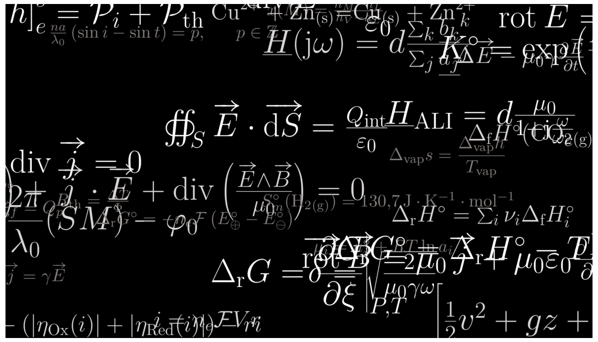
PT PHYSIQUE 2020—2021

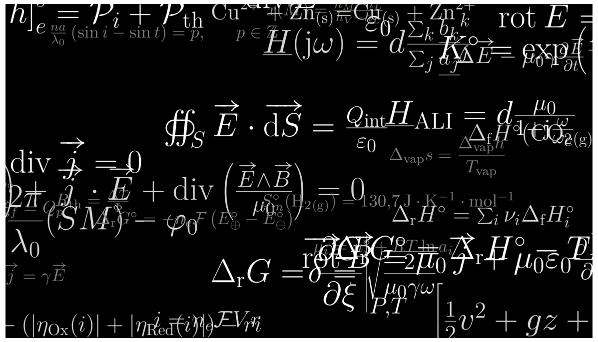
ELEC 4

Électronique numérique



OBJECTIFS DU CHAPITRE

- À la fin de ce chapitre, vous devez être capable de :
  - Choisir une *fréquence d'échantillonnage* adaptée au *signal à numériser* ;
  - Choisir une *durée d'acquisition* adaptée au signal à numériser ;
  - Choisir une *carte d'acquisition de résolution adaptée* au signal à numériser ;
  - Reconnaître les effets d'une acquisition mal menée (*repliement spectral, bruit de quantification*, …).



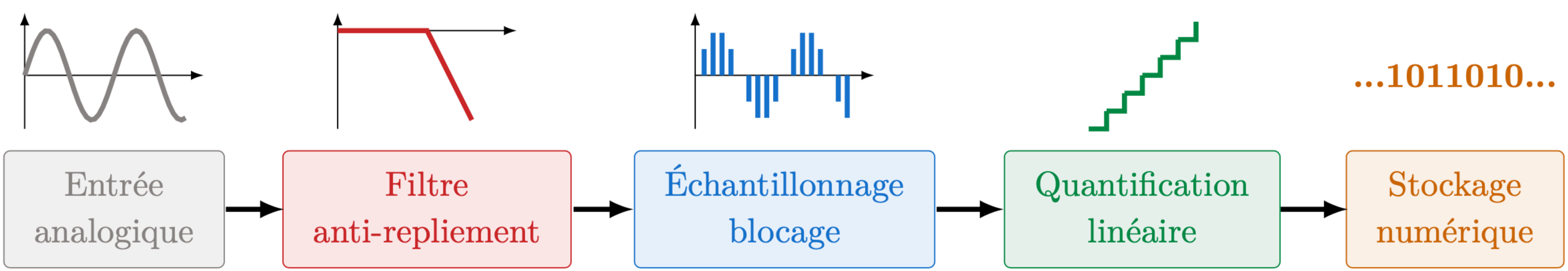
CHAÎNE D'ACQUISITION DE DONNÉES ANALOGIQUES

Donnée analogique

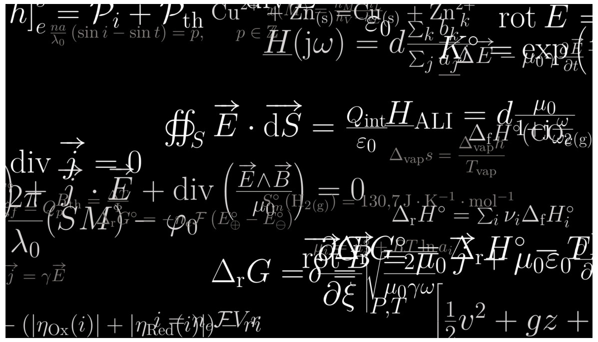
On appelle donnée analogique, toute grandeur représentée par un ensemble continu de valeurs.

Donnée numérique

On appelle donnée numérique, toute grandeur représentée par un ensemble discret de valeurs.



