

ETI – Capteurs et conditionnement

Introduction :

- chaine d'acquisition de données
- composants passifs : modélisation et facteur de qualité

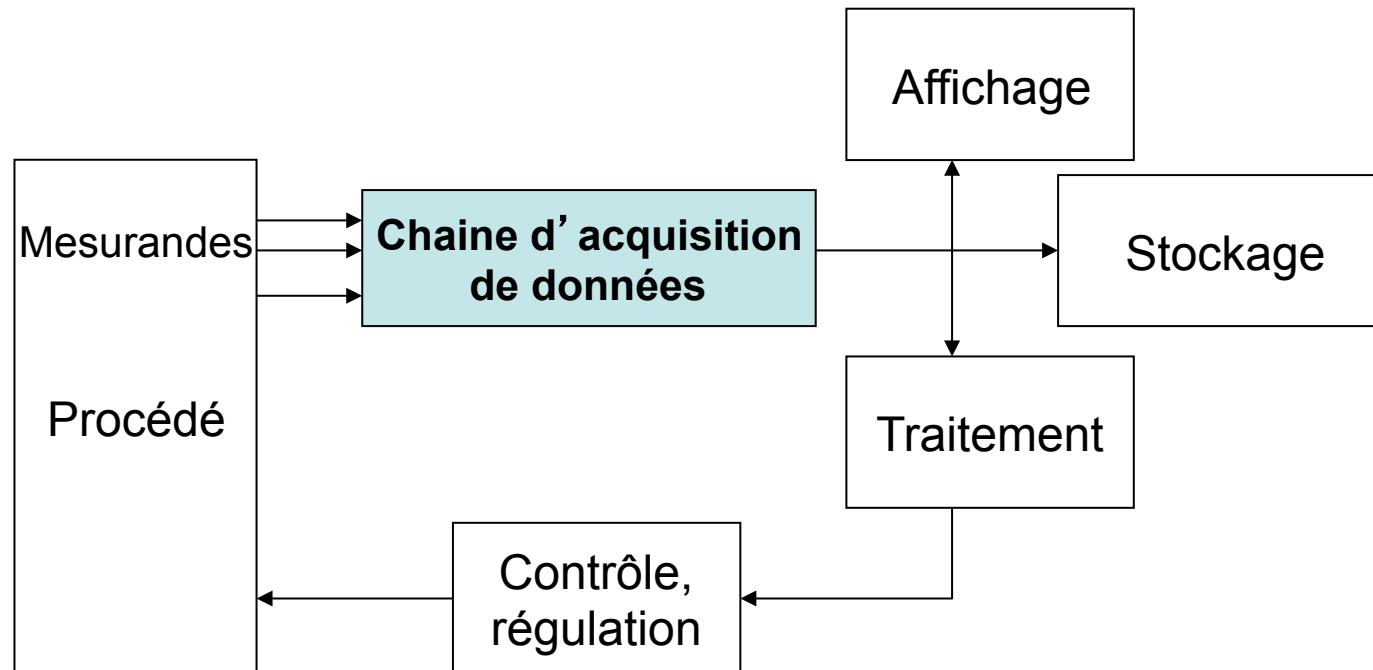
Capteurs

- actifs/passif, principes physiques
- performances
- mise en œuvre : exemples

Circuits de conditionnement

- conditionneurs de capteurs passifs
- amplificateurs à ampli-op
- amplificateurs d'instrumentation
- amplificateurs monotension
- comparateurs / triggers

Chaîne d'acquisition de données (1)



Rôle de la chaîne d'acquisition

= délivrer les informations nécessaires (= mesurandes) à la connaissance ou au contrôle d'un procédé **sous une forme appropriée** à leur exploitation

→ Assigner une valeur électrique à un mesurande (=grandeur physique)

