

# EE-206

# Systemes de mesure

# Echantillonnage c'est quoi ?

## – Définition :

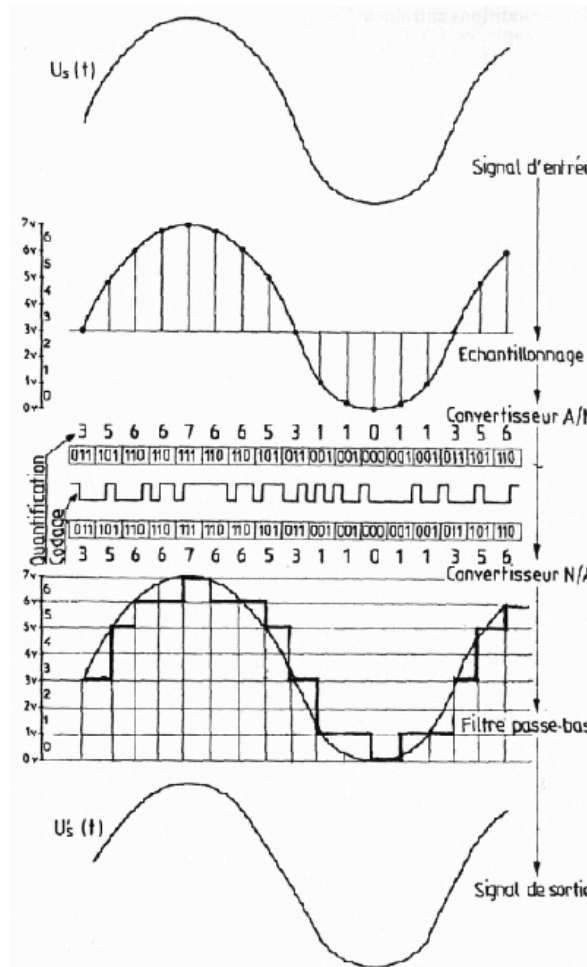
**L'échantillonnage consiste à prélever les valeurs d'un signal à intervalles définis, généralement réguliers. Il produit une suite de valeurs discrètes nommées échantillons.**

**Le traitement numérique du signal exige que le signal soit converti en une suite de nombres.**

**Cette conversion se décompose en trois opérations :**

- Prélèvement le plus souvent à intervalles réguliers de la valeur du signal**
- Quantification d'une valeur quelconque en une valeur prise dans une liste finie de valeurs valides pour le système**
- Codage du résultat pour chaque valeur valide pour le système en un code numérique**

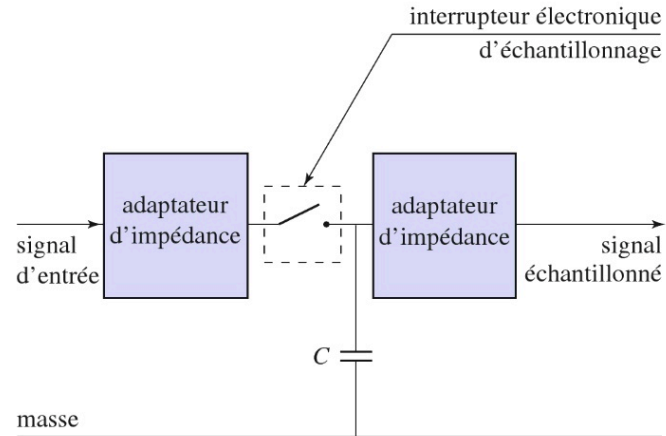
# Echantillonnage c'est quoi ?



# Quantification c'est quoi ?

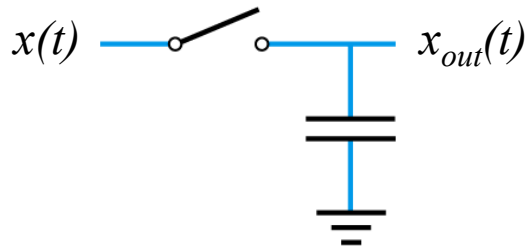
- À l'aide de l'électronique on convertit la valeur analogique en valeur digitale (quantification)
- Plusieurs méthodes :
  - Convertisseur « flash »
  - Convertisseur « série »
  - Convertisseur « par approximations successives »
  - Convertisseur « simple rampe »
  - Convertisseur « double rampe »

# Echantillonneur bloqueur (Sample & Hold)

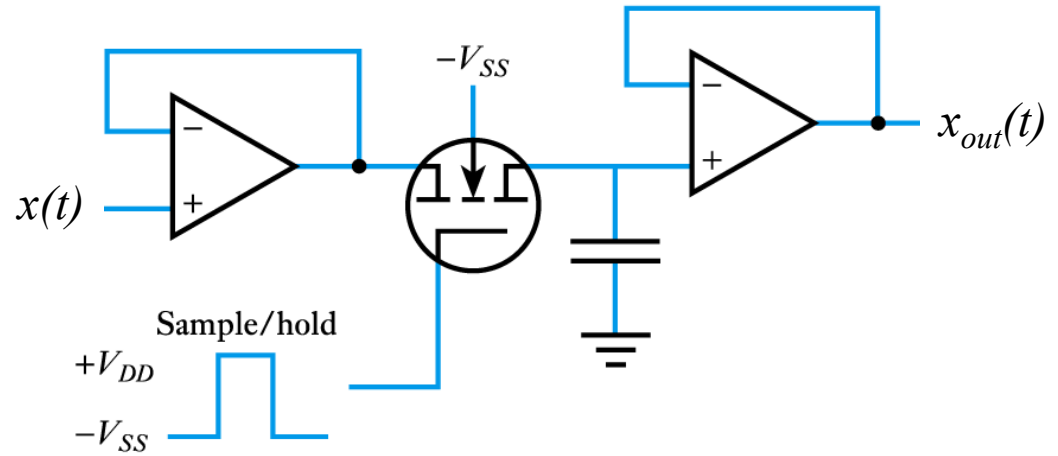


- Pour éviter la variation de la mesure pendant la conversion on le mémorise
- On « capture » la valeur du signal d'entrée dans une capacité avant de la transmettre au convertisseur
- Il faut un peu d'électronique pour adapter les impédances d'entrées et de sortie

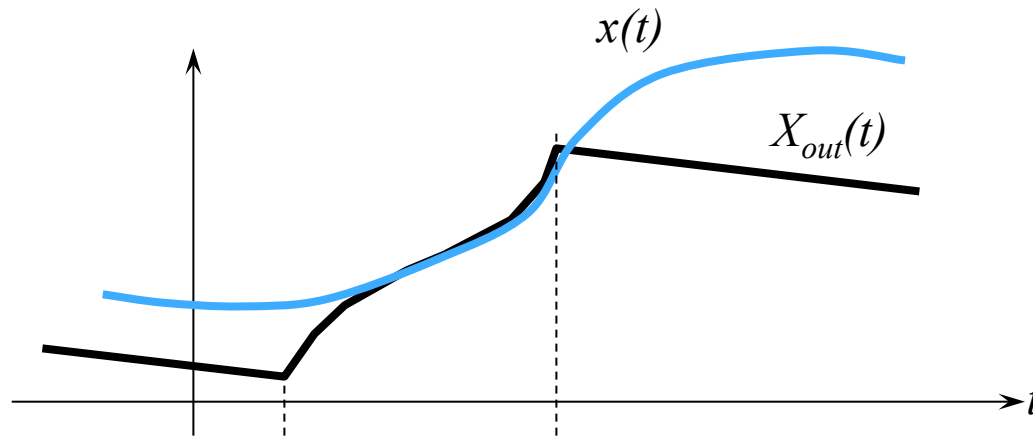
# Echantillonneur bloqueur (Sample & Hold)