Chaîne d'acquisition complète



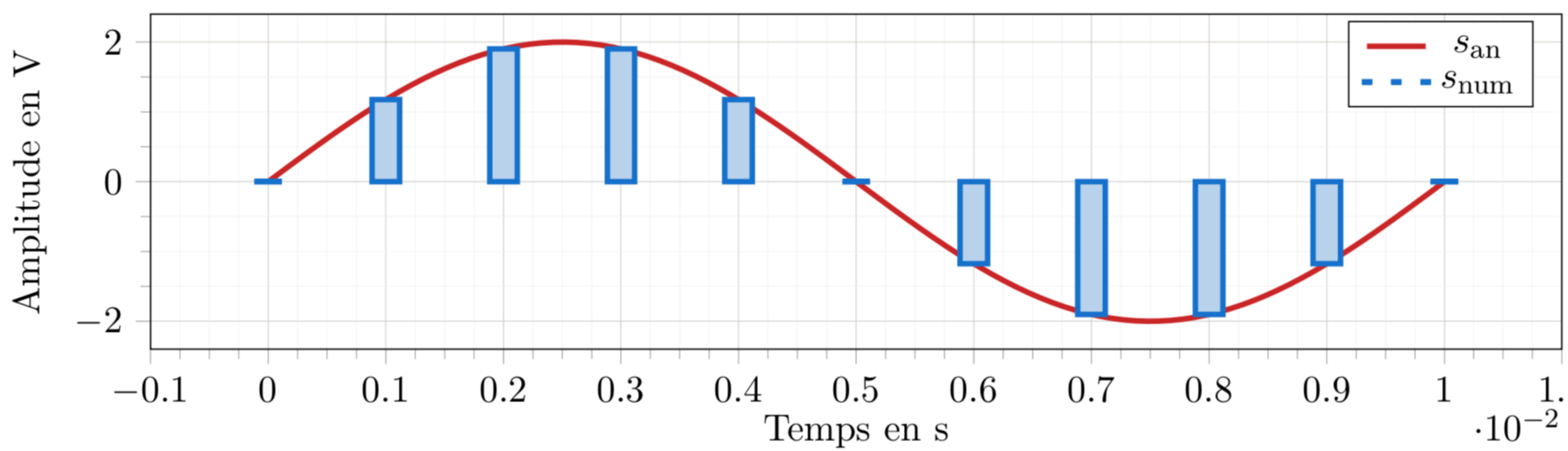
ÉCHANTILLONNAGE I

Échantillonnage

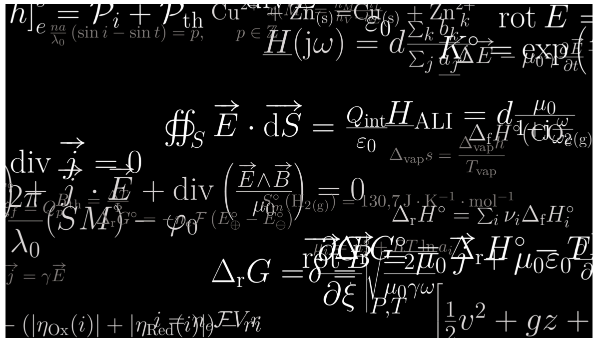
On appelle *échantillonnage*, l'opération qui consiste à sélectionner tout ou partie d'un signal analogique s_{an}, en capturant un ensemble *discret* de valeurs qui composent le signal numérique s_{num}.

Fréquence et période d'échantillonnage

On appelle *fréquence d'échantillonnage*, la fréquence f_e à laquelle sont capturées les valeurs discrètes du signal analogique $s_{\text{an}}(t)$.
On appelle *période d'échantillonnage*, l'intervalle de temps $T_e = \frac{1}{f_e}$ qui sépare deux captures des valeurs discrètes du signal analogique $s_{\text{an}}(t)$.



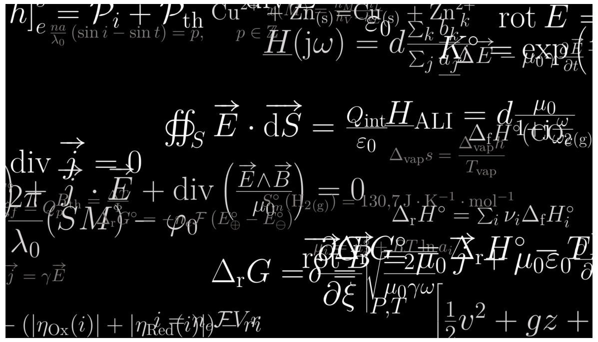
Signal sinusoïdal de fréquence 1 kHz, échantillonné à 10 kHz