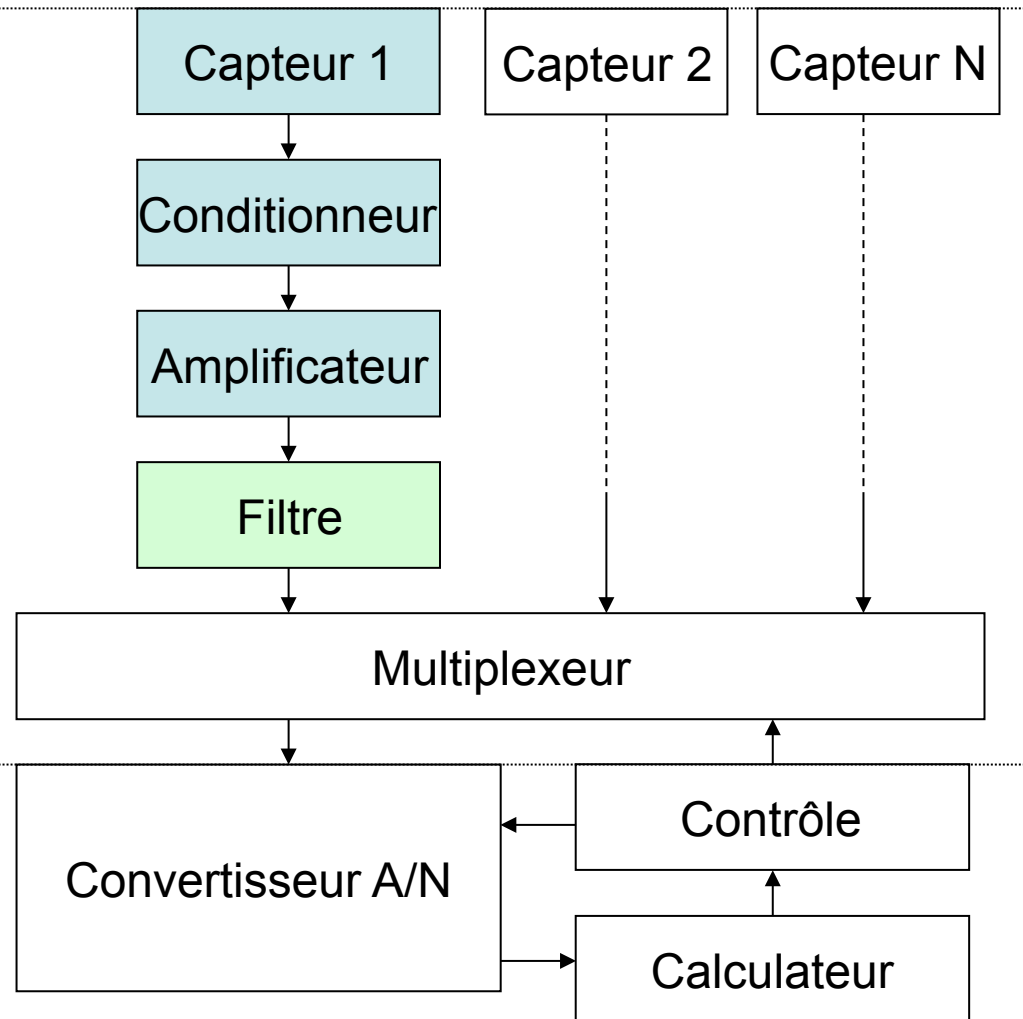
Chaîne d'acquisition de données (2)

