

Chapitre 1

Généralités sur les capteurs

-
- **Mesurande** : La grandeur physique qui est l'objet de la mesure et qui est représentée par le symbole "*m*"
 - Les domaines d'évolution sont:
 - **statique** → peu ou pas de changement dans le temps
 - **dynamique** → évolution continue dans le temps
 - *Mesurage ou mesure* : Ensemble des opérations expérimentales qui concourent à la connaissance dans le temps de la valeur numérique du mesurande.

Capteur

- Dispositif qui transforme la grandeur physique à mesurer en un **signal de nature électrique "s"**
- La mesure de "s" doit permettre la connaissance aussi exacte que possible du mesurande "*m*".

mesurande "*m*" → **Capteur** → signal électrique "*s*"

$$s = f(m)$$

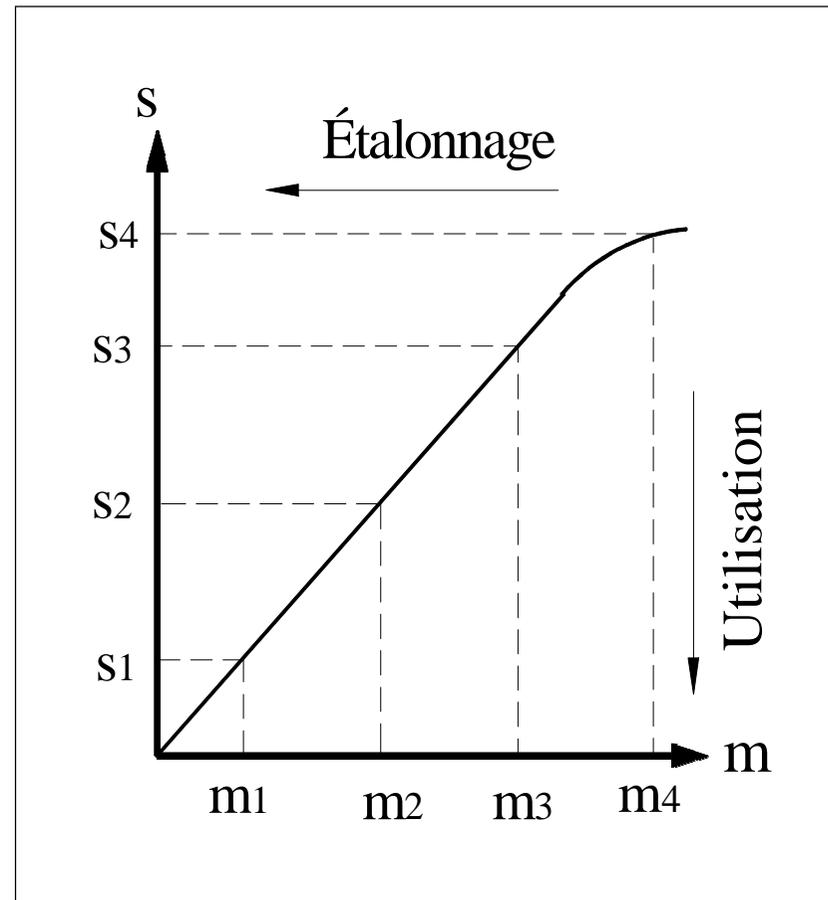
- La fonction *f* dépend de plusieurs facteurs:
 - Lois physiques qui régissent le fonctionnement du capteur
 - Construction, matériau, environnement, etc.

Relation linéaire

- Pour des raisons de facilité d'exploitation on essaie généralement d'obtenir pour la fonction f une relation linéaire:

$$S = \frac{\Delta s}{\Delta m}$$

où S est la sensibilité



Capteurs actifs et passifs

- a) **Capteur actif** : Source qui produit un signal électrique traduisant le mesurande aussi fidèlement que possible. La sortie "s" est une:
- charge
 - tension
 - courant
- b) **Capteur passif** : Impédance dont la variation traduit le mesurande et qui est mesurable que par un circuit approprié (conditionneur) alimenté par une source extérieure. La sortie "s" est une:
- résistance
 - inductance
 - capacité

Capteurs actifs, quelques exemples

- Effet thermoélectrique :

Un circuit formé de 2 conducteurs chimiquement différents dont les jonctions J_1 et J_2 sont à des températures différentes (T_1 et T_2) induisent une force électromotrice (fém) proportionnelle à la différence de température.