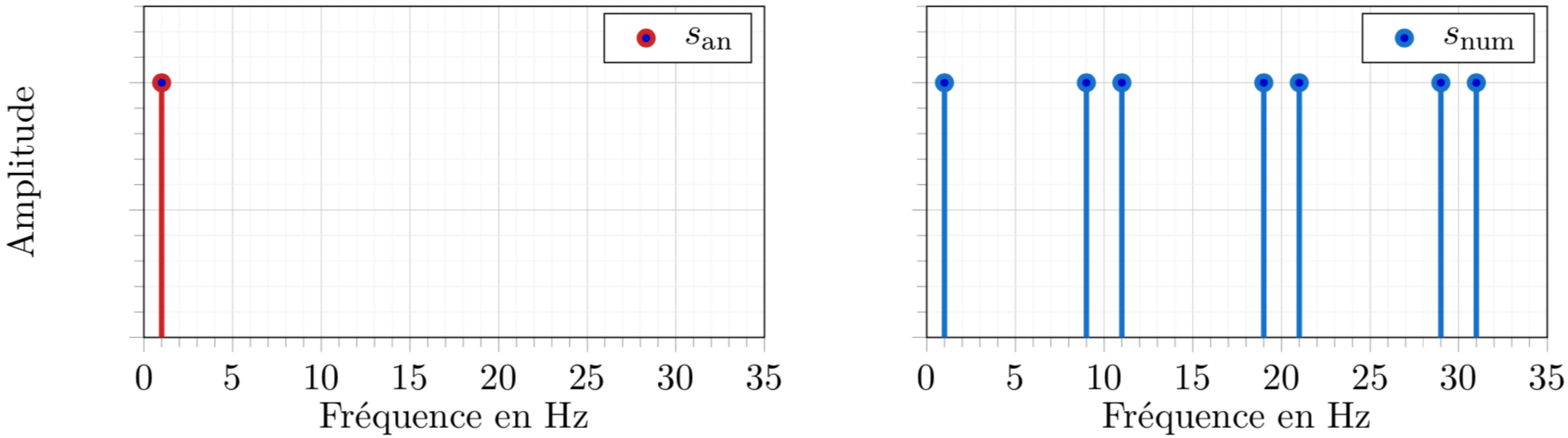
EXERCICE D'APPLICATION I

On souhaite procéder à l'enregistrement d'un concert, d'une durée $T = 60\,\mathrm{min}$, dans un format numérique sans compression (`WAV` par exemple). La fréquence d'échantillonnage choisie est $f_e = 44\,100\,\mathrm{Hz}$, et les valeurs sont enregistrées en stéréo sur un format 16 bit.

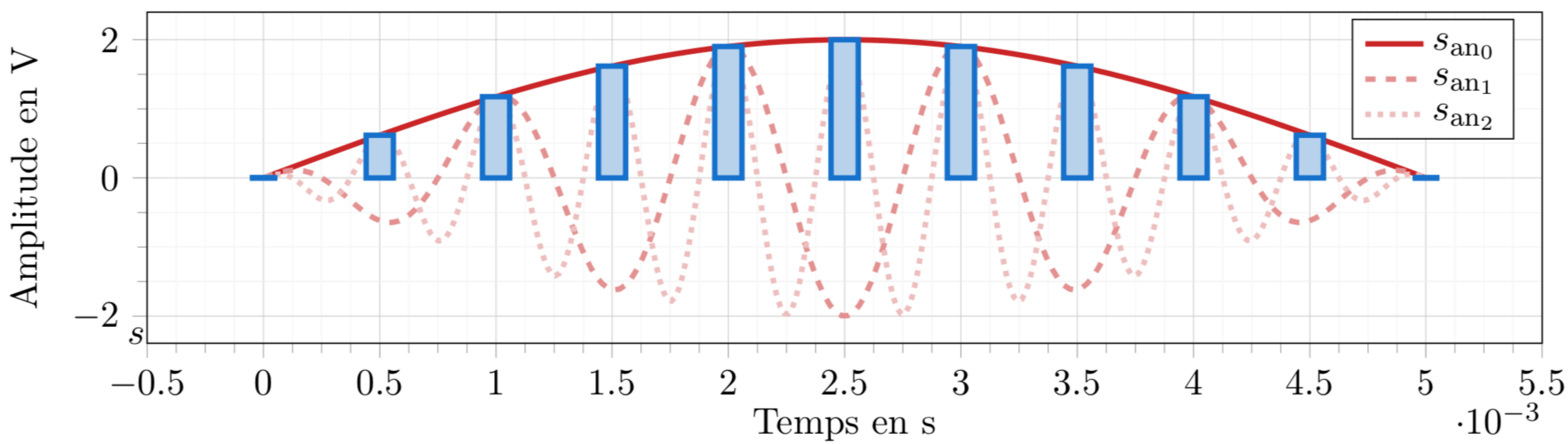
1. Quelle sont les fréquences minimales et maximales théoriques enregistrées dans ces conditions ?
2. Quelle taille mémoire doit-on prévoir pour ce stockage ?



