquence d'échantillonnage est grande, plus le signal échantillonné sera fidèle au signal d'origine..

Mais si on échantillonne trop vite, le système n'aura plus le temps de convertir les échantillons !

Le compromis est obtenu par :

- le respect de la condition de Shannon.
- le respect du temps de conversion.

### **Condition de SHANNON**

Pour un signal sinusoïdal : La fréquence d'échantillonnage **minimale** requise pour pouvoir ensuite restituer un signal sinusoïdal de fréquence  $f$  est  $F_E = 2f$  (c.à.d. le double de la fréquence de ce signal)  
(Autrement dit, il faut au moins deux points par période.)

Ex : Un signal sinusoïdal  $f = 1\text{ kHz}$  doit être au moins échantillonné à 2kHz.

Pour un signal quelconque : La fréquence d'échantillonnage **minimale** requise pour pouvoir ensuite restituer un signal est le double de la fréquence de la plus haute des harmoniques de ce signal.  $F_E = 2.f_{MAX}$

### **Quelques valeurs d'échantillonnages standards**

Dans la pratique, la règle de Shannon a donné les choix suivants :

➤ **En téléphonie** : La fréquence maximale à transmettre est de 3,5 kHz.

On a adopté une fréquence d'échantillonnage :  $F_E = 8\text{kHz}$ .

Chaque échantillon est codé sur 8 bits.

Le débit de la transmission est alors  $D = 8\text{bits} \times 8000 = 64\text{kbit/s}$

➤ **En son qualité CD**: La fréquence maximale à transmettre est de 20 kHz.

On a adopté une fréquence d'échantillonnage :  $F_E = 44,1\text{kHz}$ .

Chaque échantillon pour une voie (stéréo) est codé sur 16 bits.

Combien de minutes de musique peut-on enregistrer sur un CD de 700 Mo ? Environ 78 minutes

Taille d'un fichier correspondant à 1 seconde de musique :

$$\begin{array}{ccc} 44100 & \times & 16 & \times & 2 \\ \swarrow & & \swarrow & & \downarrow \\ \text{taux d'échantillonnage} & & \text{nombre de bits} & & \text{nombre de voies} \end{array}$$

## Spectre du signal échantillonné/bloqué

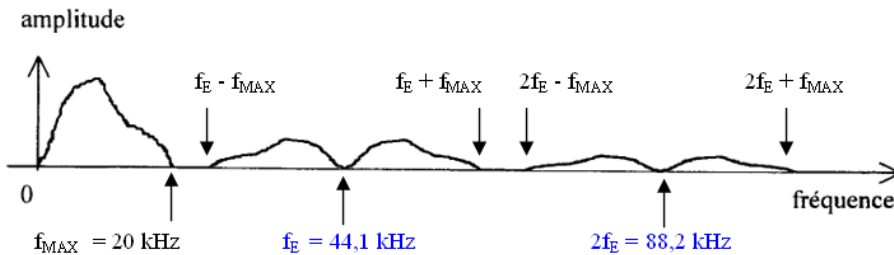
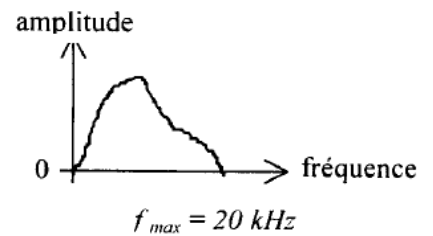
### Exemple d'un signal audio échantillonné à la qualité CD:

- Le spectre du signal analogique s'étend jusqu'à 20kHz.

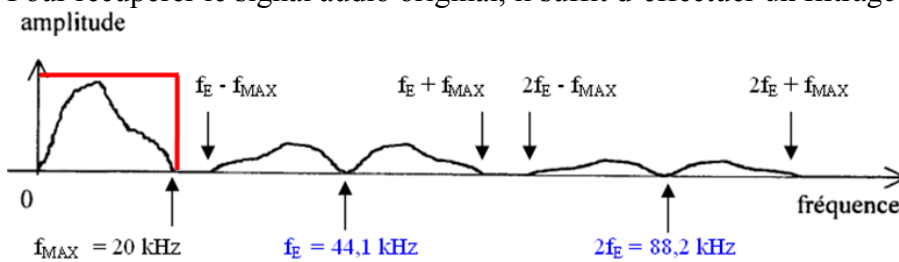
On échantillonne à la fréquence  $f_E = 44,1\text{kHz}$

(Respect de la condition de SHANNON)

- Le spectre du signal échantillonné présente une « **périodicité** » : répétition du motif autour de  $n.f_E$ .

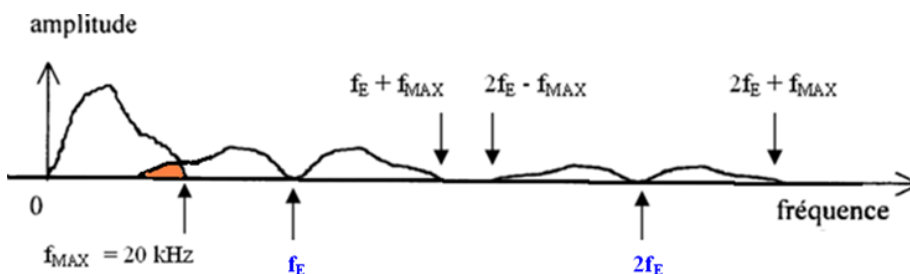


Pour récupérer le signal audio original, il suffit d'effectuer un filtrage passe-bas.

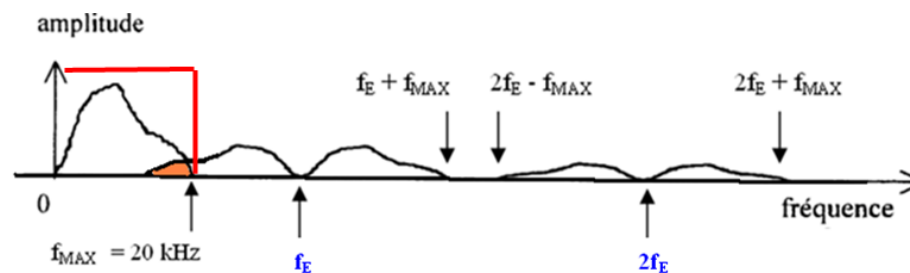


## Phénomène de repliement de spectre

Que se passe-t-il si on diminue à présent la fréquence d'échantillonnage :  $f_E < 40\text{kHz}$  (Non respect de la condition de SHANNON)



On voit que les spectres se chevauchent. C'est ce qu'on appelle un repliement de spectre. (Aliasing)



Si on effectue un filtrage passe bas, on récupère des fréquences indésirables (fausses images)

Dans le cas d'un son sous échantillonné, on va entendre des « nouveaux sons », correspondant aux fréquences « repliées » (en orange sur le schéma)

Conclusion : Pour éviter le phénomène du repliement, il est nécessaire de limiter la bande passante du signal à traiter à la moitié de la fréquence d'échantillonnage, et ainsi de respecter la condition de SHANNON.

Cette limitation s'effectue à l'aide d'un filtrage passe-bas, inséré avant l'échantillonneur. (**Filtre anti-repliement = filtre anti-aliasing = coupure à  $F_E/2$** )