Ex. : Thermocouple

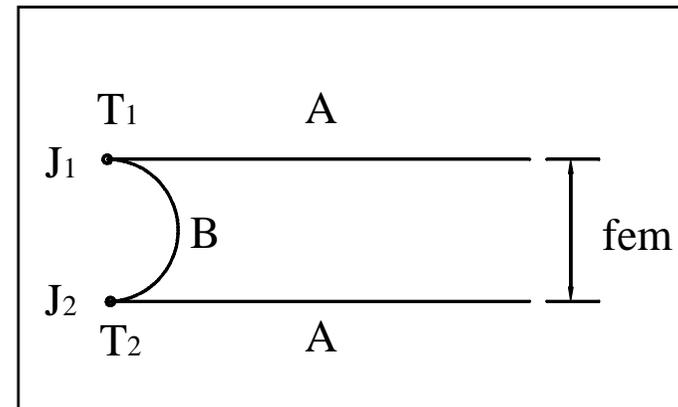


Figure 4.3

- Effets pyroélectrique :

Polarisation électrique spontanée de certains cristaux (Ex. sulfate de triglycine) qui dépend de leur température. Ils portent en surface des charges électriques proportionnelles à cette polarisation et de signes contraires sur les 2 faces.

Φ : flux de rayonnement lumineux

V : variation de tension aux bornes d'un condensateur associé

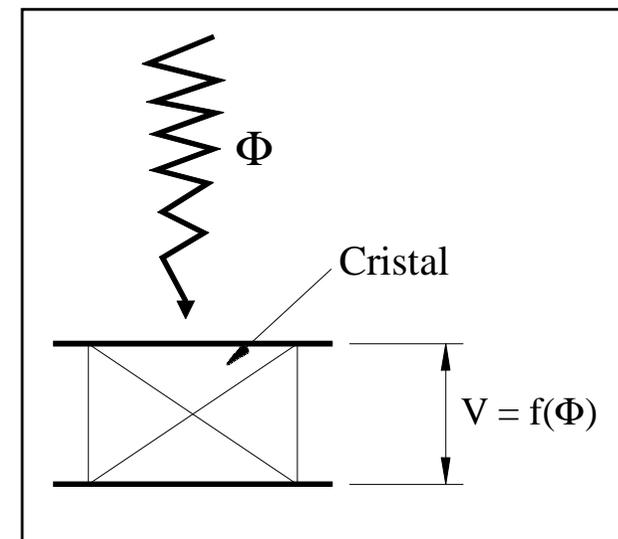


Figure 4.4

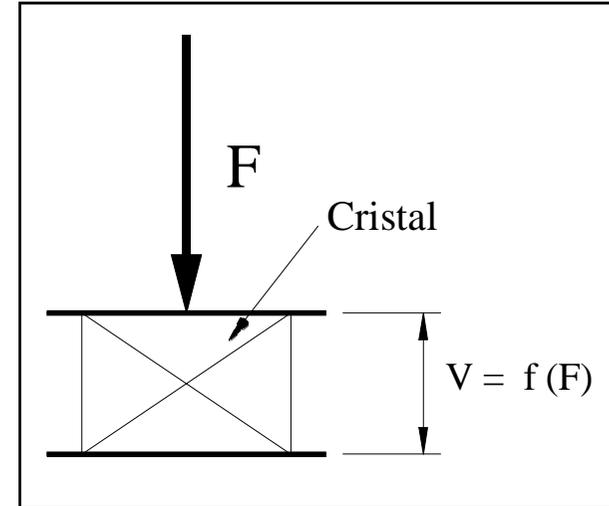
- **Effets piezo-électrique :**

L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux (Ex. cristaux de quartz) entraîne une déformation qui crée des charges électriques égales et de signes opposés sur les faces sous charge.