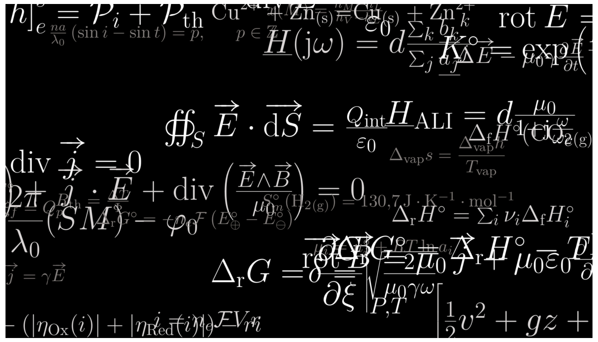
ÉCHANTILLONNAGE 2



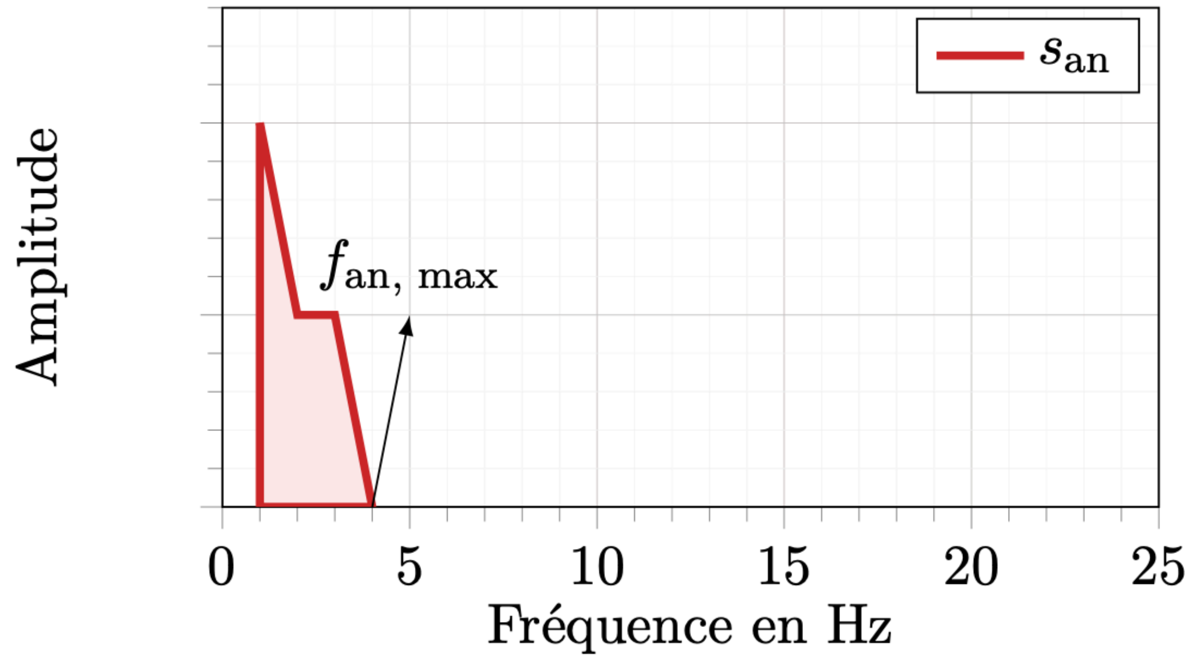
Spectre — gauche : signal analogique ; droite : signal numérisé

