

EE-206

Systemes de mesure

Echantillonnage c'est quoi ?

– Définition :

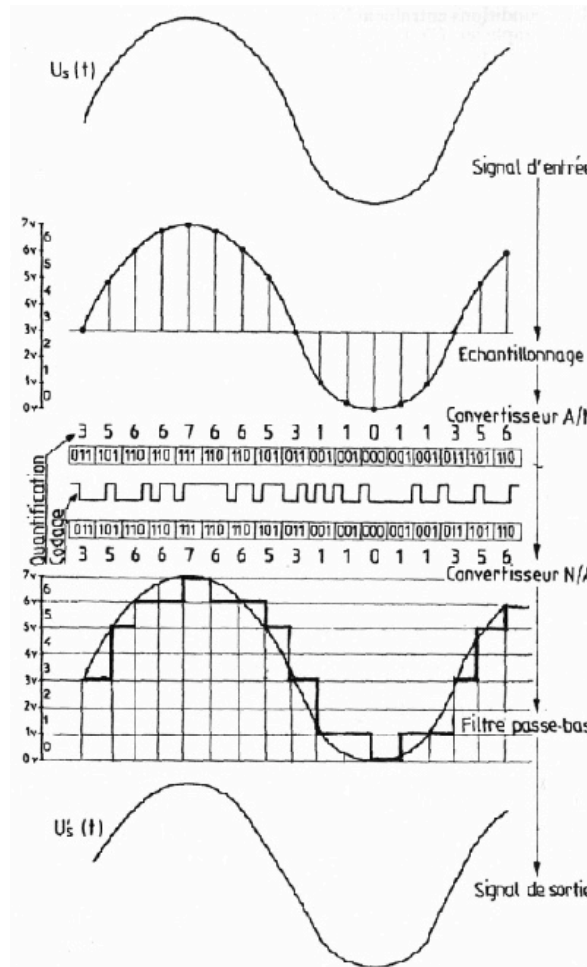
L'échantillonnage consiste à prélever les valeurs d'un signal à intervalles définis, généralement réguliers. Il produit une suite de valeurs discrètes nommées échantillons.

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**

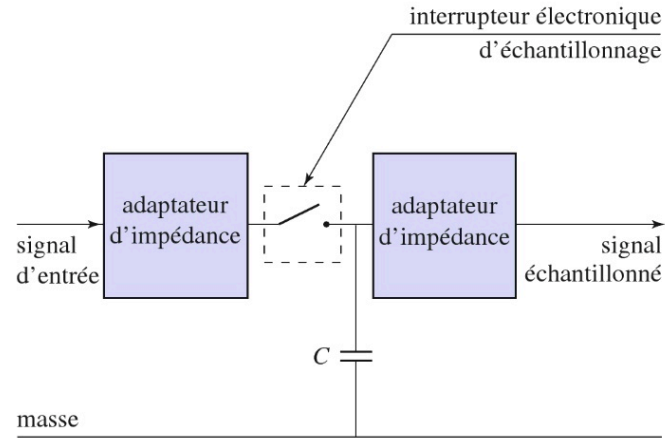
Echantillonnage c'est quoi ?



Quantification c'est quoi ?

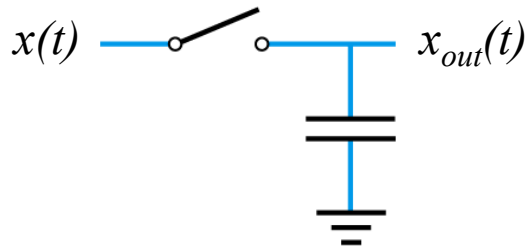
- À l'aide de l'électronique on convertit la valeur analogique en valeur digitale (quantification)
- Plusieurs méthodes :
 - Convertisseur « flash »
 - Convertisseur « série »
 - Convertisseur « par approximations successives »
 - Convertisseur « simple rampe »
 - Convertisseur « double rampe »

Echantillonneur bloqueur (Sample & Hold)

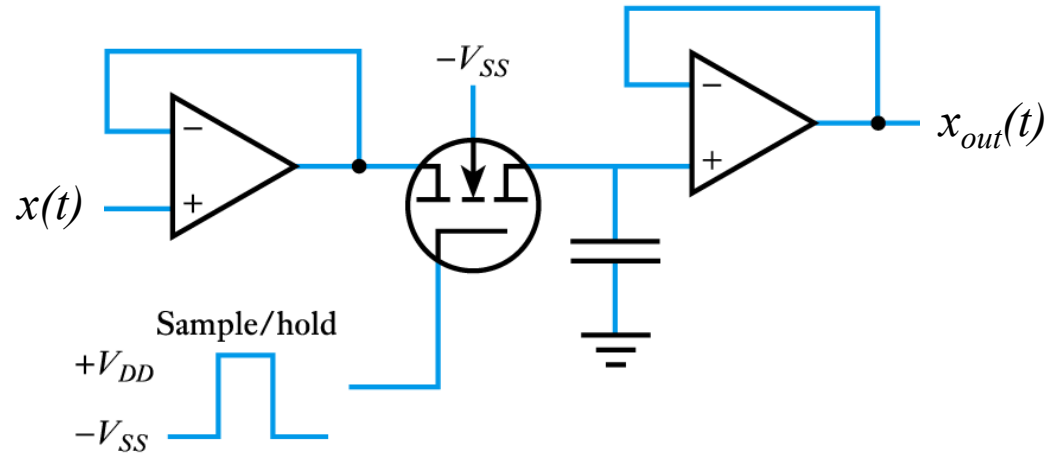


- Pour éviter la variation de la mesure pendant la conversion on le mémorise
- On « capture » la valeur du signal d'entrée dans une capacité avant de la transmettre au convertisseur
- Il faut un peu d'électronique pour adapter les impédances d'entrées et de sortie

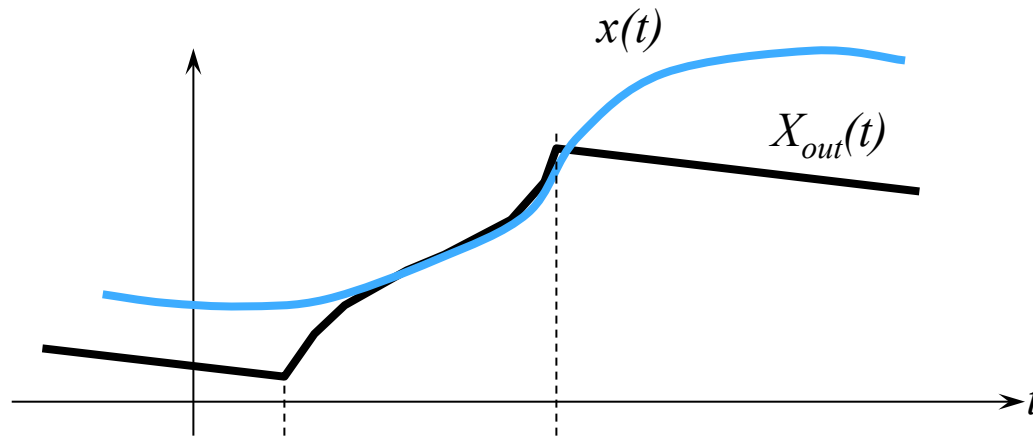
Echantillonneur bloqueur (Sample & Hold)