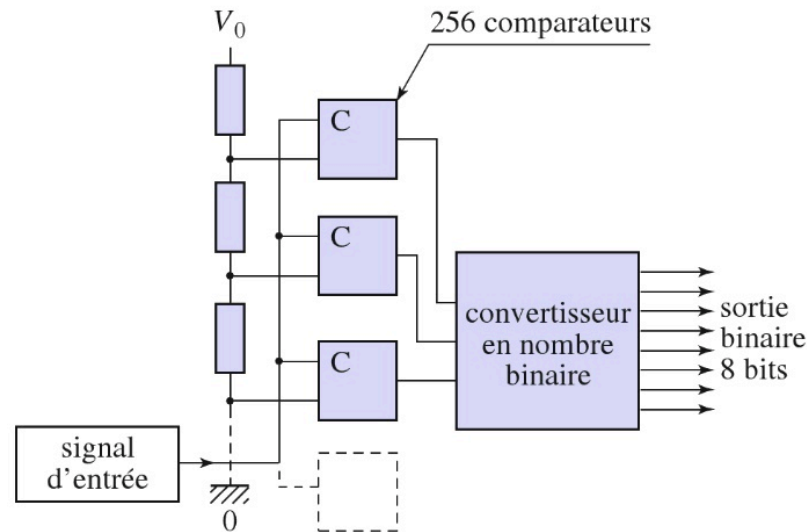
(a) Basic arrangement



(b) A typical circuit

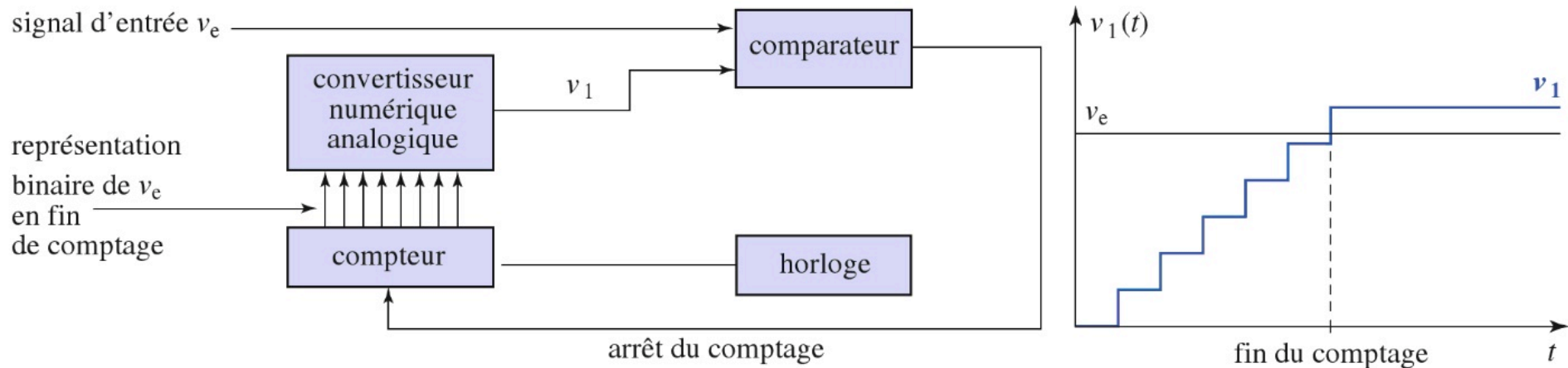


# Convertisseur « flash »



- Exemple avec un convertisseur 8 bits ( $2^8=256$ )
- $V_0$  est subdivisée en 256 valeurs différentes
- Il y a 256 comparateurs
- Qui fournissent l'info à un convertisseur
- Avantage : très rapide
- Désavantage : « cher » car bcp de composants, dépend du nombre de bits

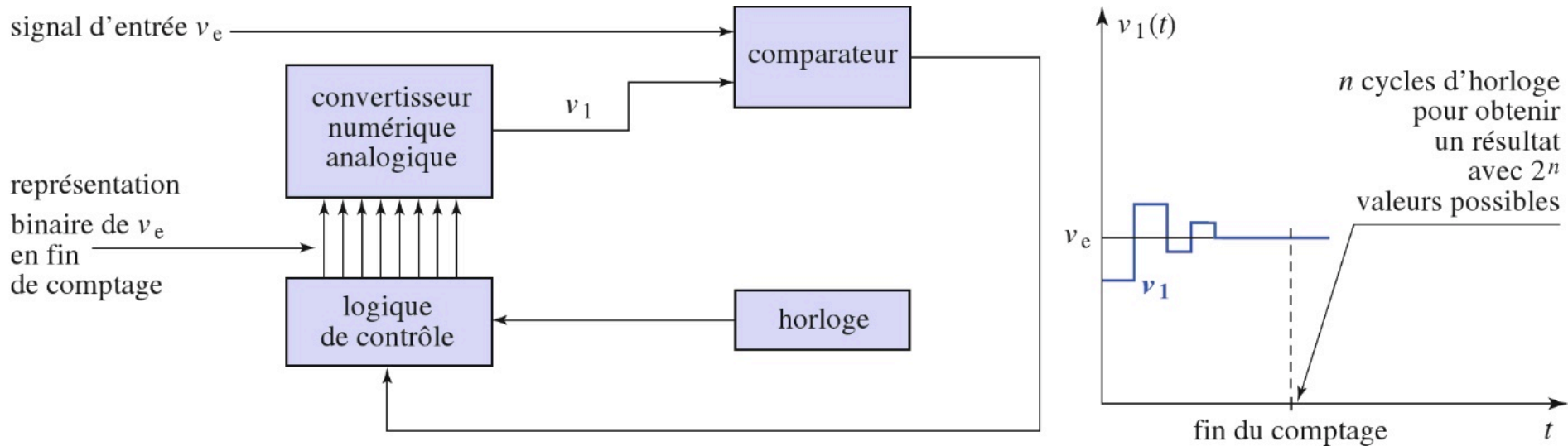
# Convertisseur « série »



- $V_1$  augmente par pas
- Une fois que  $V_1$  dépasse  $V_e$  le système s'arrête
- La valeur binaire de  $V_e$  est immédiatement disponible à la sortie du compteur
- Désavantage : vitesse de conversion lente et inégale en fonction de la valeur mesurée