F : force de compression

V : variation de tension aux bornes d'un condensateur associé

Figure 4.5



- **Induction électromagnétique :**

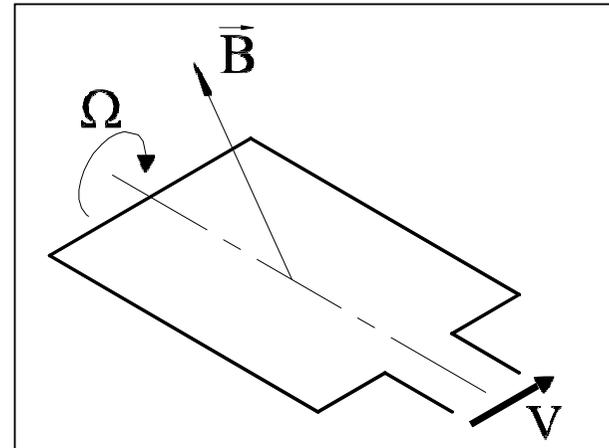
Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ d'induction fixe, il se crée une fém proportionnelle au flux coupé par unité de temps, donc à sa vitesse de déplacement.

Ω : rotation du cadre

\vec{B} : induction fixe

V : fém créé

Figure 4.6



- **Effets photoélectriques :**

Libération de charges électriques dans la matière sous l'incidence d'un rayonnement électromagnétique lumineux dont la longueur d'onde est inférieure à une valeur seuil qui dépend du matériau. Ce phénomène peut prendre plusieurs formes : effet photoémissif, photovoltaïque, photoélectromagnétique.

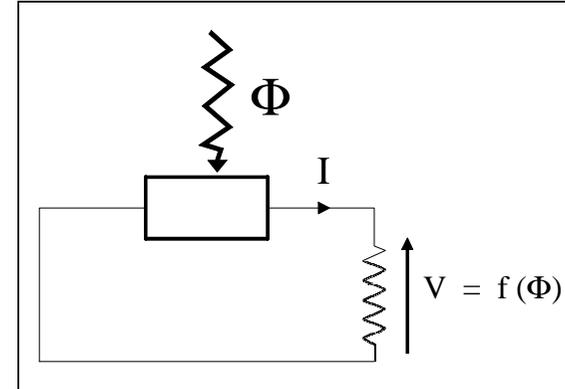


Figure 4.7

- **Effets Hall :**

Lorsqu'un matériau semi-conducteur est parcouru par un courant I et est soumis à une induction B (champ magnétique) faisant un angle θ avec le courant, il apparaît alors dans le matériaux une tension V perpendiculaire à B et à I . La source réelle de l'énergie liée au signal est le courant I et non pas le mesurande.

$$V = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin\theta$$

K_H : dépend du matériau et des dimensions du semi-conducteur

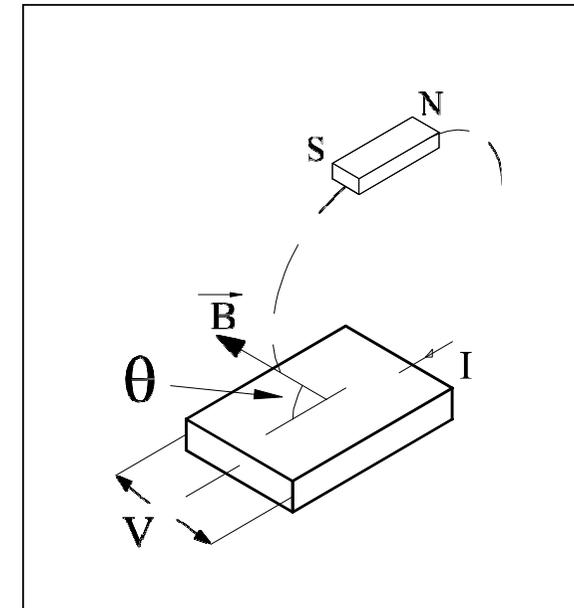


Figure 4.8

Sommaire des principaux capteurs actifs

Mesurande	Principe physique	Sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement lumineux	Pyroélectricité Photoémissif Photovoltaïque Photoélectromagnétique	Charge Courant Tension Tension
Force, pression, accélération	Piezo-électricité	Charge
Vitesse de déplacement	Induction électromagnétique	Tension
Position	Effet Hall	Tension