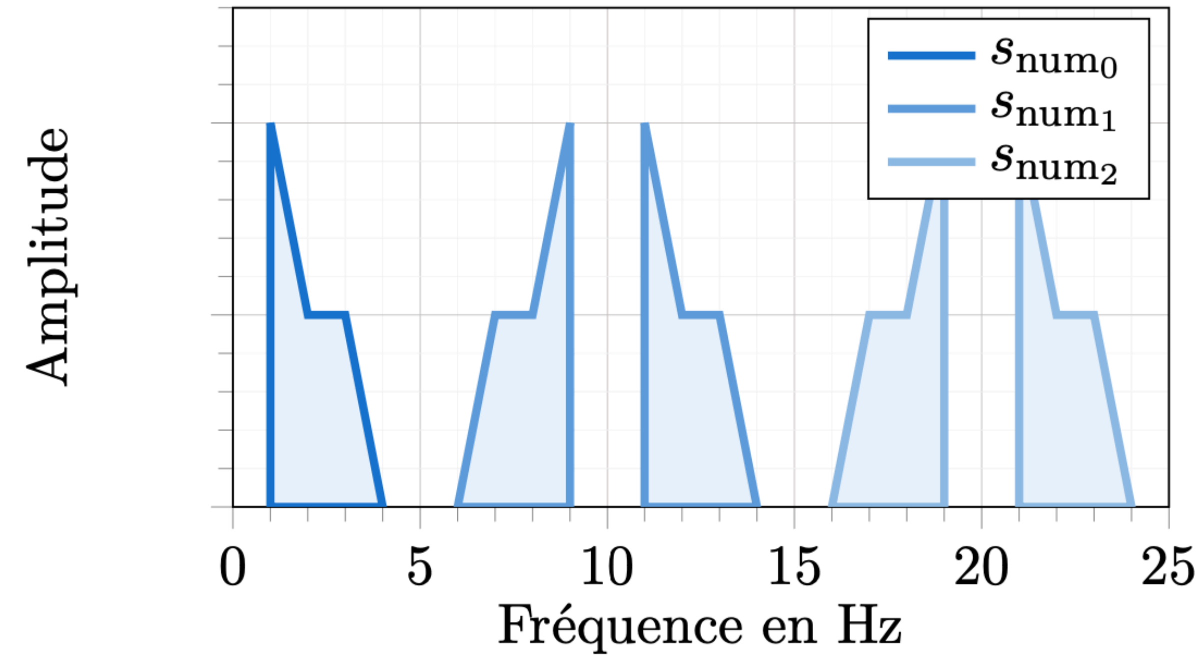


Reconstitutions possibles à partir du spectre du signal numérisé

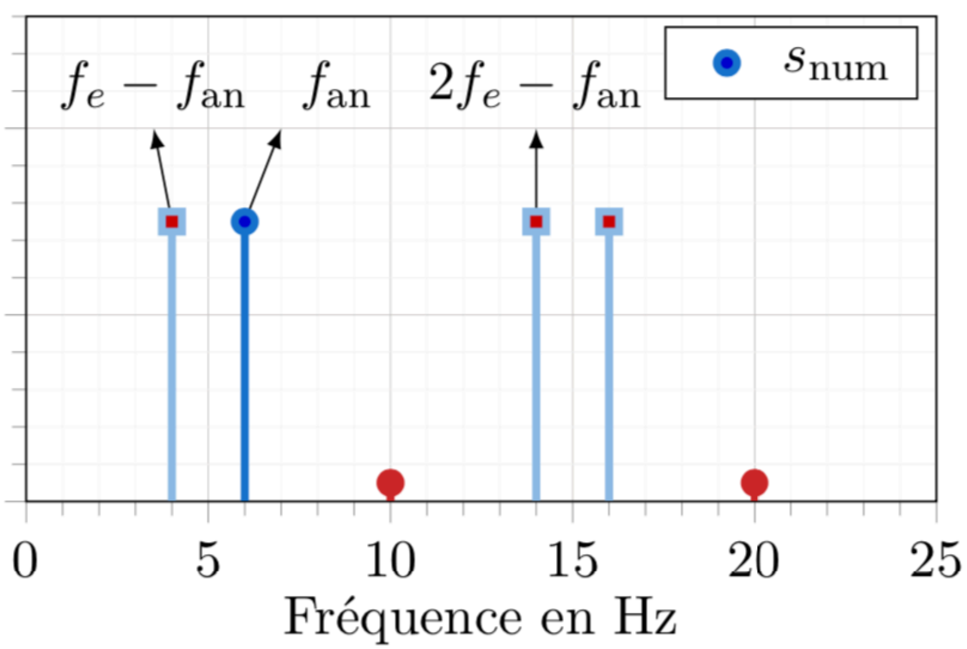


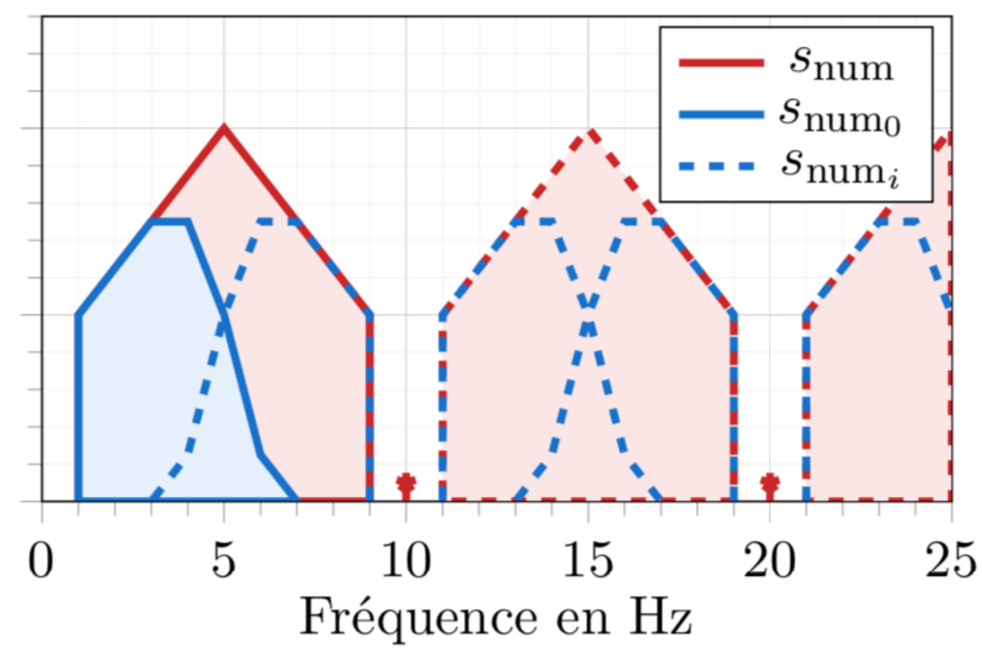
ÉCHANTILLONNAGE REPLIEMENT SPECTRAL



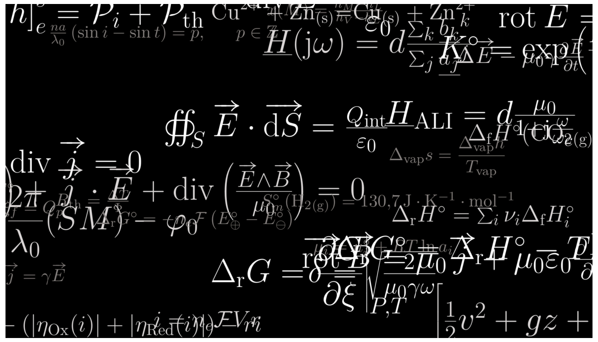


Pas de repliement spectral : un filtre permet de reconstituer le signal analogique initial





Repliement spectral : le signal numérisé ne permet plus de revenir au signal analogique initial