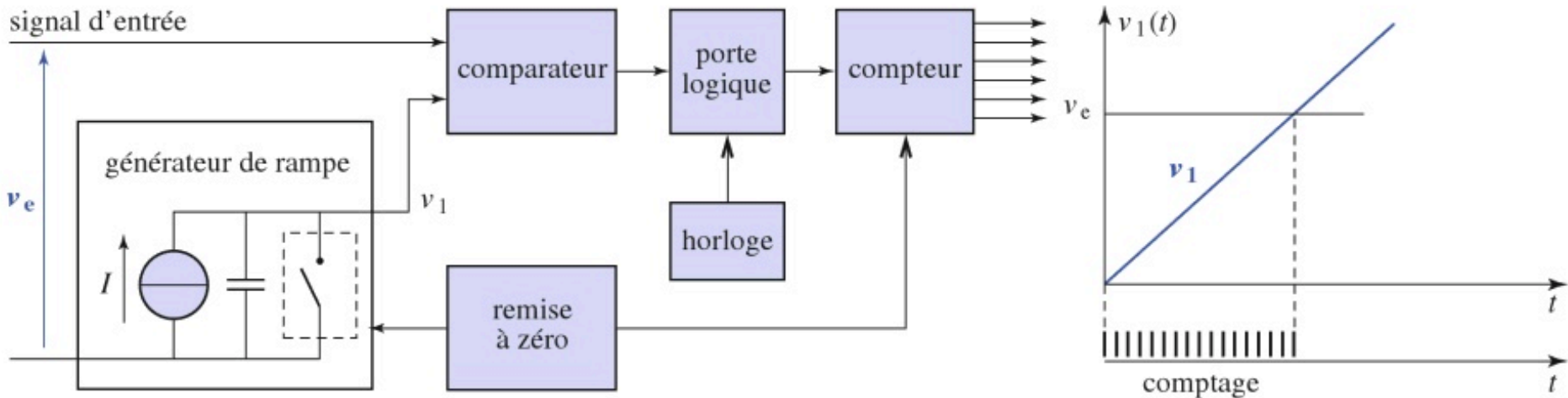


# Convertisseur « par approximations successives » SAR



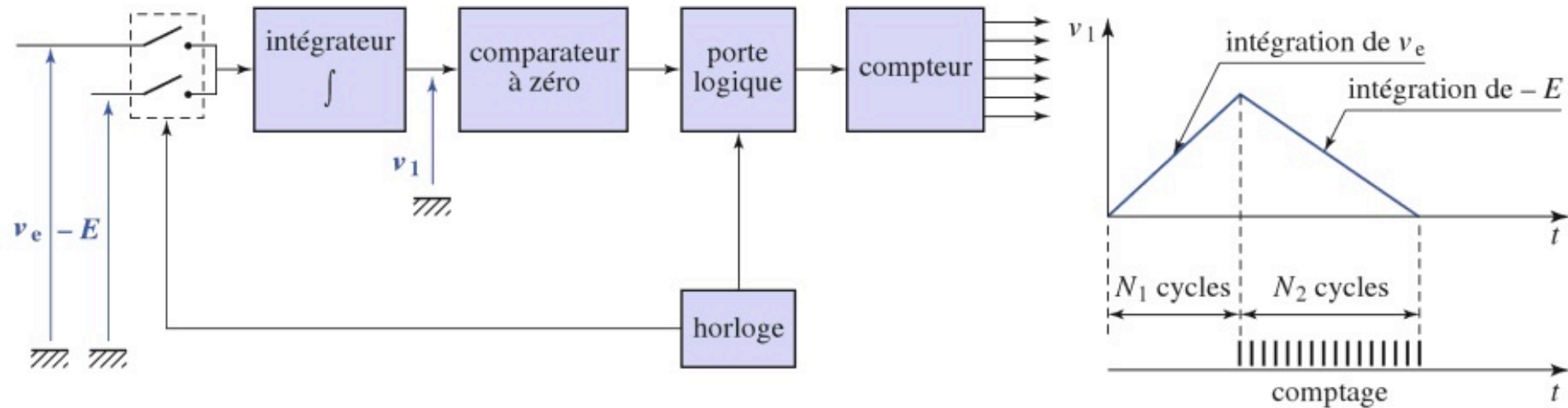
- $V_1$  varie par dichotomie
- Il faut  $n$  cycle d'horloge pour obtenir la valeur finale (8 bits = 8 cycles)
- La valeur binaire de  $V_e$  est immédiatement disponible à la sortie de la logique de contrôle
- Avantage : vitesse de conversion constante et « relativement » rapide

# Convertisseur « simple rampe »



- $V_1$  augmente linéairement jusqu'à ce que  $V_e = V_1$
- Le temps de conversion dépend de la valeur à mesurer
- La valeur du compteur est une image « temporelle » de  $V_e$
- Désavantage : vitesse de conversion variable
- Avantage : semblerait ne pas coûter cher

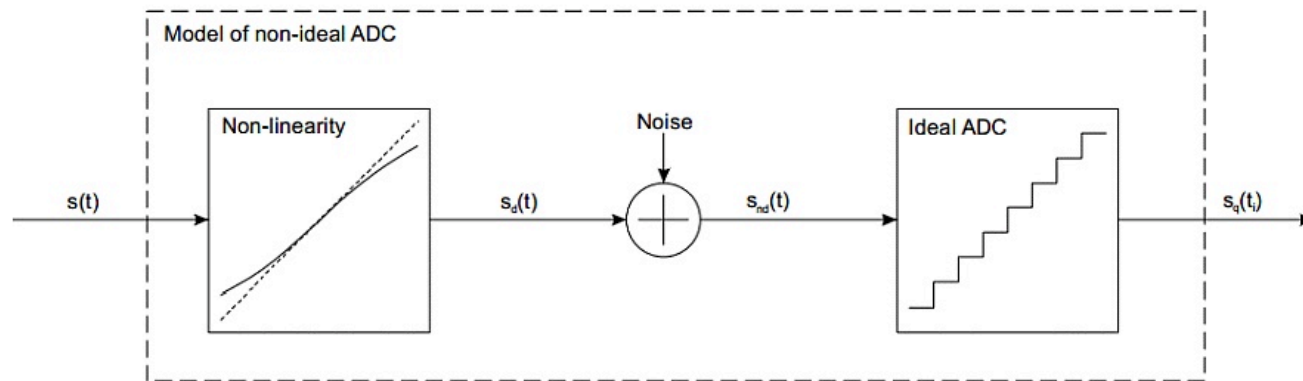
# Convertisseur « double rampe »



- $V_e$  est intégré pendant un temps de  $N_1$  cycles de comptage
- L'intégrateur est ensuite vidé par  $-E$  en comptant le nombre de cycles et  $V_e = E \cdot N_2 / N_1$
- Avantage : indépendant de la capacité et de la fréquence d'horloge (contrairement au convertisseur simple rampe)
- « Désavantage » : lent mais dans le cas d'un multimètre vu qu'on affiche environ toutes les secondes une nouvelle valeur ce n'est pas grave
- Méthode utilisée régulièrement dans les multimètres

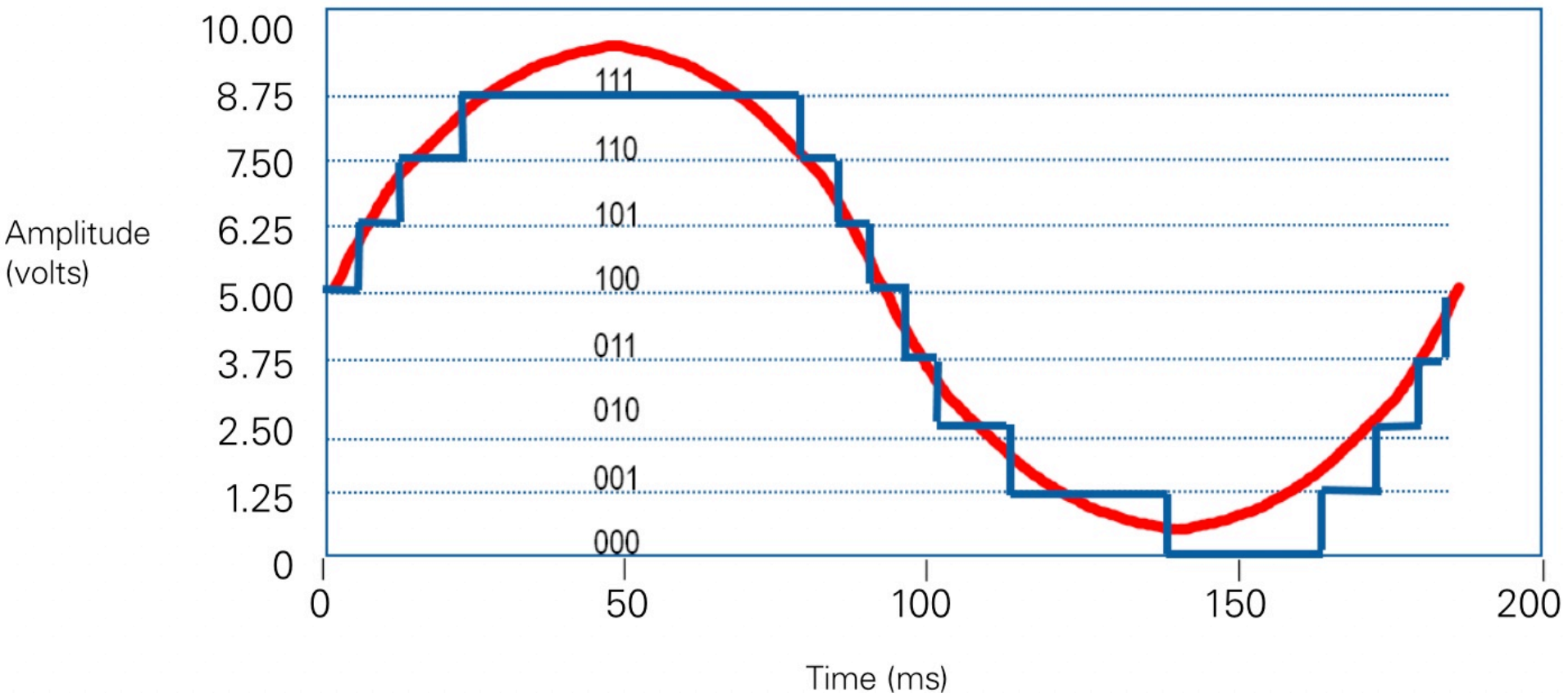
# Erreurs dues aux convertisseurs

- 3 sources d'erreurs :
  - erreur de quantifications
  - erreur de non-linéarité
  - bruit
- Quantification : égale au demi-pas de quantification
- Non-linéarité : due aux non-linéarité créés par l'électronique
- Bruit : bruit électronique, perturbation EM, etc.
- L'erreur totale est la somme des 3 mais la non-linéarité est prépondérante.