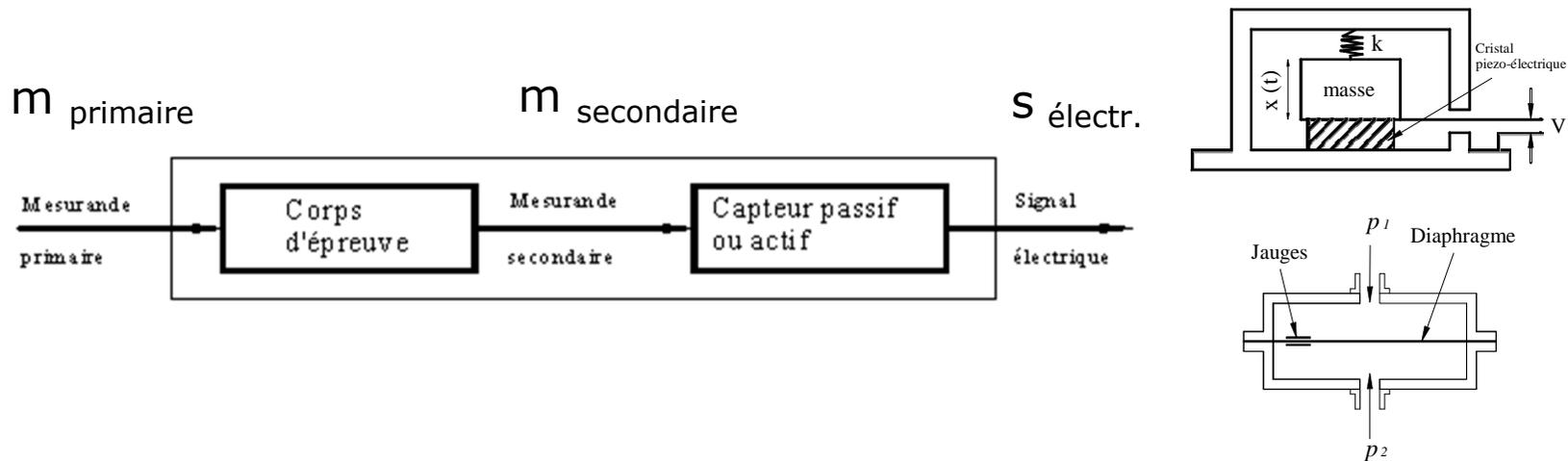
Capteurs passifs

- La valeur de l'impédance du capteur est liée:
 - à sa géométrie
 - aux propriétés des matériaux qui la constituent
- Exemples de capteurs:
 - Capteurs à élément mobile (potentiomètre)
 - Capteurs à élément déformable (corps d'épreuve)
 - Résistivité électrique ρ
 - Perméabilité magnétique μ
 - Constante diélectrique ε

Capteurs passifs, exemples

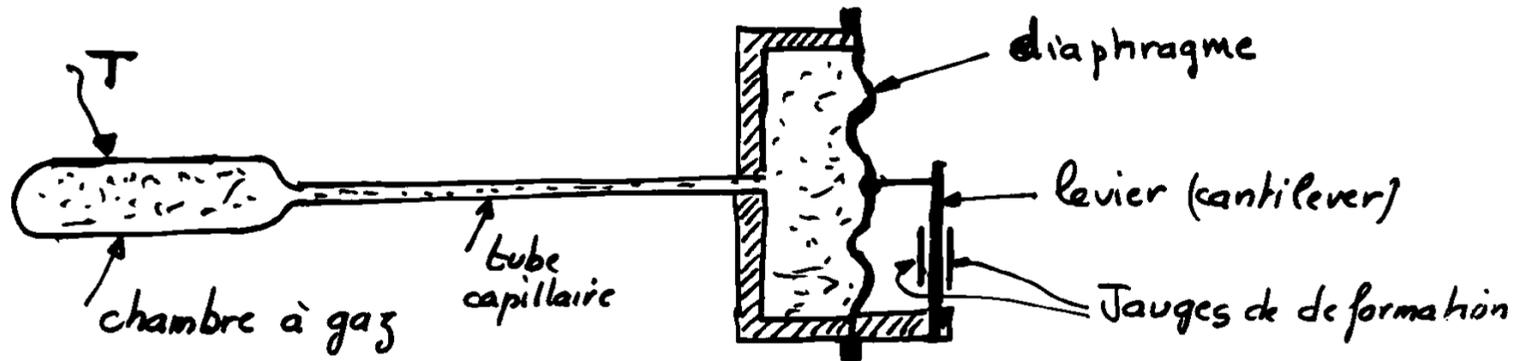
Mesurande	Caractéristique électrique sensible	Matériaux utilisés
Température Très basse température	Résistivité, ρ Constante diélectrique, ε	Platine, nickel, cuivre, Semi-conducteurs, Verres
Flux de rayonnement optique	Résistivité, ρ	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité, ρ Perméabilité magnétique, μ	Alliage de nickel, silicium dopé Alliages ferromagnétiques
Position (aimant)	Résistivité, ρ	Matériaux magnéto- résistants : bismuth, antimoniure d'indium
Humidité	Résistivité, ρ Constante diélectrique, ε	Chlorure de lithium Alumine, polymères
Niveau	Constante diélectrique, ε	Liquides isolants