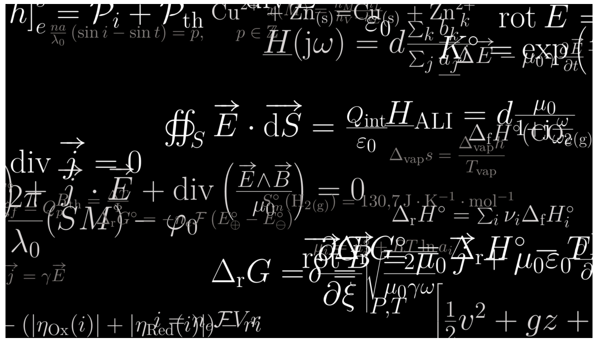


THÉORÈME DE NYQUIST-SHANNON

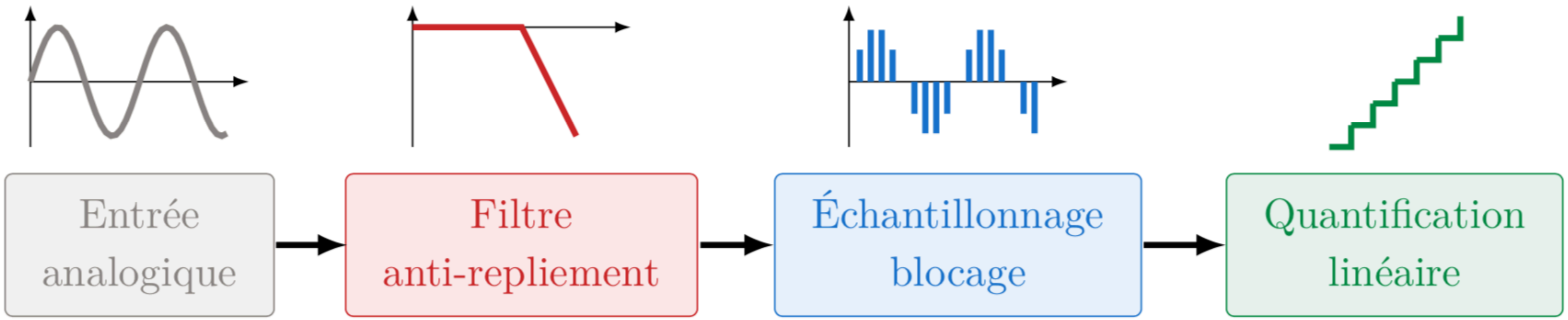
Théorème de Nyquist-Shannon

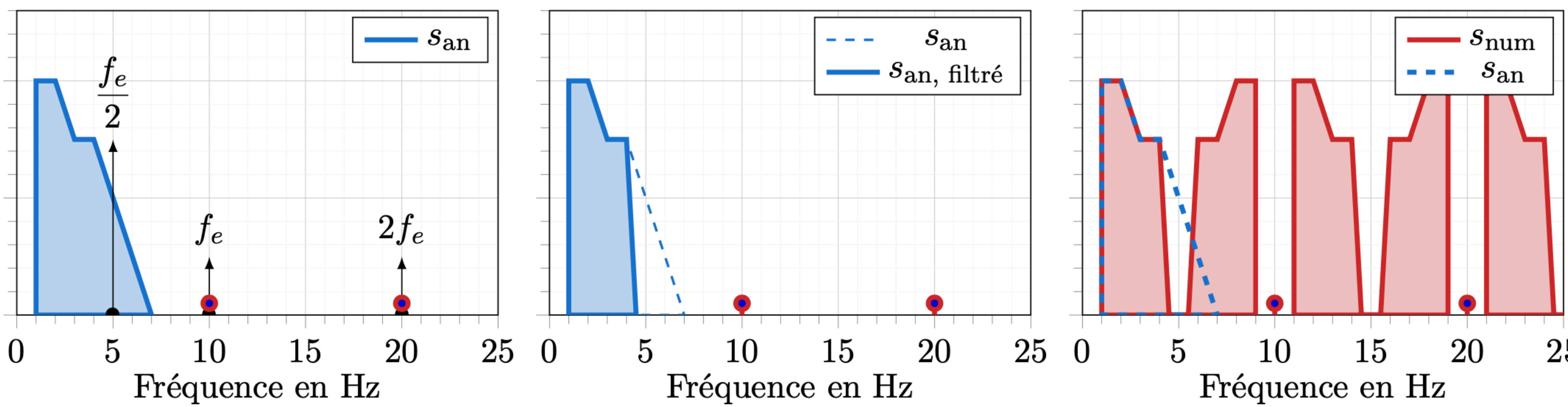
Pour qu'un signal analogique s_{an} soit correctement échantillonné, la fréquence d'échantillonnage f_e choisie doit être au moins deux fois supérieure à la fréquence maximale $f_{\max}$ de s_{an}.
Cette contrainte est appelée *critère de* NYQUIST-SHANNON et s'écrit :

$$f_e \geq 2 f_{\text{an, max}} \qquad \text{ou encore} \qquad T_e \leq \frac{T_{\text{an, max}}}{2}$$