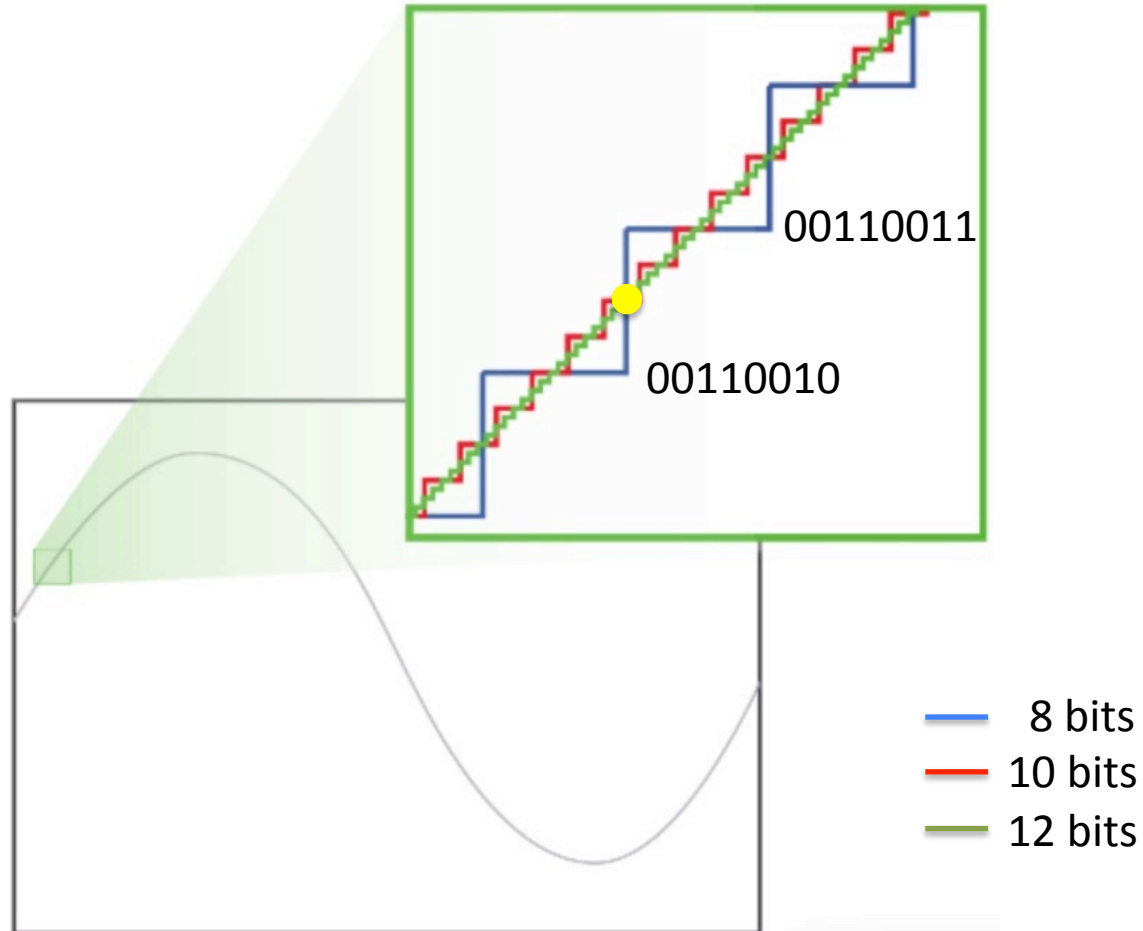


# Nombre de bits et résolution

## Exemple avec 3 bits



# Qualité de la mesure en fonction du nombre de bits



# Nombre de bits et résolution

## Exemple réel



**HDO4034A** (350 MHz Bandwidth, 4 Input Channels, 10 GS/s)

▶ Quick Specs

Bandwidth	350 MHz
Sample Rate	10 GS/s on 4 Ch with ESR
Maximum Acquisition Memory	25 Mpts (4 Ch operation)
Input Channels	4
Vertical Resolution	<b>12-bits</b>

Résolution : si on est sur la gamme 1V/div donc 8Vpeak-peak on a :  $8/(2^{12})=1.95\text{mV}$

# Nombre de bits et résolution

## Exemple réel

### NI 9215 Specifications

The following specifications are typical for the range -40 °C to 70 °C unless otherwise noted.



**Caution** Do not operate the NI 9215 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

### Input Characteristics

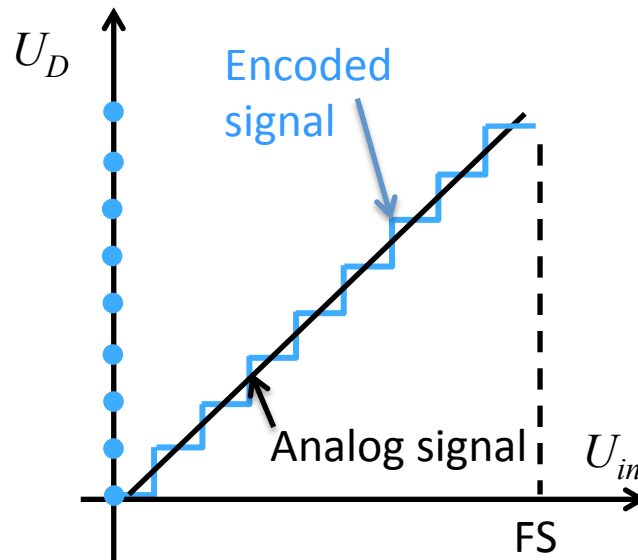
Number of channels	4 analog input channels
ADC resolution	16 bits
Type of ADC	Successive approximation register (SAR)
Input range	±10.0 V

Résolution :  $20/(2^{16})=0.3\text{mV}$



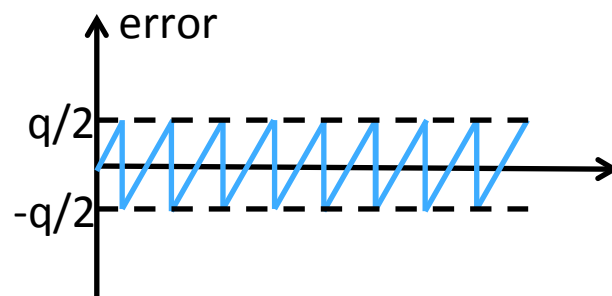


# Erreur de quantification

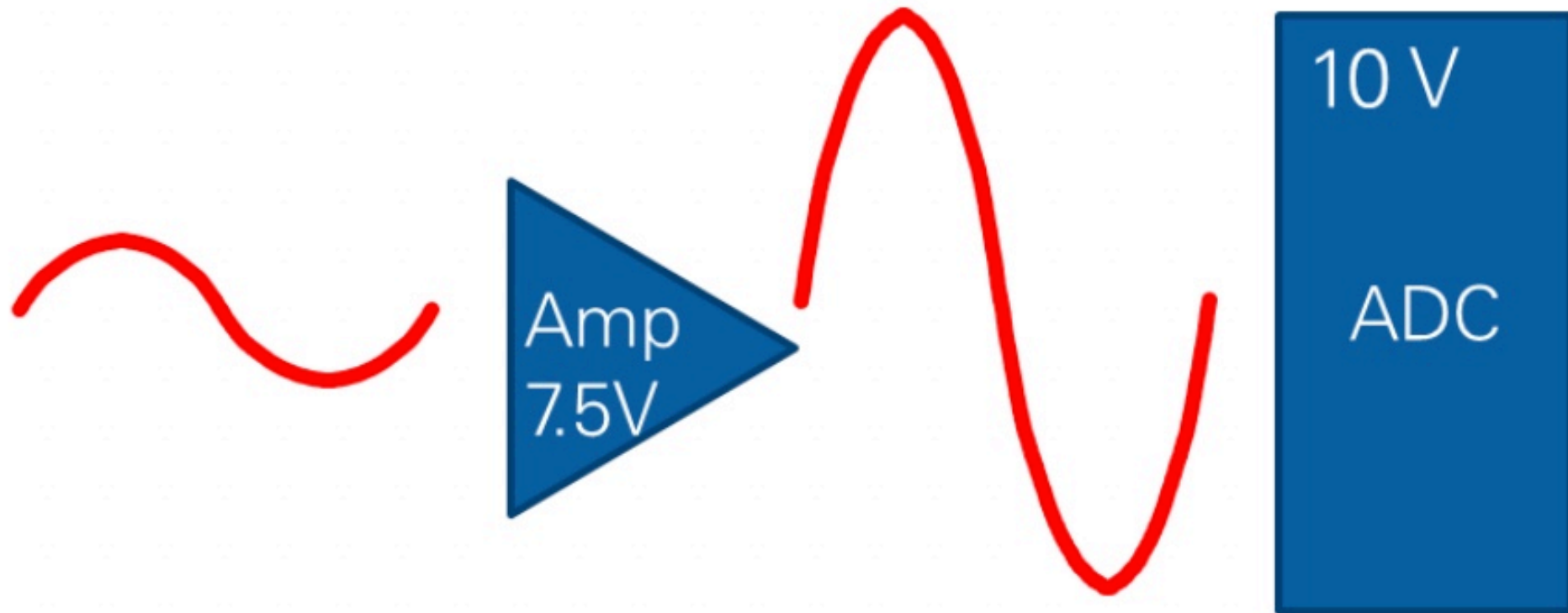


Erreur de quantification maximale :