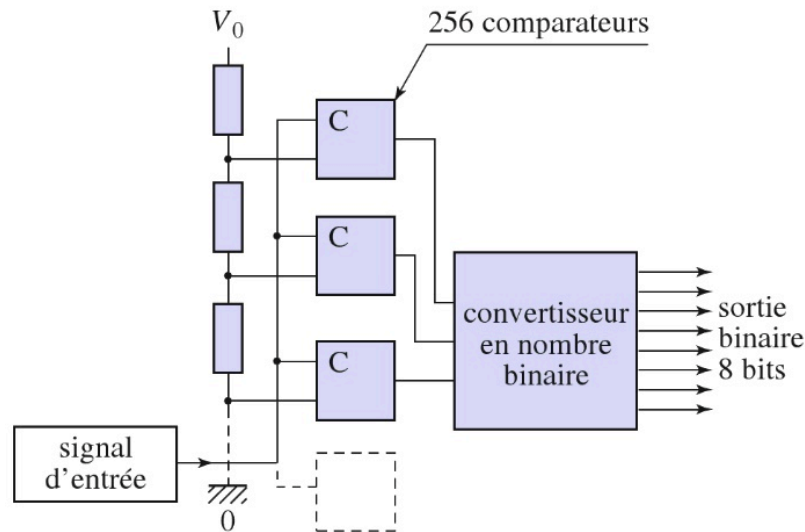
(a) Basic arrangement



(b) A typical circuit

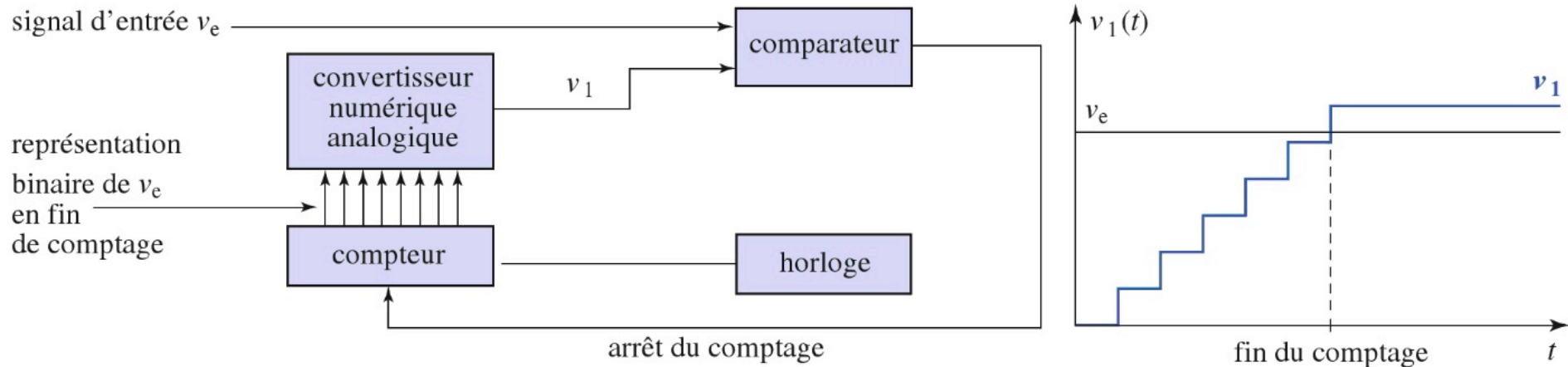


Convertisseur « flash »



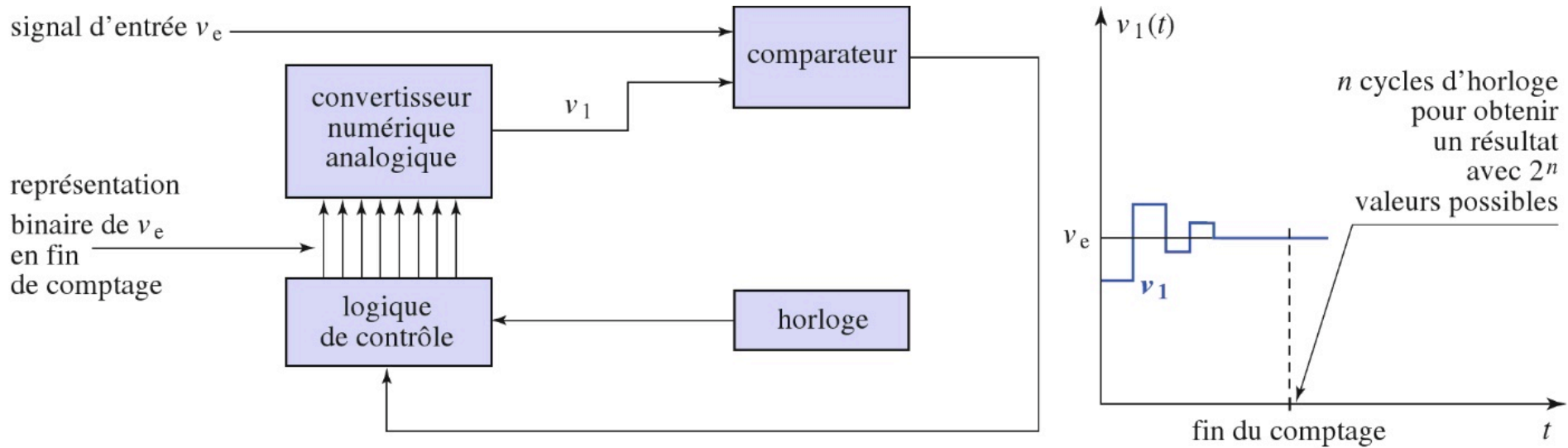
- Exemple avec un convertisseur 8 bits ($2^8=256$)
- V_0 est subdivisée en 256 valeurs différentes
- Il y a 256 comparateurs
- Qui fournissent l'info à un convertisseur
- Avantage : très rapide
- Désavantage : « cher » car bcp de composants, dépend du nombre de bits

Convertisseur « série »



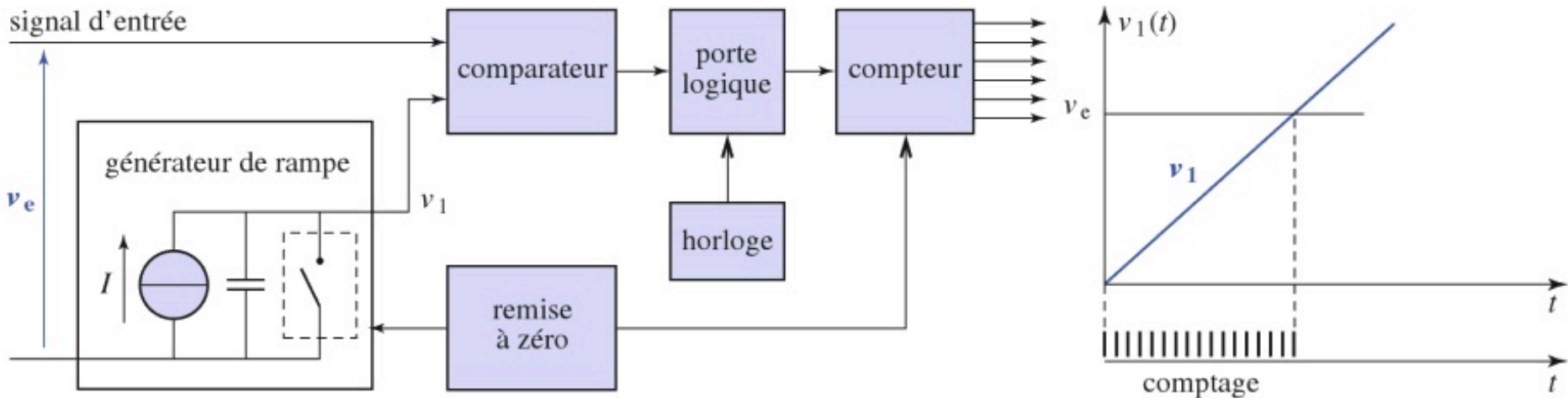
- V_1 augmente par pas
- Une fois que V_1 dépasse V_e le système s'arrête
- La valeur binaire de V_e est immédiatement disponible à la sortie du compteur
- Désavantage : vitesse de conversion lente et inégale en fonction de la valeur mesurée