Le corps d'épreuve



- Dispositif qui, soumis à l'action du mesurande (ex. une force), en assure une première transformation en une autre grandeur physique non-électrique, **le mesurande secondaire**, que le capteur traduit en signal électrique grâce au circuit de conditionnement.

Ex. Chambre à gaz (capteur de température)



Mesurande primaire : **Température**

→ Dilatation du gaz

→ Augmentation de pression

→ Déflexion du diaphragme

→ Flexion de la poutre

→ Déformation des jauges

→ Variation de résistance

Grandeurs d'influence

- Les grandeurs d'influence sont les "**parasites**" de la mesure
- Les principales grandeurs d'influence comprennent:
 - Température
 - Pressions, accélérations, vibrations, forces
 - Humidité
 - Champs magnétiques
 - Tension d'alimentation
- De façon générale, on peut écrire : $s = f(m, g_1, g_2, \dots)$
- On cherche à réduire l'importance des grandeurs d'influence en les stabilisant à des valeurs connues, en compensant, en isolant, etc.

Les erreurs de mesure

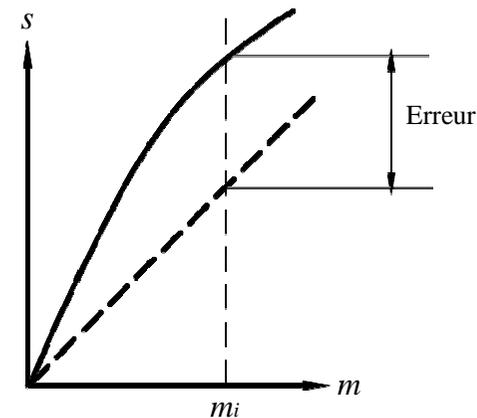
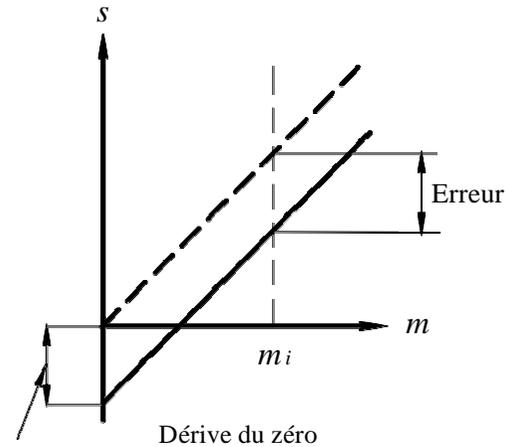
- La valeur vraie du mesurande détermine l'excitation du capteur mais l'expérimentateur n'a accès qu'à la réponse globale de la chaîne de mesure
- L'écart entre la valeur vraie et la valeur mesurée, sera toujours inconnu et il y aura toujours une incertitude sur la valeur vraie du mesurande
- **L'erreur de mesure ne peut être qu'estimée** (le mieux possible, bien sûr!)