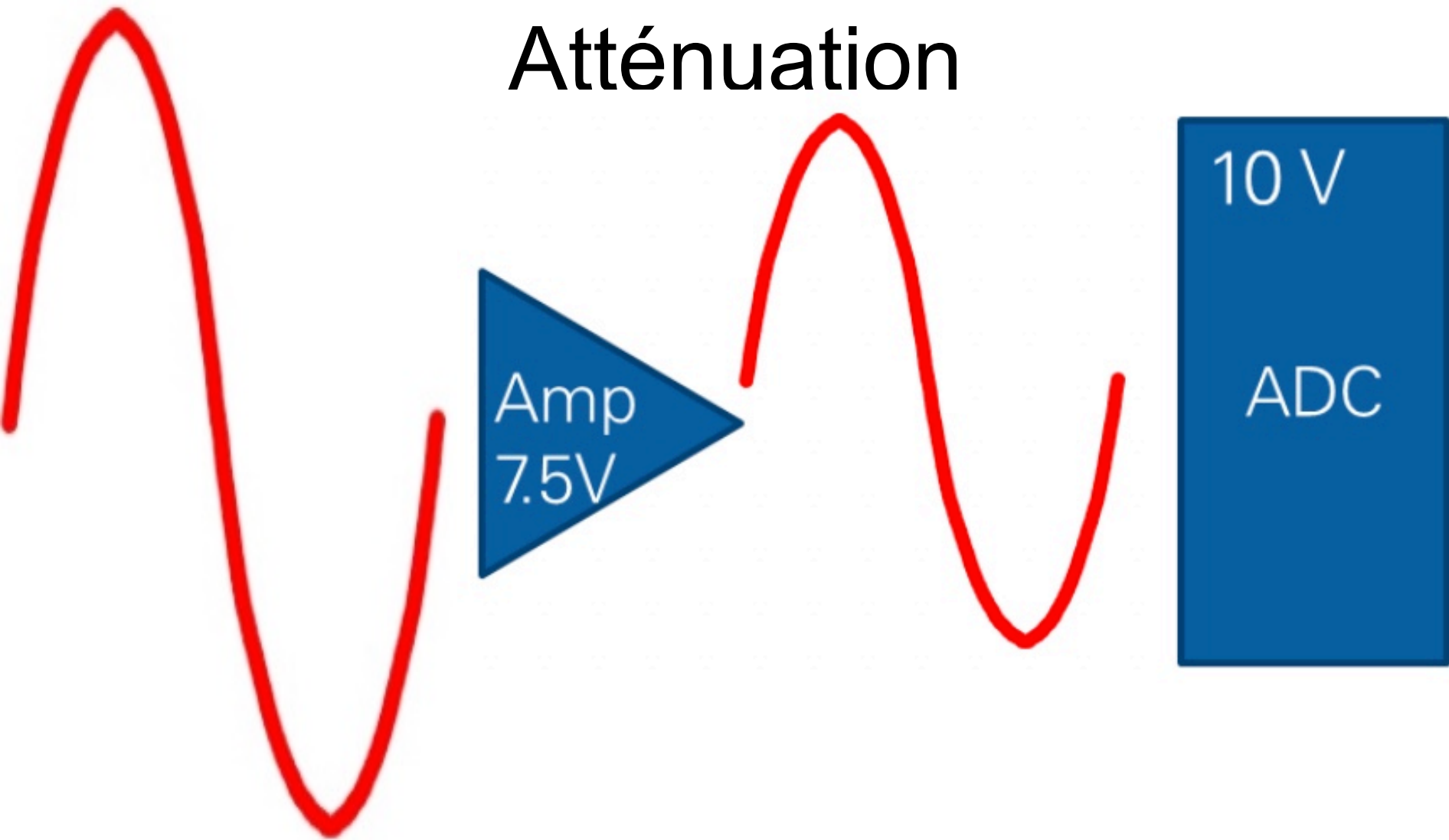
$$\text{Erreur}_{\max} = \pm q/2$$



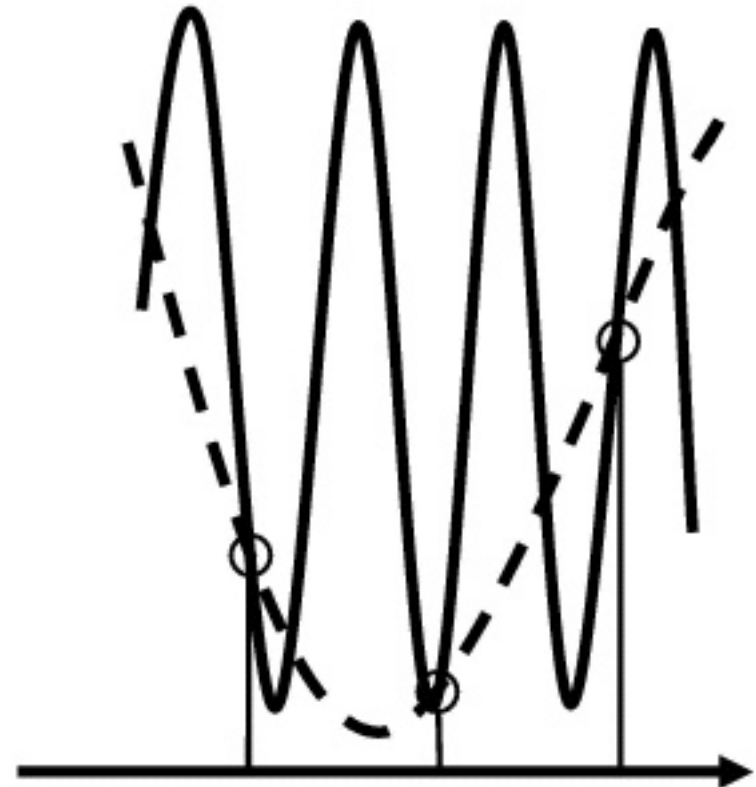
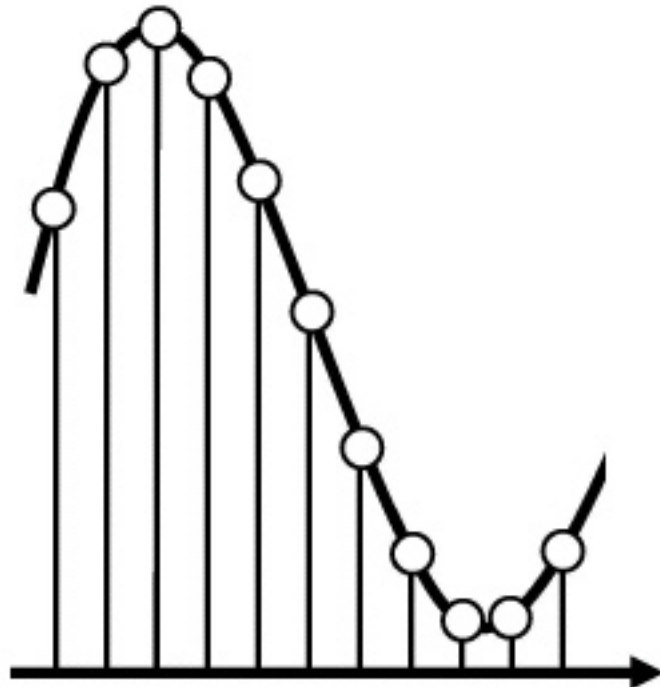
# Amplification