Convertisseur « par approximations successives » SAR



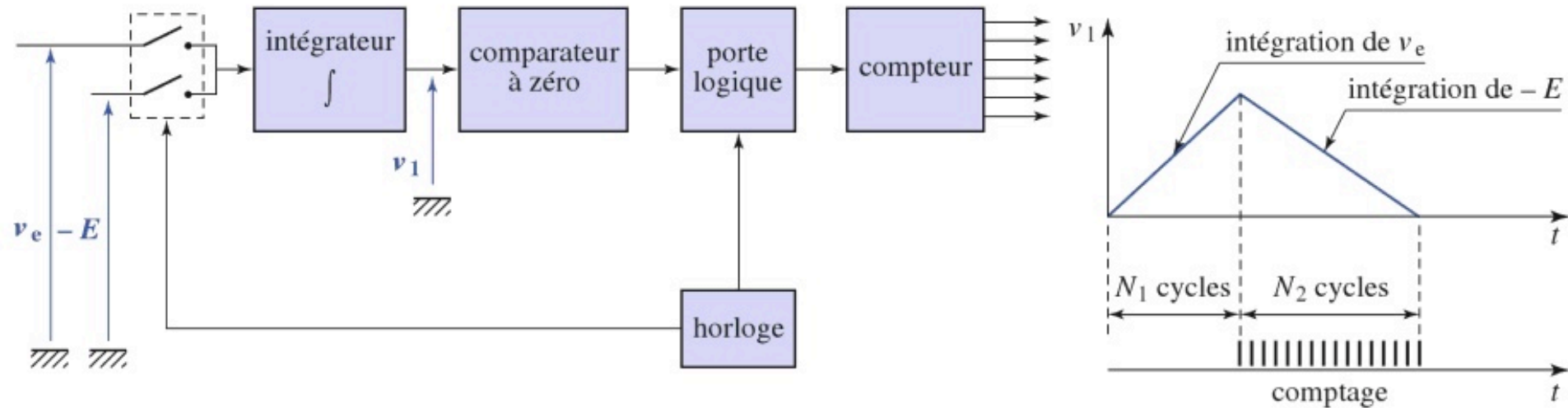
- V_1 varie par dichotomie
- Il faut n cycle d'horloge pour obtenir la valeur finale (8 bits = 8 cycles)
- La valeur binaire de V_e est immédiatement disponible à la sortie de la logique de contrôle
- Avantage : vitesse de conversion constante et « relativement » rapide

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

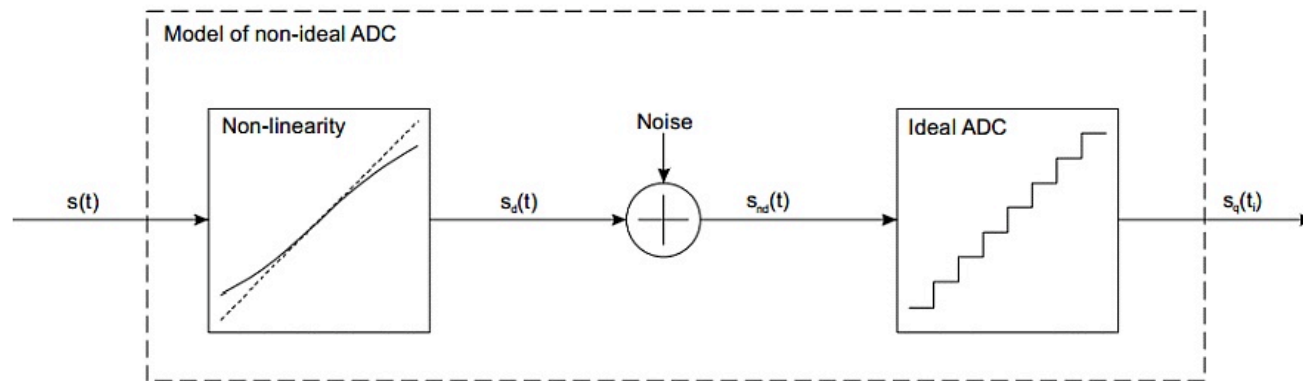
Convertisseur « double rampe »



- 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

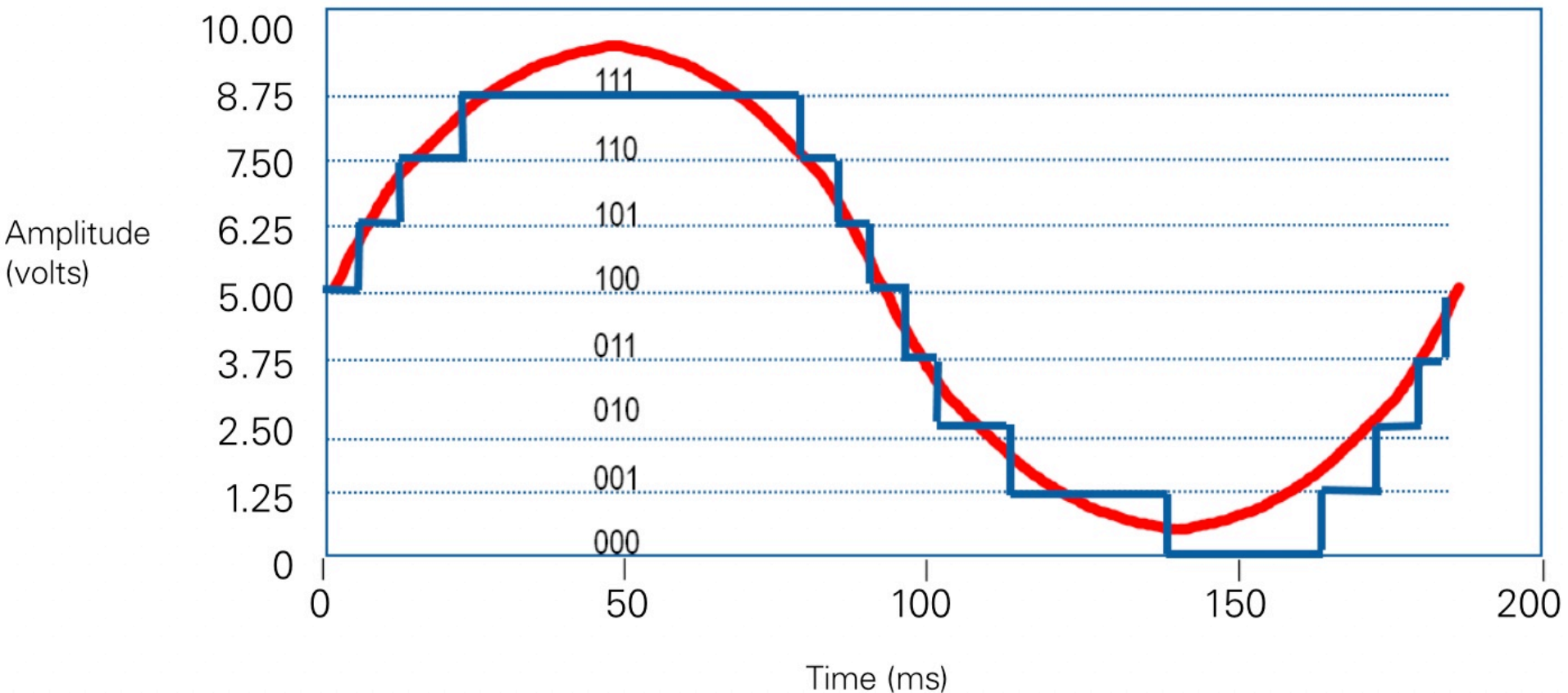
Erreurs dues aux convertisseurs

- 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.