Types d'erreurs de mesure

- Erreurs **systematiques**
 - peuvent être éliminées
- Erreurs **accidentelles**
 - sont aléatoires et imprévisibles

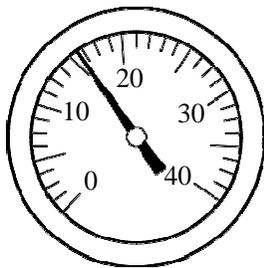
Erreurs systématiques

- Ce type d'erreur produit un **décalage constant** ou **croissant** entre la valeur vraie et la valeur mesurée
- Détection possible : Vérifier l'écart entre les valeurs d'une série de mesurages portant sur le même mesurande et effectuée par des méthodes et des instruments différents

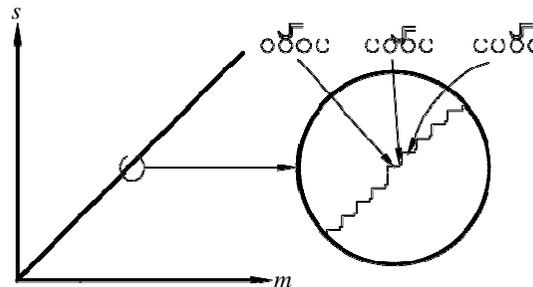


Erreurs aléatoires

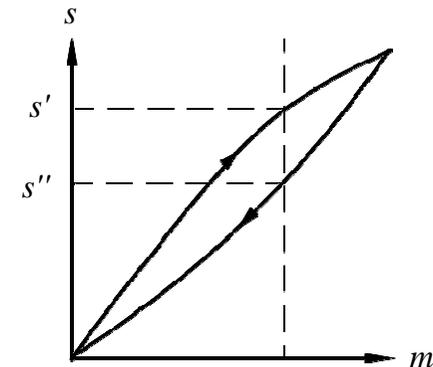
- Erreurs liées aux **indéterminations** des caractéristiques des instruments
 - Erreur de lecture, de mobilité
 - Erreur d'hystérésis, de quantification ($\frac{1}{2}\text{LSB}$)
 - Erreurs dues aux signaux parasites aléatoires
- Erreurs dues aux grandeurs d'influence



Err. de parallaxe



Err. mobilité



Err. hystérésis

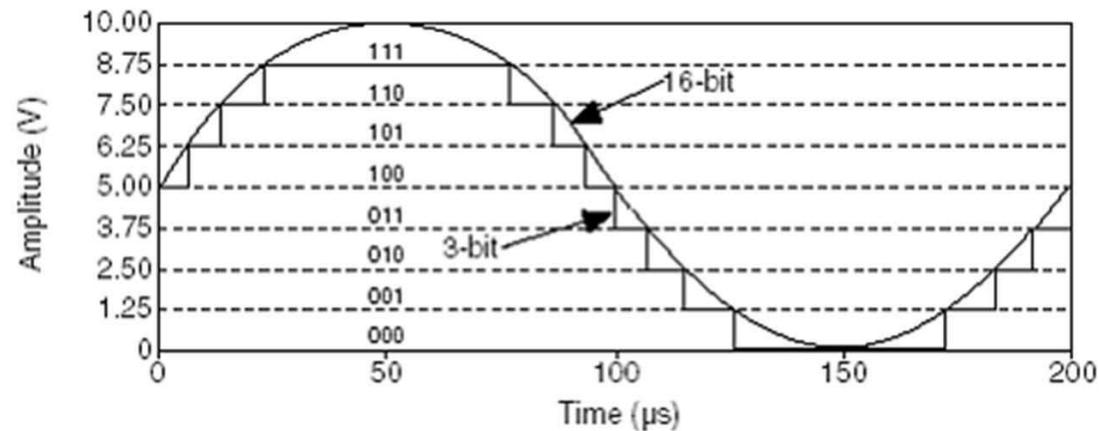
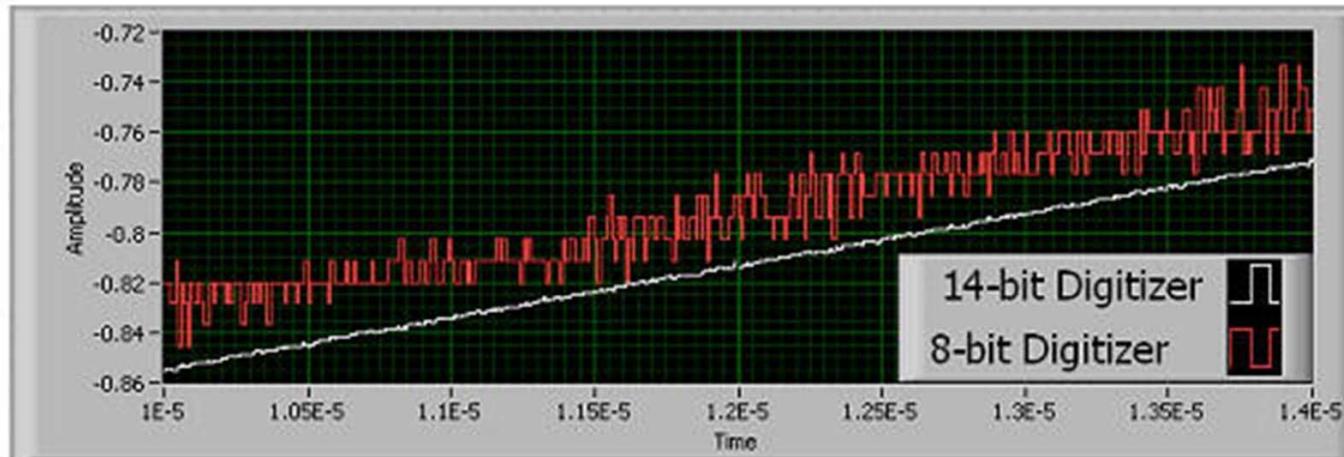