# Atténuation



# Fréquence d'échantillonnage



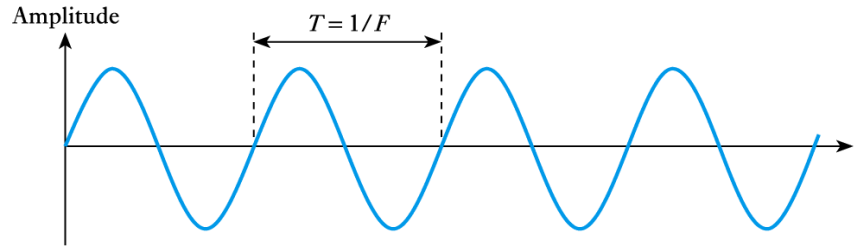
# Théorème de Nyquist et Shannon

« Afin de garantir la restitution fidèle du signal, le théorème de l'échantillonnage stipule que la fréquence d'échantillonnage doit être au moins égale ou supérieure au double de la fréquence maximale à reproduire »

$$f_e \geq 2 \cdot f_{max} \text{ du signal}$$

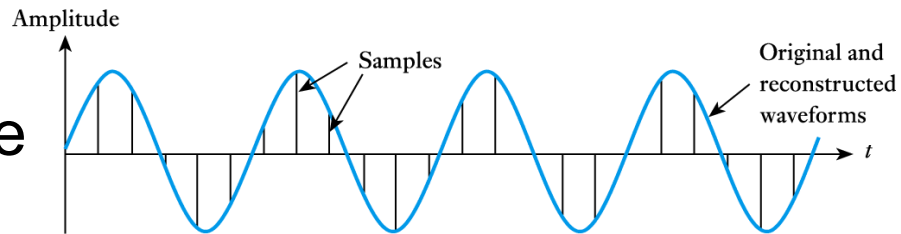
# Fréquence d'échantillonnage

Signal à mesurer



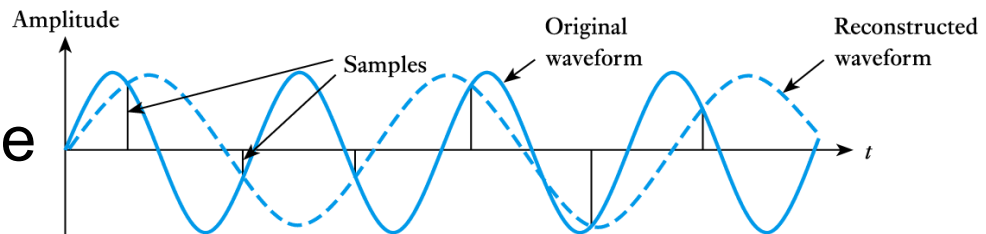
(a) Original waveform

Bon échantillonnage



(b) Waveform sampled above the Nyquist rate

Mauvais échantillonnage

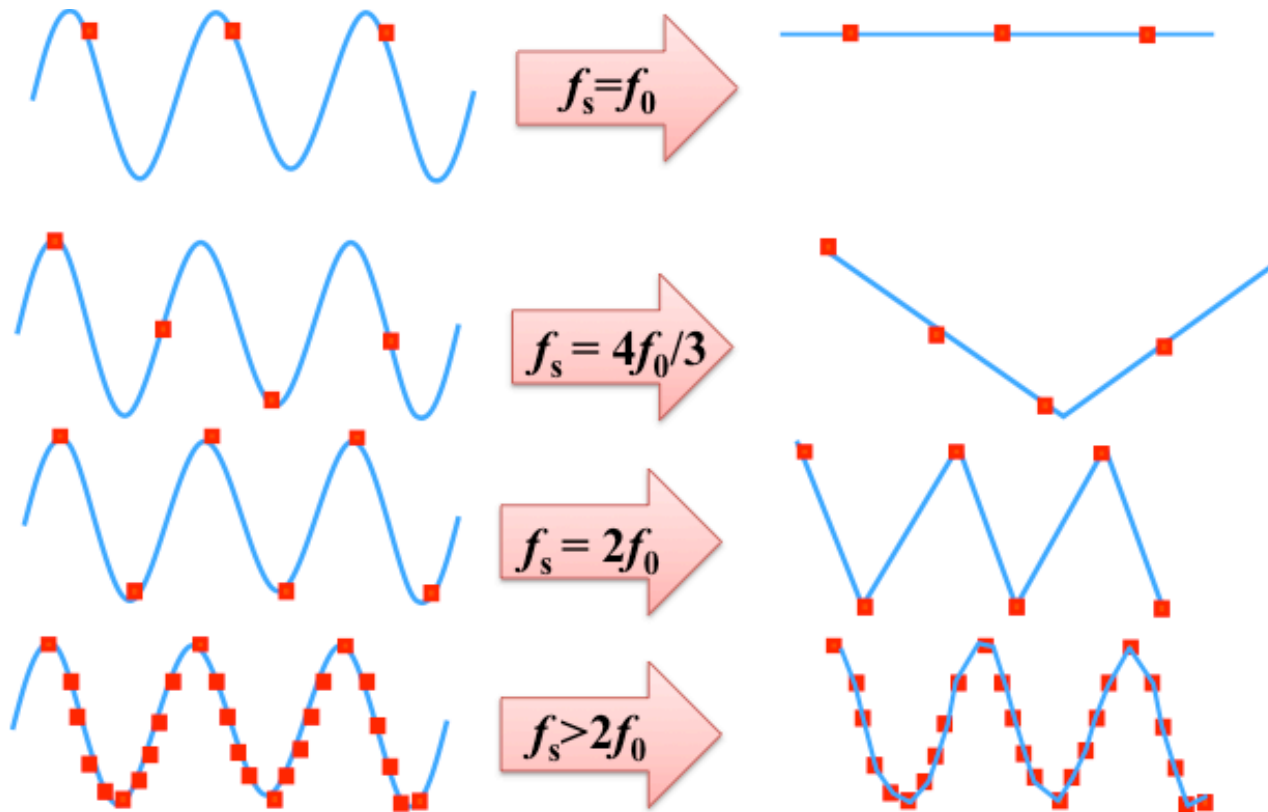


(c) Waveform sampled below the Nyquist rate

# Fréquence d'échantillonnage

Signal original + échantillons

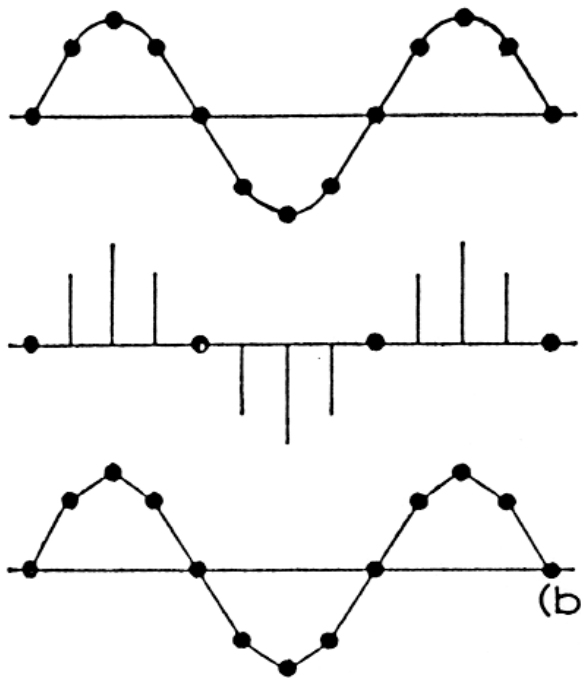
Signal reconstitué



# Fréquence d'échantillonnage

Bon échantillonnage

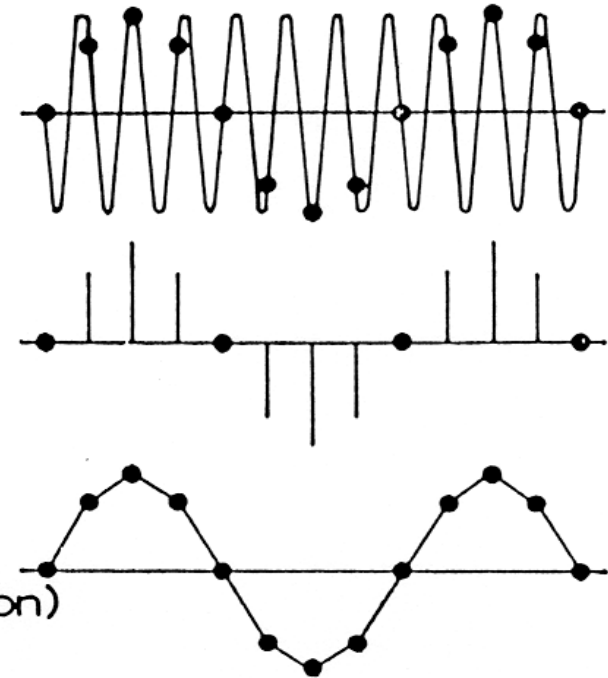
Mauvais échantillonnage



Original function

Sampled data

Reconstructed function  
(by linear interpolation)