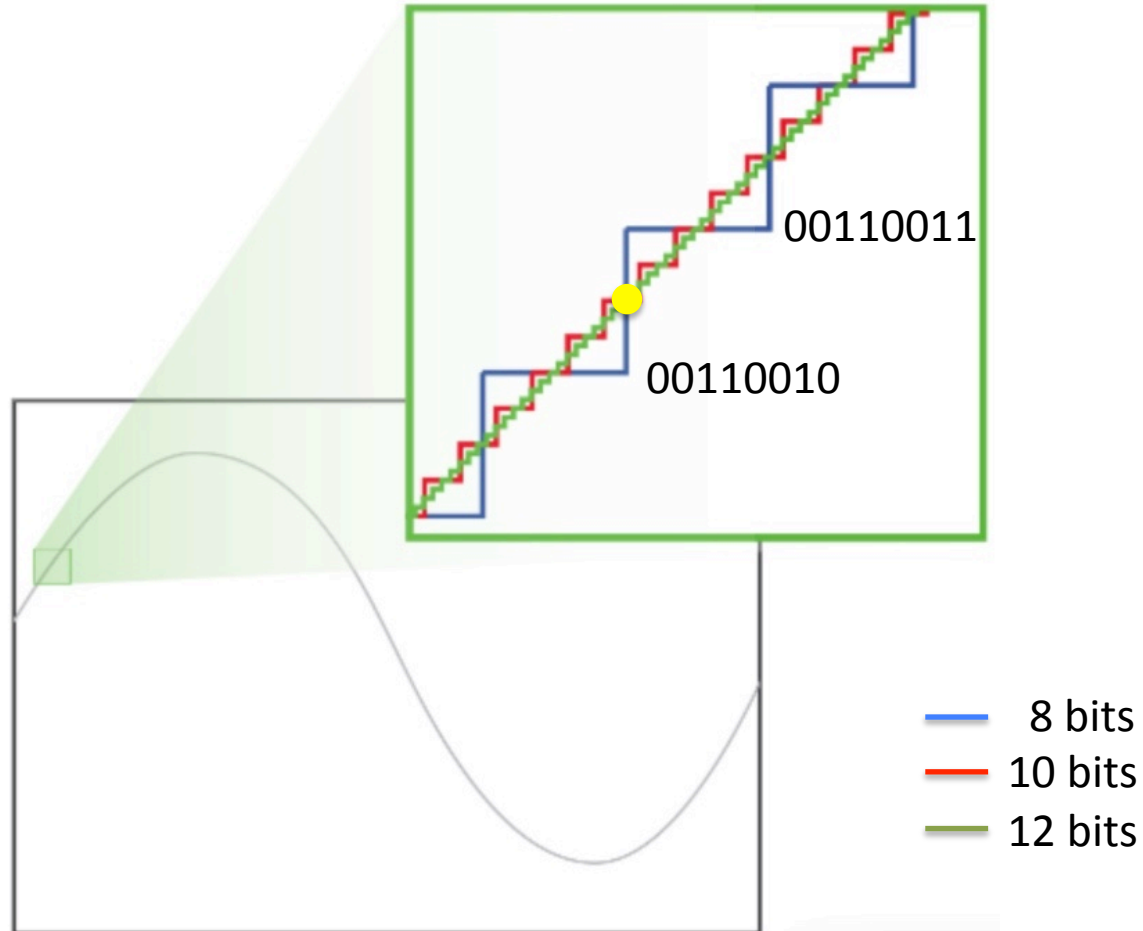


Nombre de bits et résolution

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	12-bits

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.

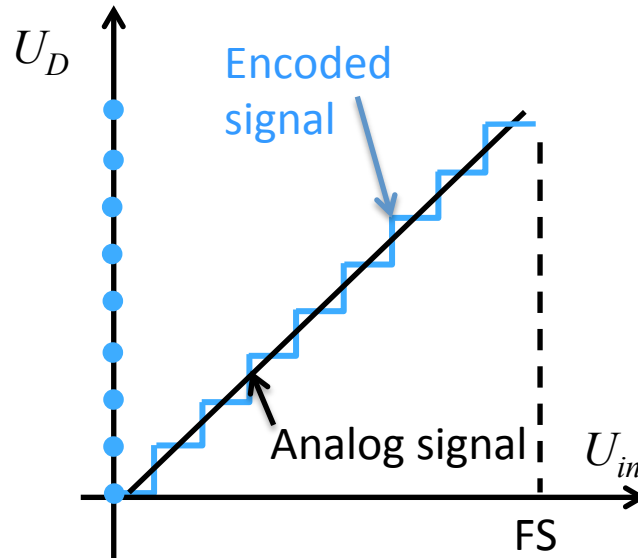
Input Characteristics

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

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

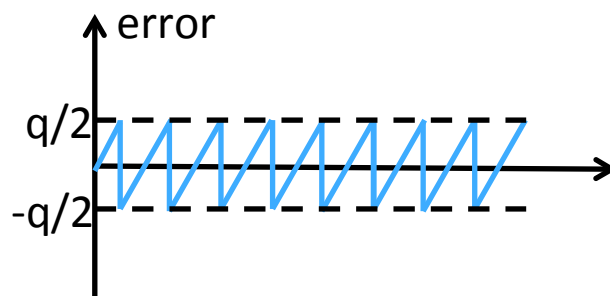


Erreur de quantification

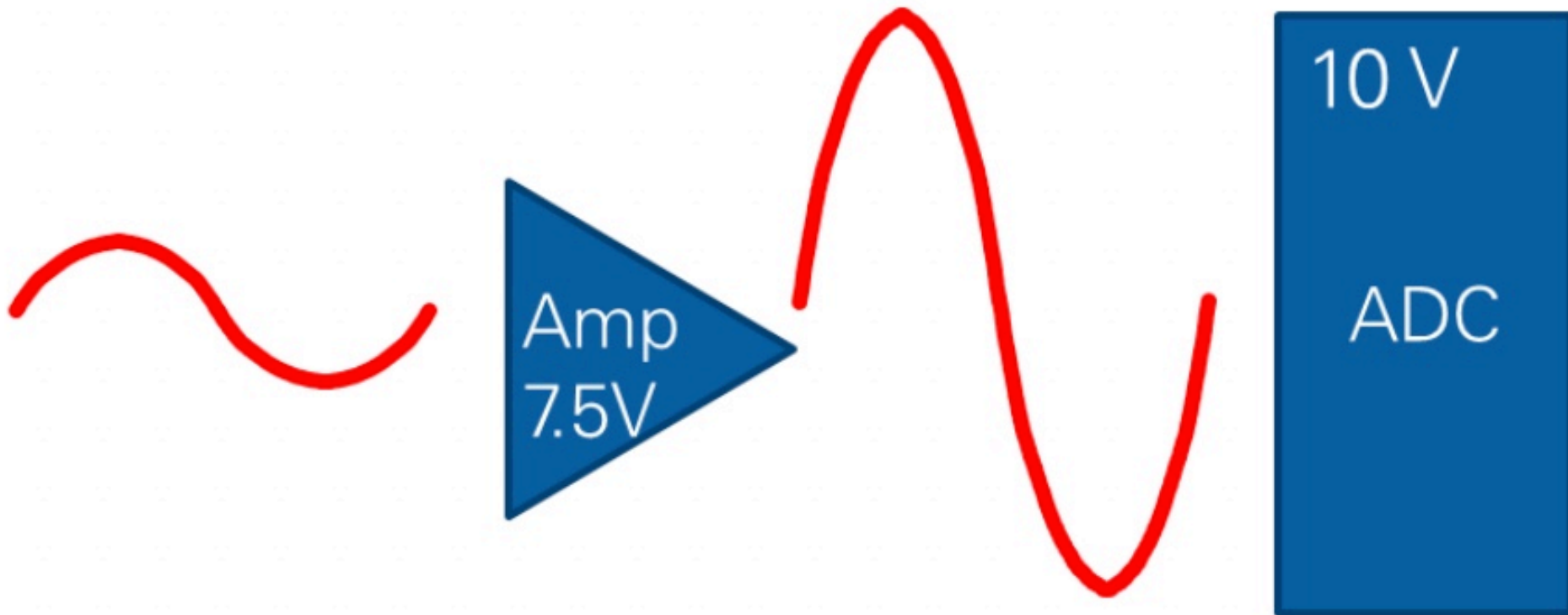


Erreur de quantification maximale :