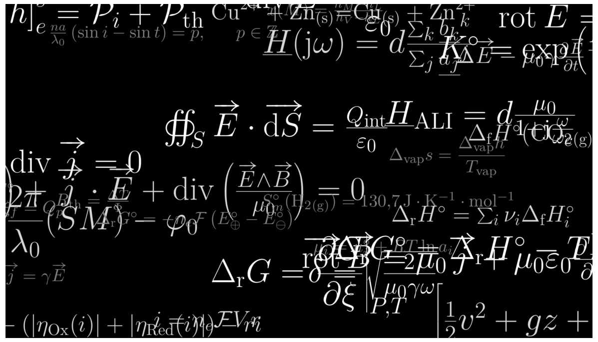
FILTRE ANTI-REPLIEMENT



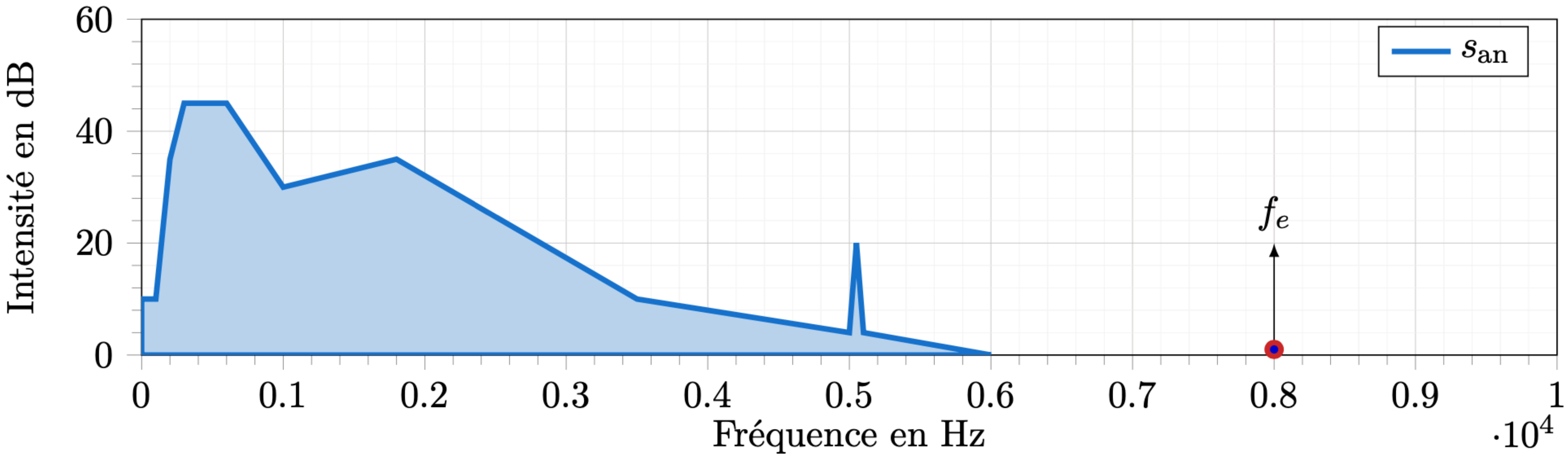


Le filtre anti-repliement « supprime » les fréquences supérieures à la moitié de la fréquence d'échantillonnage

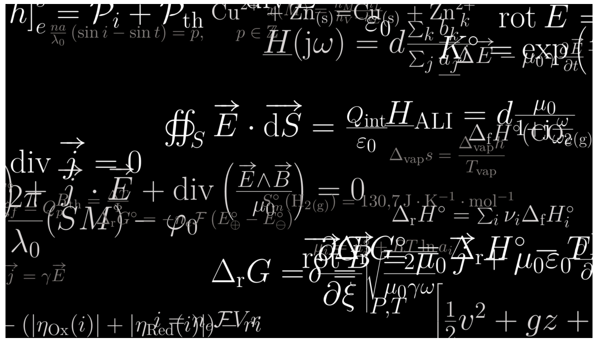
EXERCICE D'APPLICATION 2



On donne le spectre d'un signal analogique susceptible de transiter par téléphone. Ce signal a été parasité par un bruit haute fréquence à 5 kHz. Le signal audio est échantillonné à la fréquence $f_e = 8{,}0\,\text{kHz}$.



1. Tracer le spectre du signal échantillonné sur le même graphique. Commenter le résultat obtenu.
2. Comment pourrait-on se débarrasser du pic parasite qui apparaît dans le signal échantillonné et rendre le spectre du signal échantillonné plus proche de celui du signal analogique.

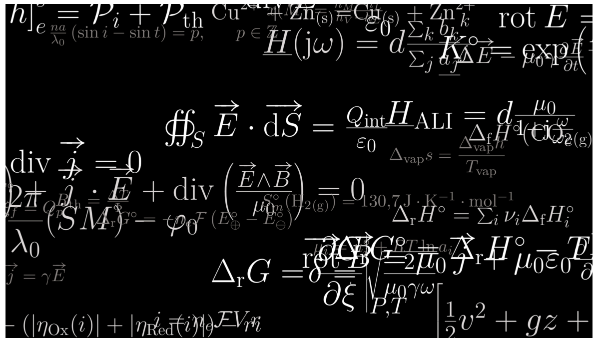


DÉMARCHE RECOMMANDÉE D'ACQUISITION NUMÉRIQUE D'UN SIGNAL

Choix de la fréquence d'échantillonnage et analyse du spectre numérique

Pour acquérir et analyser un signal analogique on doit :

- utiliser une fréquence d'échantillonnage telle que $f_e \geq 2 f_{\text{an, max}}$;
- filtrer le signal analogique avec un filtre passe-bas tel que $f_c \leq \frac{f_e}{2}$;
- analyser ou utiliser uniquement la partie $f \in [0, \frac{f_e}{2}]$ du spectre numérique obtenu.



QUANTIFICATION

Tension de plein échelle

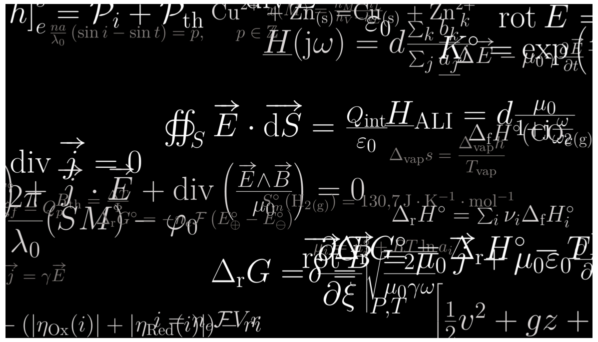
On appelle *tension de pleine échelle* d'un CAN, notée V_{PE}, l'écart entre la tension minimale et maximale mesurable par la carte d'acquisition.