Figure 10. Digital image of a 5 kHz sine wave obtained by a 3 bit ADC

Lors de la conversion analogique/numérique, l'opération de quantification attribue une valeur unique à l'ensemble des valeurs analogiques comprises dans une plage correspondant à 1 bit de poids le plus faible (LSB)

→ **L'incertitude** maximale = $\pm \frac{1}{2}$ LSB

Ex. Mesure d'un signal rampe



Étendue de mesure: -2V à + 2 V

Avec un convertisseur analogue-numérique de 8 bits:

$$2^8 = 256 \rightarrow \text{err. quant.} = \frac{1}{2} \text{ LSB} = \frac{1}{2} \cdot 4 \text{ Volt} / 256 = 8.0 \text{ mV}$$

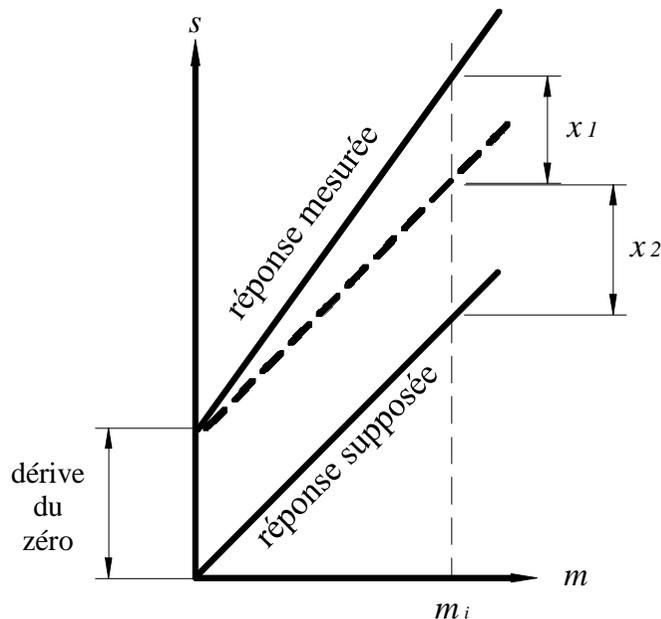
Avec un convertisseur A/N 14 bits :

$$2^{14} = 16384 \rightarrow \text{err. quant.} = \frac{1}{2} \cdot 4 \text{ Volt} / 16384 = 0.12 \text{ mV}$$

Erreurs dues aux grandeurs d'influence

Ex. effet de la température sur les jauges

- Dérive du zéro
- Changement de sensibilité (S_G)



Principales grandeurs d'influence :

- **La température** : modifie les caractéristiques électriques, mécaniques, géométriques
- **Pressions, accélérations, vibrations, forces**, etc. : créent des déformations du corps d'épreuve qui altèrent la réponse.
- **Humidité** : la constante diélectrique ϵ et la résistivité ρ y sont sensibles. Dégradation de l'isolation électrique.
- **Champs magnétiques** statiques et champs magnétiques variables
- **Tension d'alimentation** (fluctuations)

La réponse "s" supposée linéaire (L_1)
dépasse la réponse réelle (L_2)