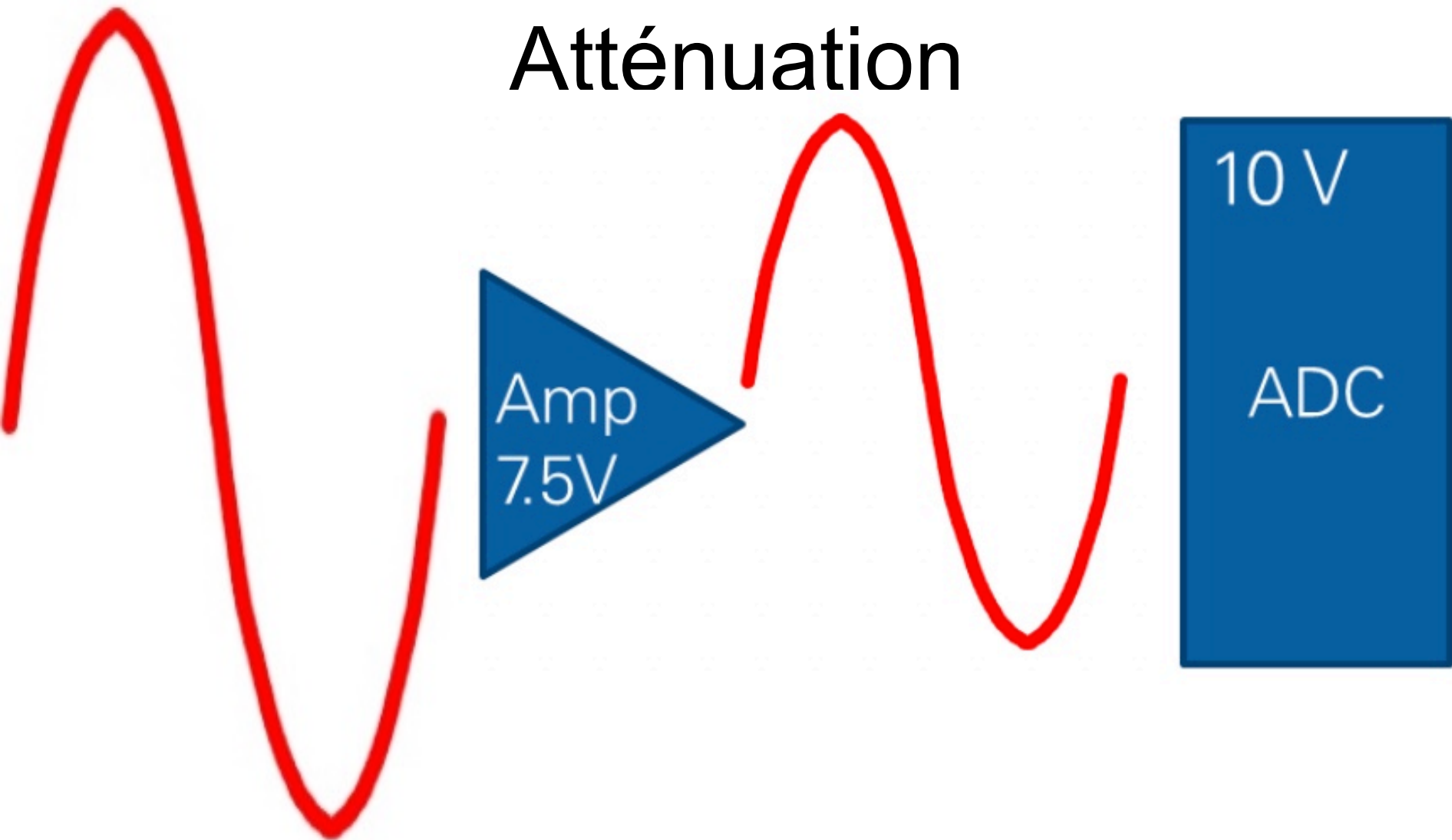
$$\text{Erreur}_{\max} = \pm q/2$$



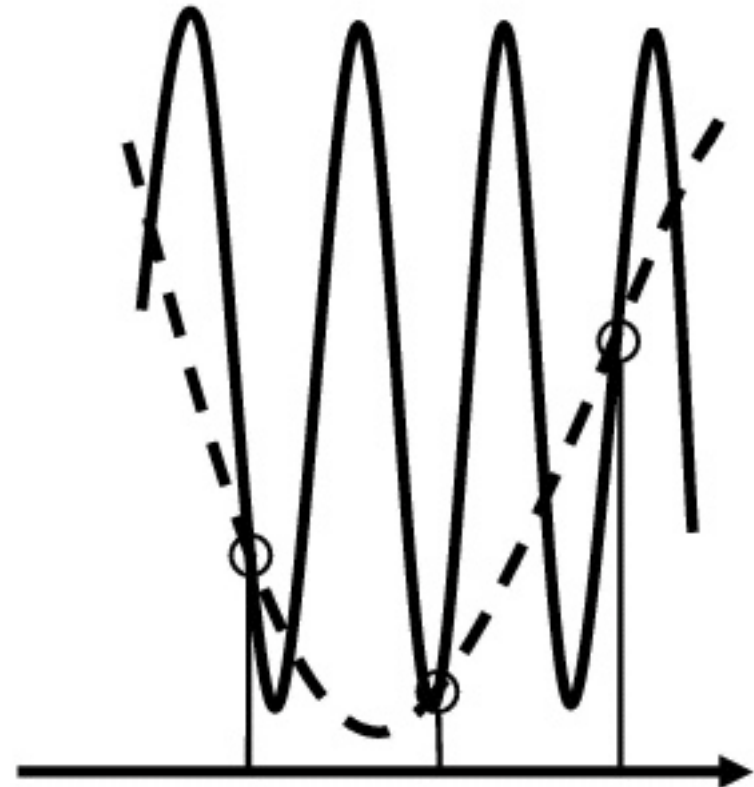
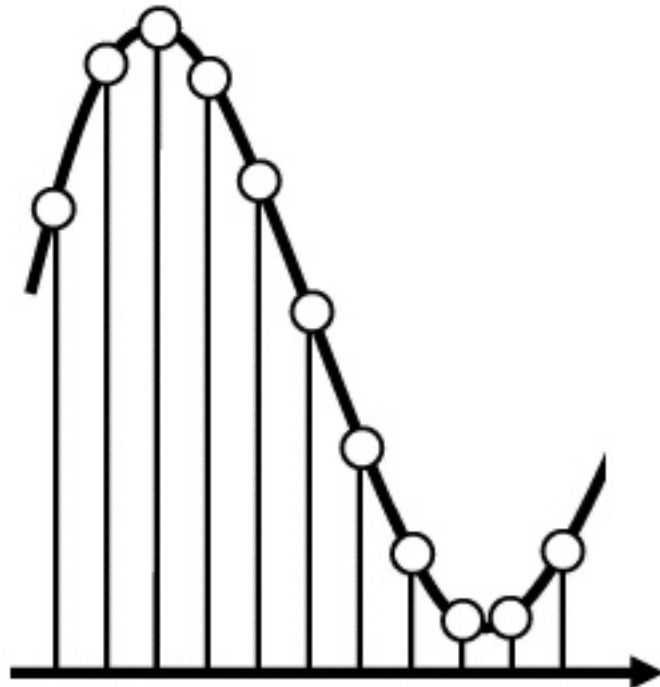
Amplification



Atténuation



Fréquence d'échantillonnage



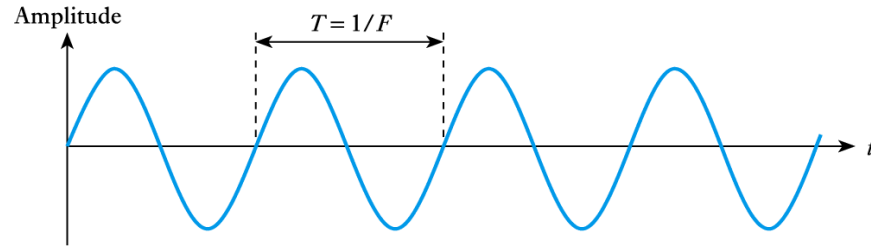
Théorème de Nyquist et Shannon

« 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 »