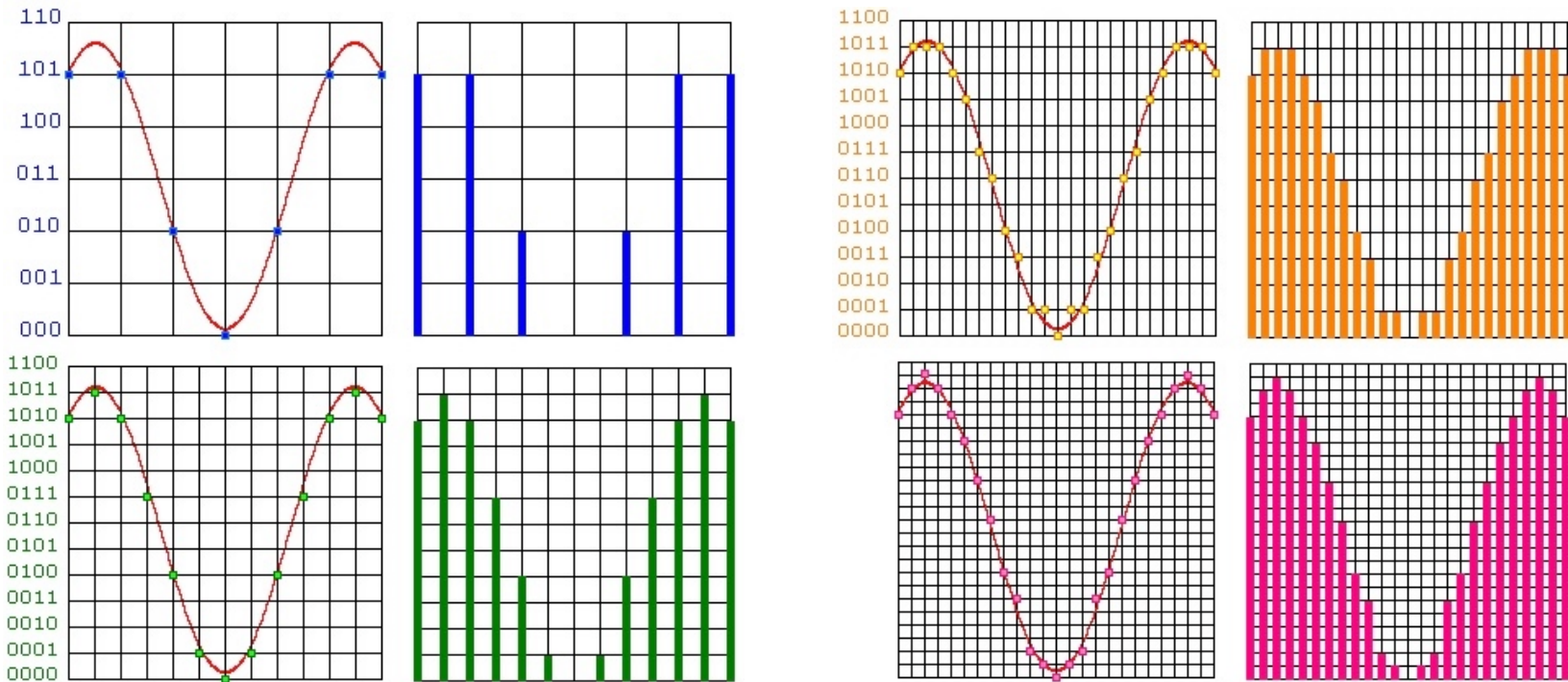




# Fréquence d'échantillonnage

## Exemples Wolfram

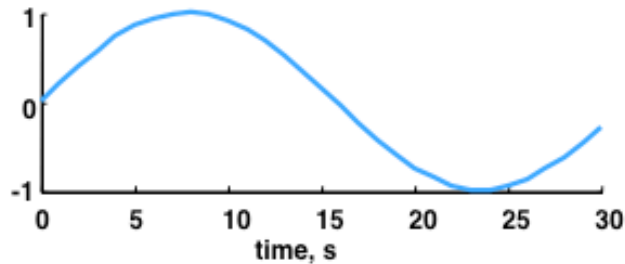
# Fréquence d'échantillonnage et quantification



# Repliement et filtre anti-repliement

Time domain

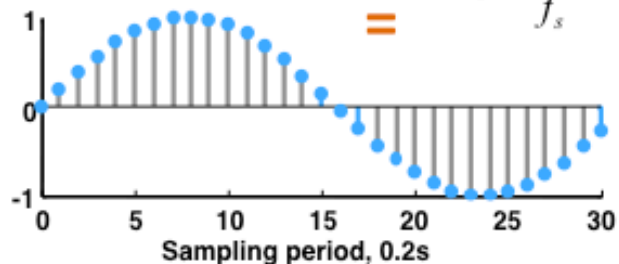
$$x(t) = A \cdot \sin \omega_1 t \quad f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}$$