Résolution d'une carte d'acquisition

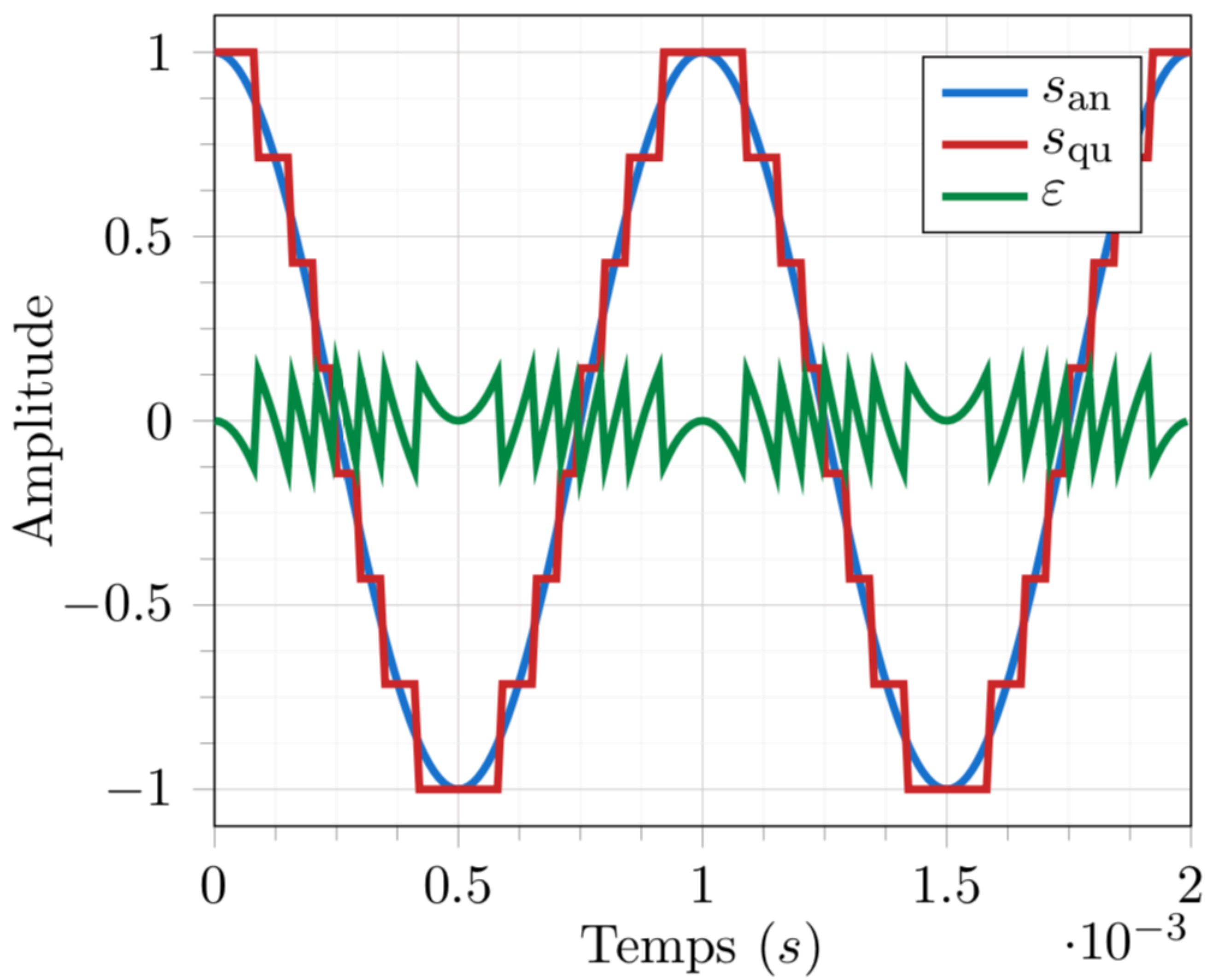
On appelle *résolution d'une carte d'acquisition*, exprimée en bits, le nombre de valeurs mesurables dans la gamme offerte par la tension de pleine échelle V_{PE} de la carte.

La précision associée est appelée *quantum* de mesure, ou Least Significant Bit :

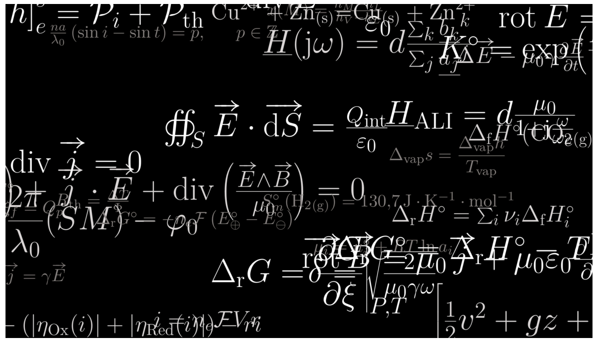
$$q = \frac{V_{\text{PE}}}{2^N}$$



ERREUR DE QUANTIFICATION



Erreur de quantification due à une carte d'acquisition à 3 bits, utilisée sur la pleine échelle



FILTRAGE NUMÉRIQUE

```python
def filtre_PB(s_num,f_c):
    Na=len(s_num) # on récupère le nombre de points d'echantillonnage
    s_filtre=[i for i in s_num] # on initialise la fonction filtre
    delta_t=Tmax/(Na-1) # on calcule le pas de temps
    for i in range(Na-1) :
        s_filtre[i+1]=s_filtre[i]+2*np.pi*f_c*delta_t*(s_num[i]-s_filtre[i])
    return s_filtre
```

Code python pour réaliser un filtrage numérique passe-bas