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

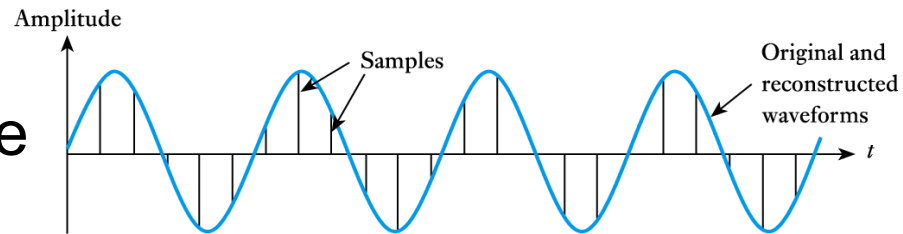
Fréquence d'échantillonnage

Signal à mesurer



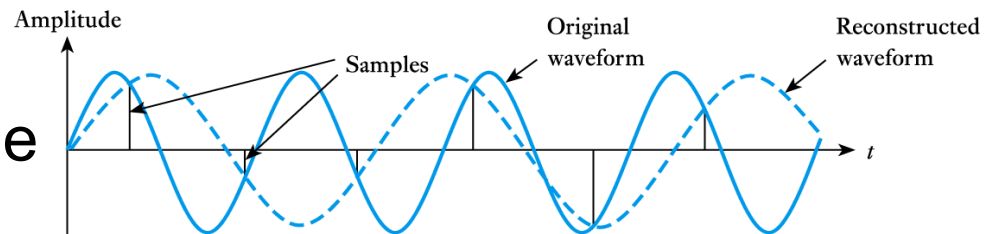
(a) Original waveform

Bon échantillonnage



(b) Waveform sampled above the Nyquist rate

Mauvais échantillonnage

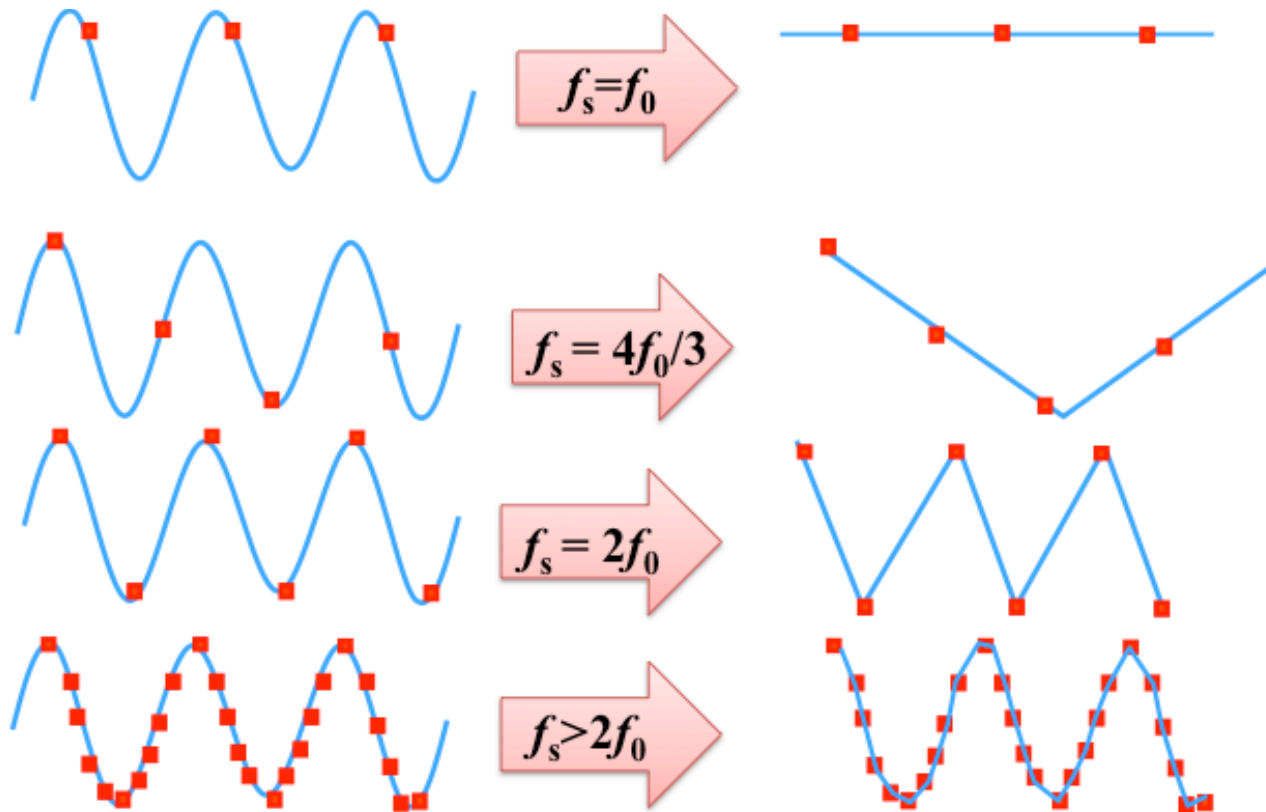


(c) Waveform sampled below the Nyquist rate

Fréquence d'échantillonnage

Signal original + échantillons

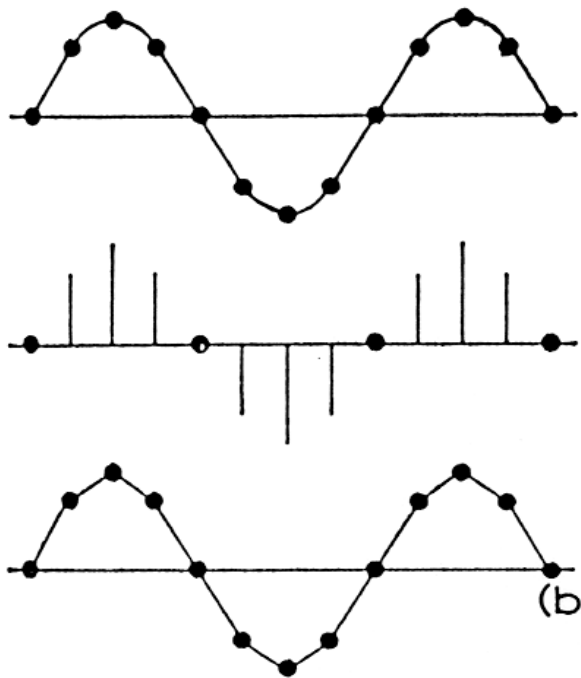
Signal reconstitué



Fréquence d'échantillonnage