×



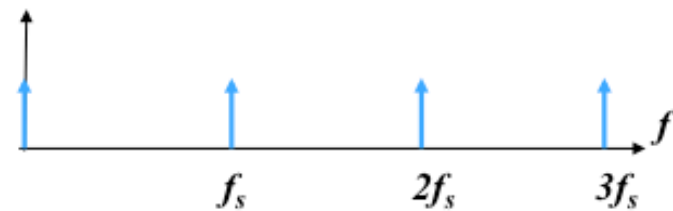
=



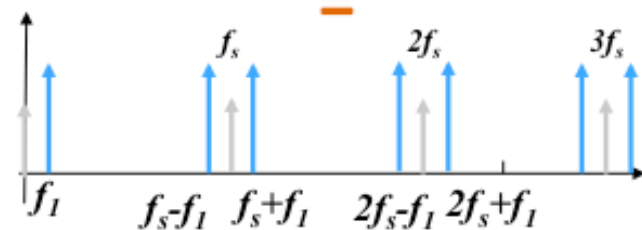
Frequency domain



×

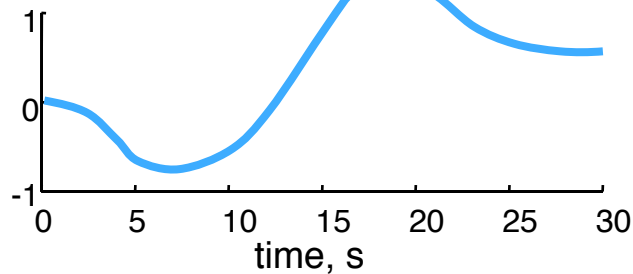


=



# Repliement et filtre anti-repliement

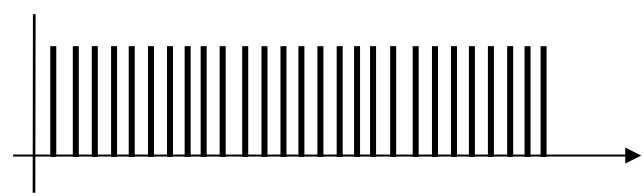
Time domain



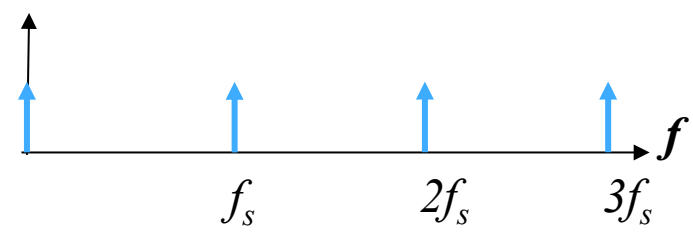
Frequency domain



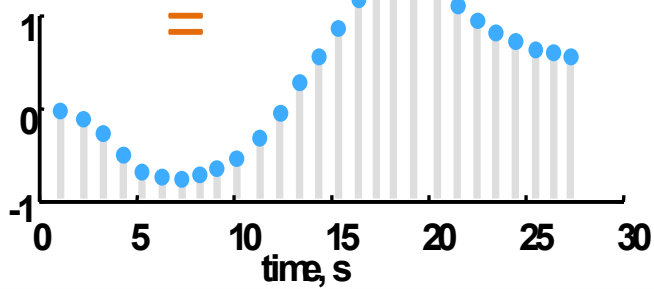
×



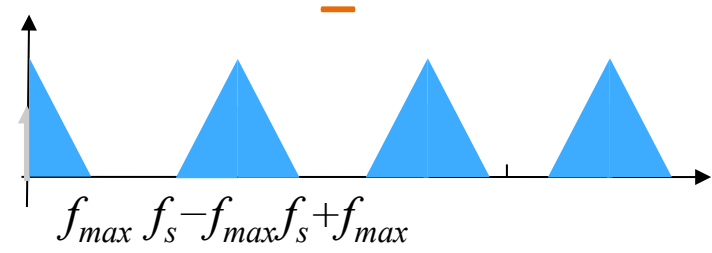
×



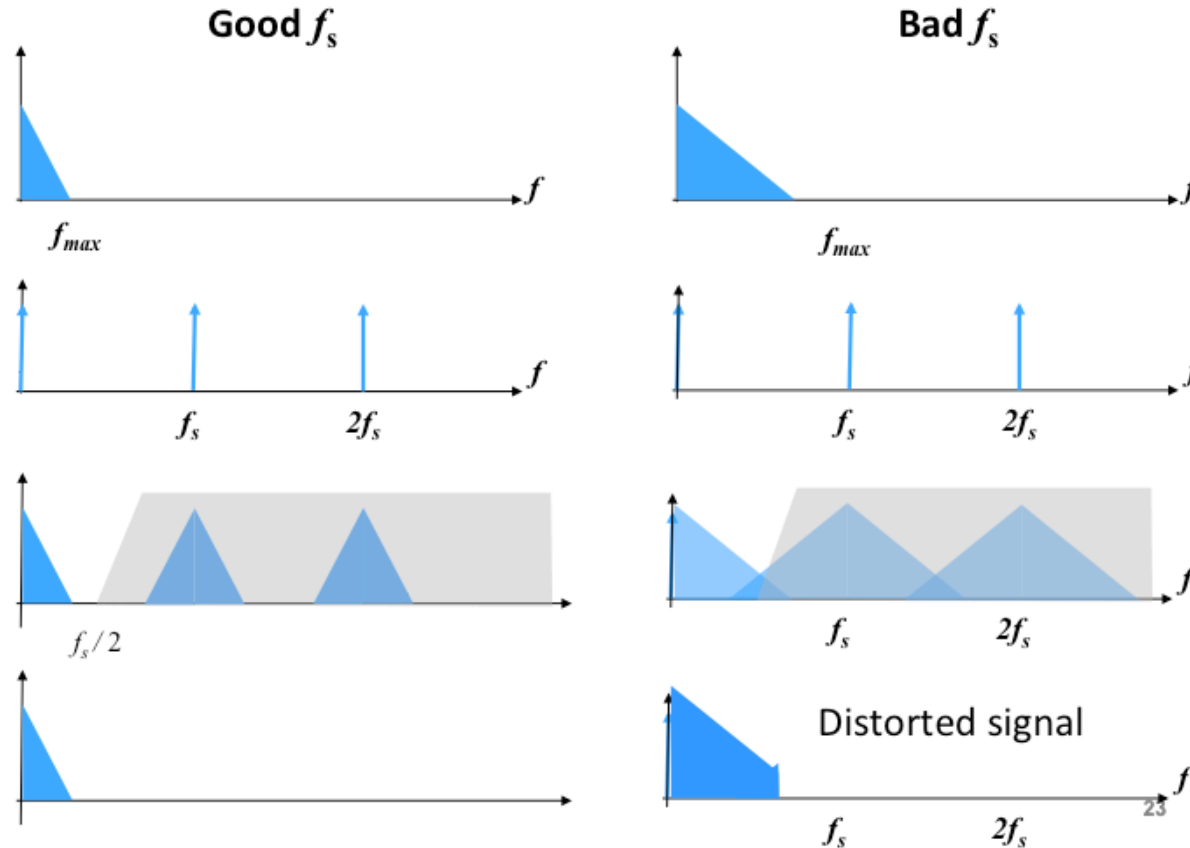
=



=

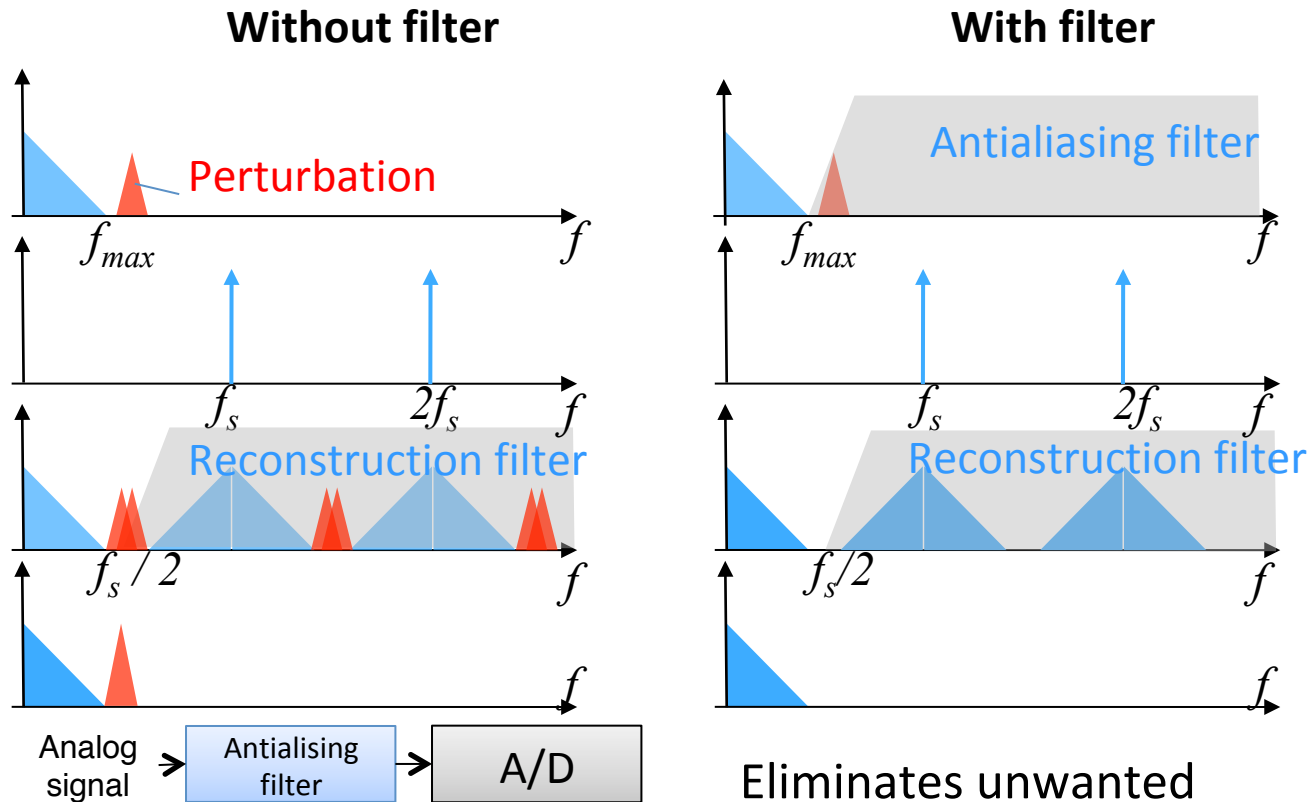


# Repliement et filtre anti-repliement



In practice  $f_s$  several times larger than  $f_{max}$

# Repliement et filtre anti-repliement



Eliminates unwanted frequencies ( $< f_s / 2$ ) before sampling

# Résumé sur l'échantillonnage

- Mise en forme / amplification / atténuation
- Filtre anti-repliement (antialiasing)
- Échantillonneur bloqueur (Sample & Hold)
- Un système de conversion (convertisseur Analog -> Digital)
- Un codage
- Une fréquence d'échantillonnage assez grande pour garantir le théorème de Nyquist & Shannon ( $f_{s_{min}} \geq f_{max}$ , mieux  $f_s \gg f_{max}$ )