Bon échantillonnage

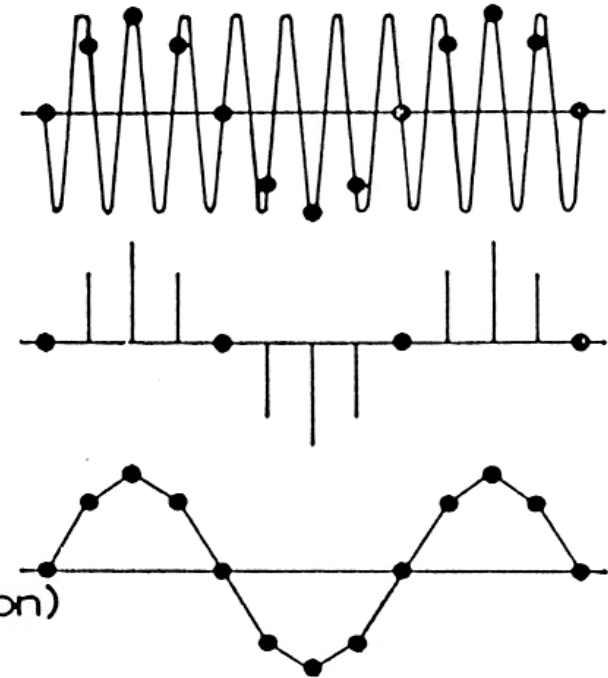
Mauvais échantillonnage



Original function

Sampled data

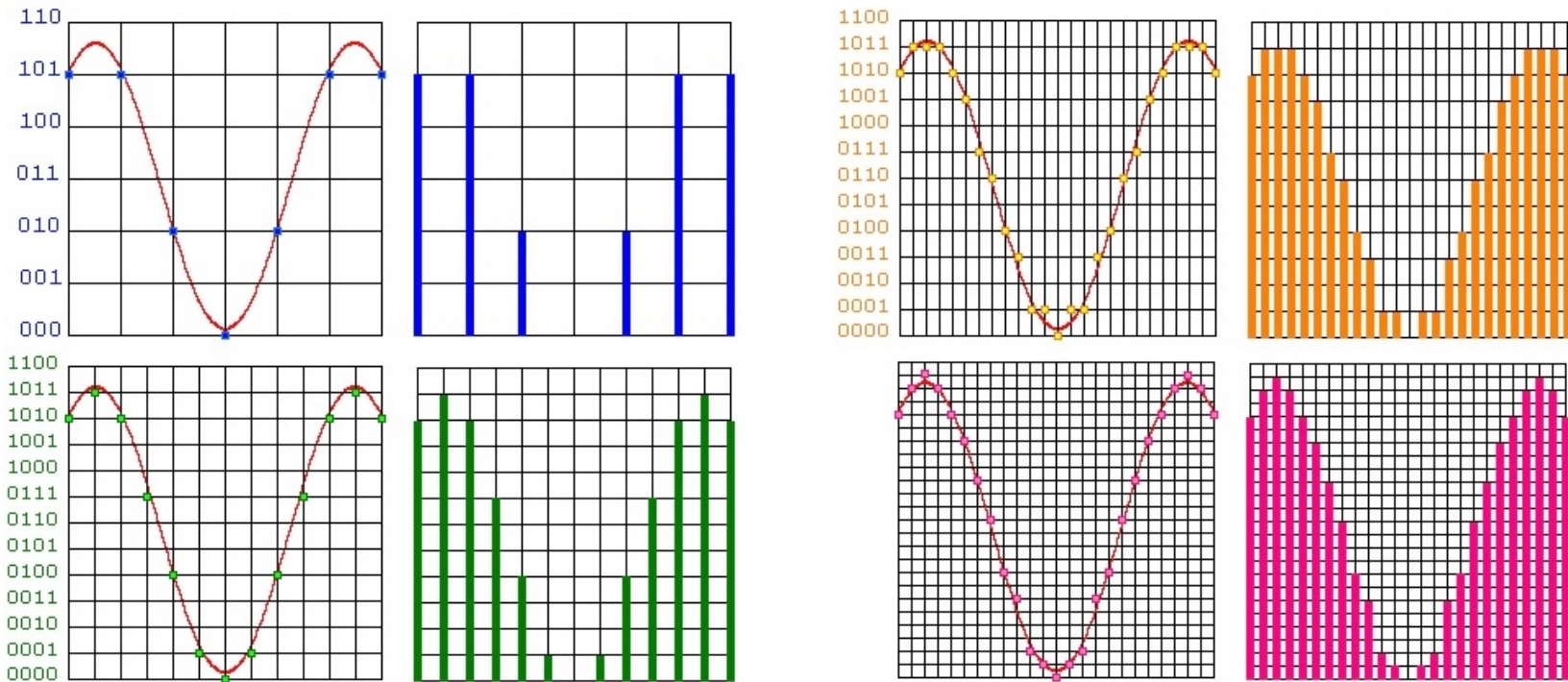
Reconstructed function
(by linear interpolation)



Fréquence d'échantillonnage

Exemples Wolfram

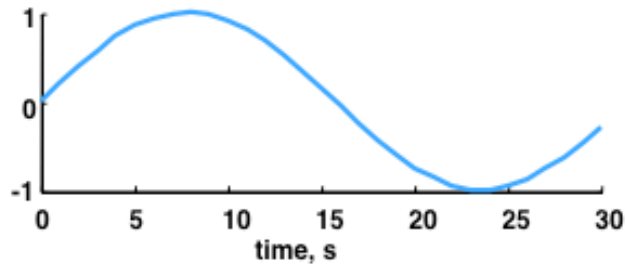
Fréquence d'échantillonnage et quantification



Repliement et filtre anti-repliement

Time domain

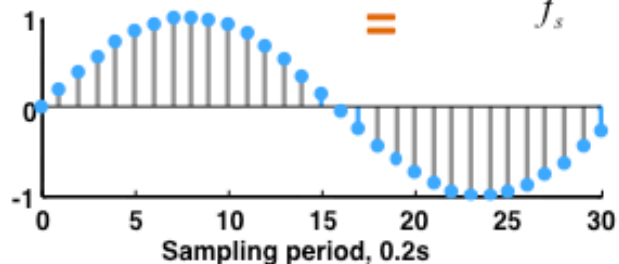
$$x(t) = A \cdot \sin \omega_1 t \quad f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}$$



×



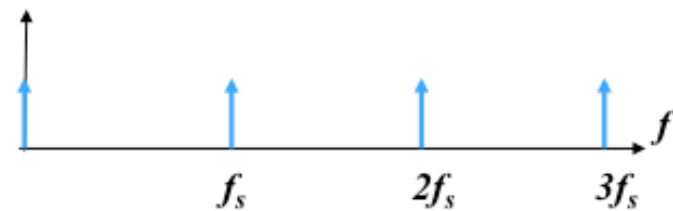
=



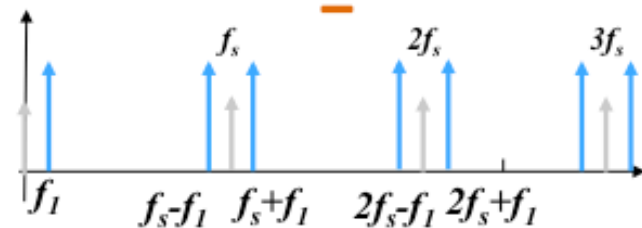
Frequency domain



×

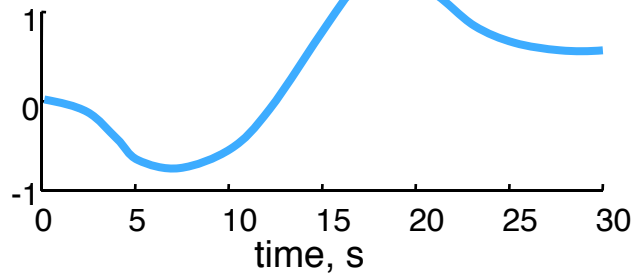


=



Repliement et filtre anti-repliement

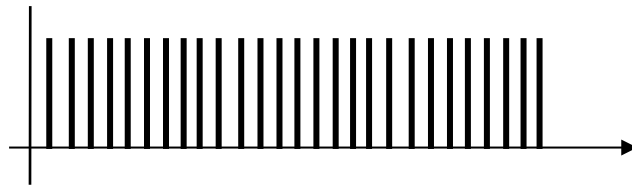
Time domain



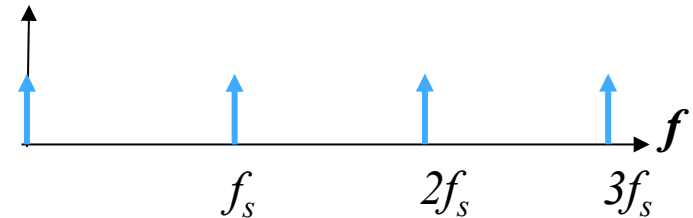
Frequency domain



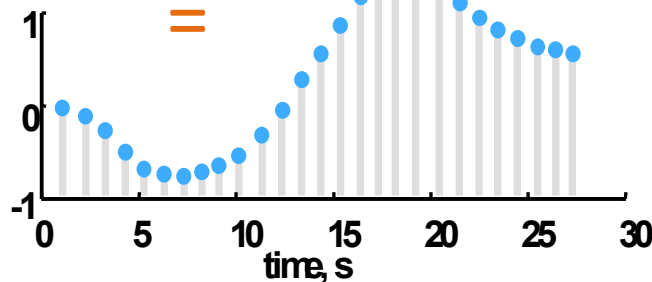
×



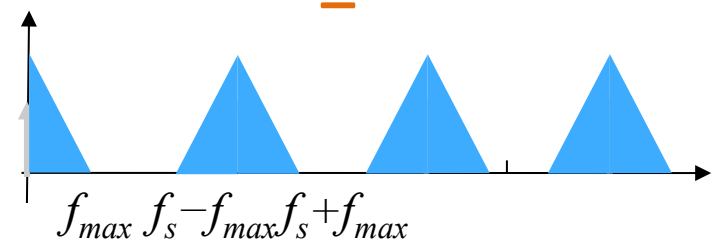
×



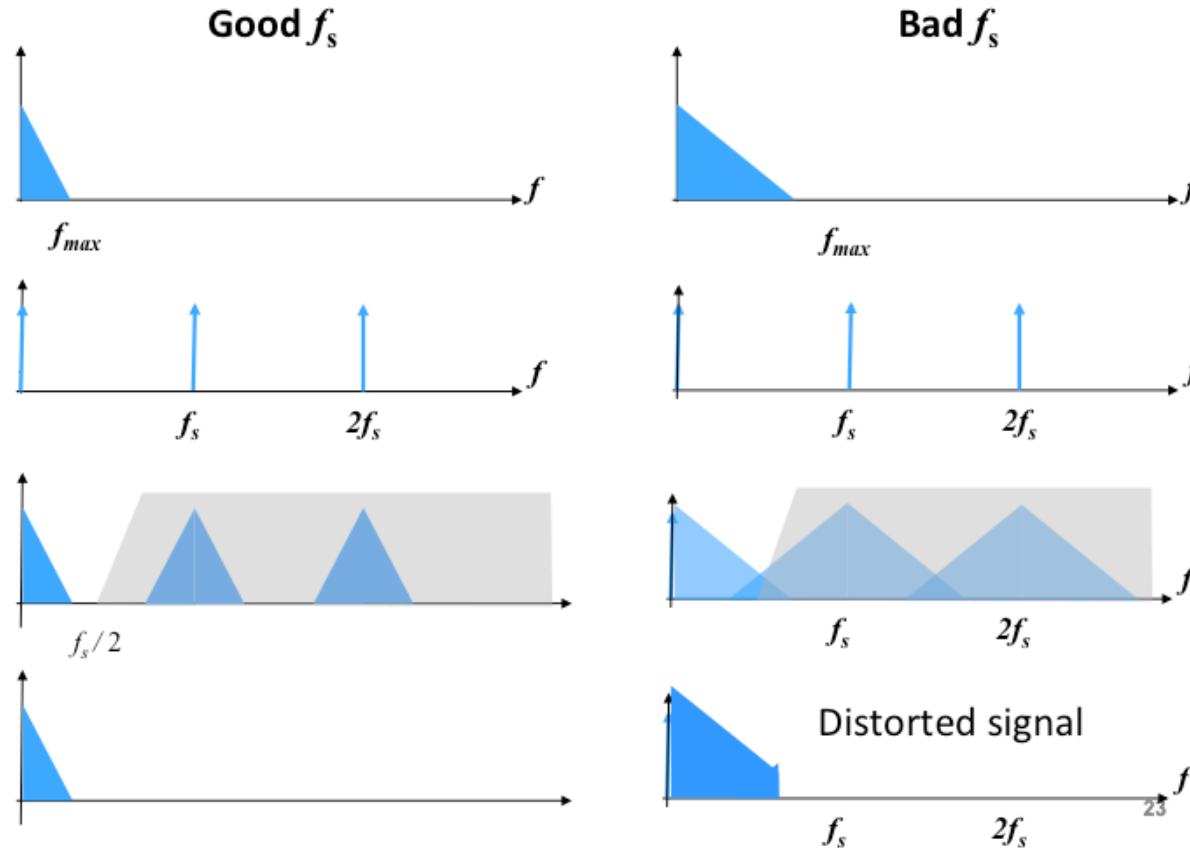
=



=

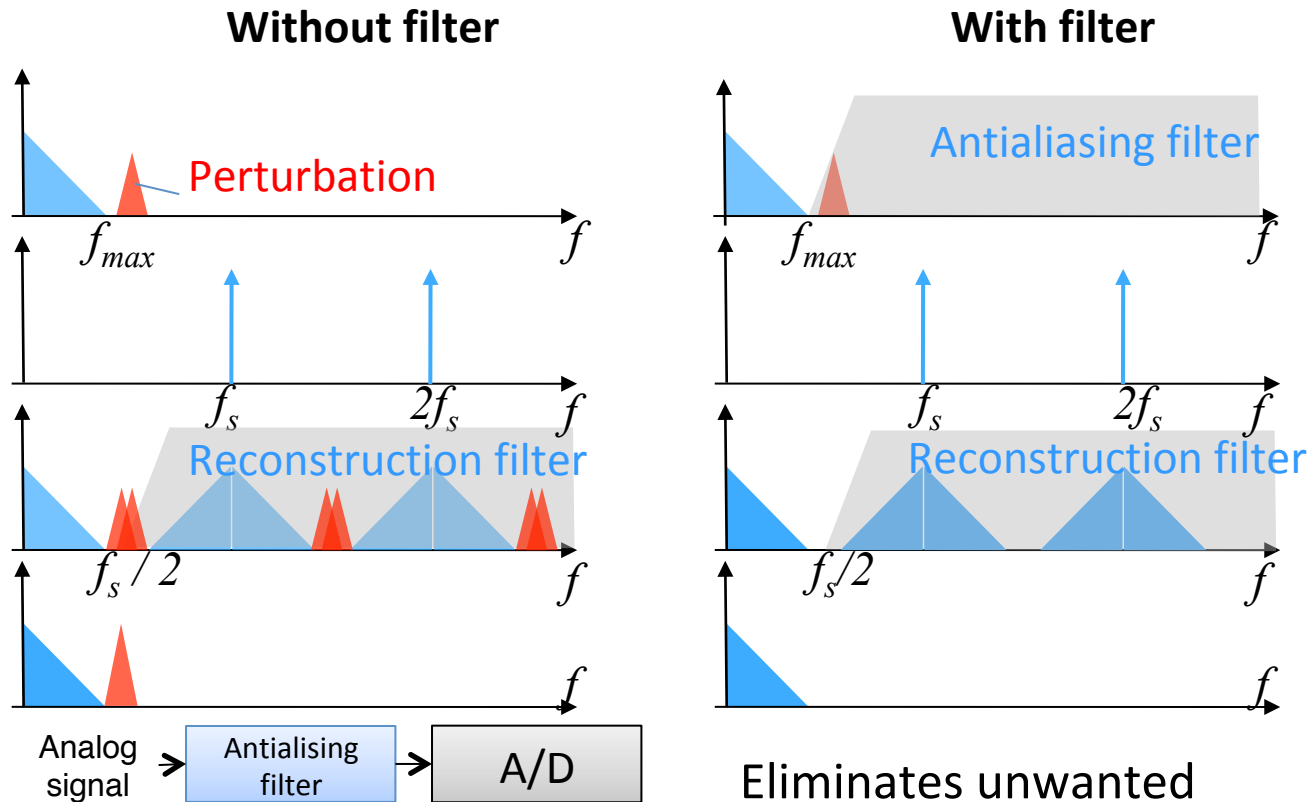


Repliement et filtre anti-repliement



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 $f_s \gg f_{\max}$)