Monde physique

Monde électrique

ANALOGIQUE

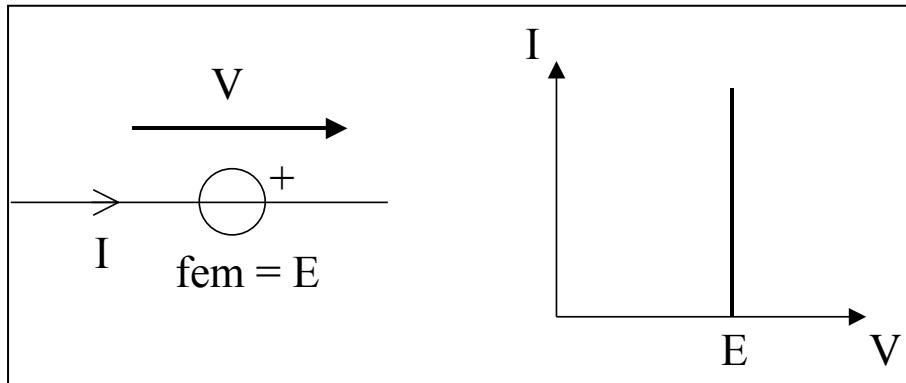
NUMERIQUE



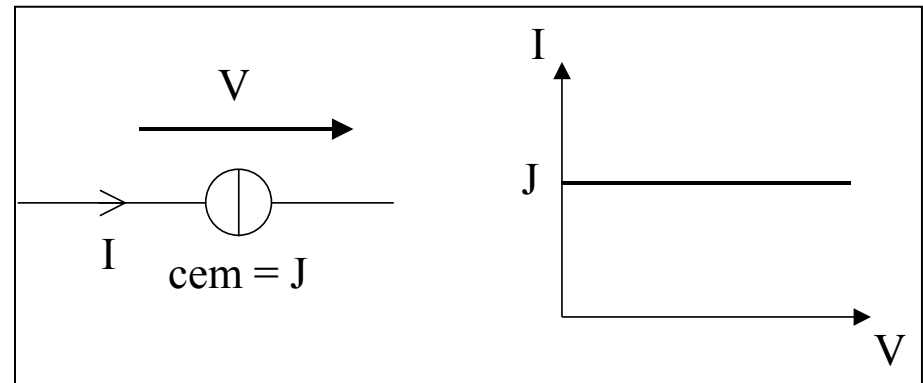
Les composants linéaires idéaux

ACTIFS

Source de tension idéale

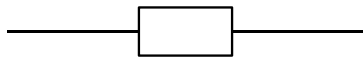


Source de courant idéale



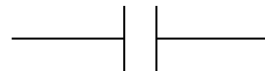
PASSIFS

résistance idéale



$$v(t) = R i(t)$$

condensateur idéal



$$i(t) = C dv(t)/dt$$

self idéale



$$v(t) = L di(t)/dt$$

Composants passifs linéaires réels

Résistance

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

de 10 Ω à 1 M Ω

Valeur typique : 1k Ω



1827 George Ohm

Condensateur

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$$

de 1 pF à 10 μ F

Valeur typique : 1 nF



1745 A. Volta
B. Franklin

Inductance

$$L = \frac{N^2 \mu_0 \mu_r S}{l}$$

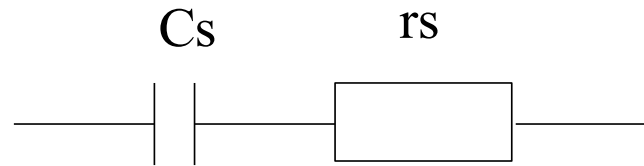
de 100 nH à 10 mH

Valeur typique : 1 μ H



1831 Michael Faraday
Joseph Henry

Modèle série du condensateur



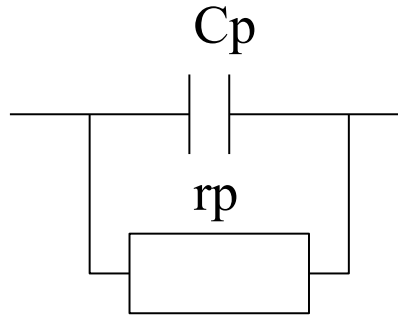
facteur de qualité : $Q = 1 / r_s C_s \omega$

Angle de perte δ : $\tan \delta = 1 / Q = r_s C_s \omega$

Exemple numérique : condensateur polyester de $0.1\mu\text{F}$

fréquence	100 Hz	10 kHz
r_s	38 Ω	1.25 Ω
$\tan \delta$	2×10^{-3}	8×10^{-3}
Q	500	125

Équivalence modèle série / modèle parallèle



facteur de qualité du condensateur : $Q = r_p C_p \omega$

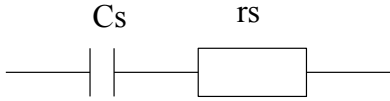
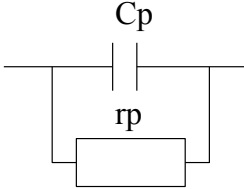
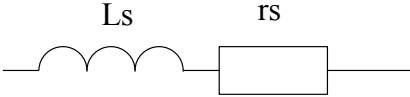
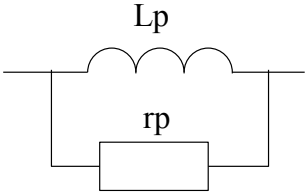
$$r_p = r_s (1+Q^2)$$

$$C_p = C_s Q^2 / (1+Q^2)$$

Si $Q \gg 1$ alors : $r_p \approx r_s Q^2$ et $C_p \approx C_s$.

Le facteur de qualité ne dépend pas du modèle choisi.

Bilan sur les modèles

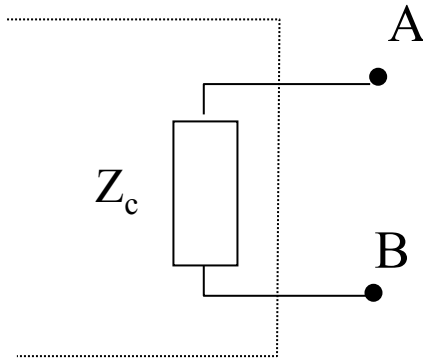
Modèle	Impédance	Facteur de qualité	Transformation
	$r_s + 1 / j C_s \omega$	$Q = 1 / r_s C_s \omega$	Pour $Q > 10$: $r_p \approx r_s Q^2$ $C_p \approx C_s$
	$r_p / (1 + j r_p C_p \omega)$	$Q = r_p C_p \omega$	
	$r_s + j L_s \omega$	$Q = L_s \omega / r_s$	Pour $Q > 10$: $r_p \approx r_s Q^2$ $L_p \approx L_s$
	$j r_p L_p \omega / (r_p + j L_p \omega)$	$Q = r_p / L_p \omega$	

Les capteurs

- actifs/passif, principes physiques
- Performances et limites
- mise en œuvre : exemples

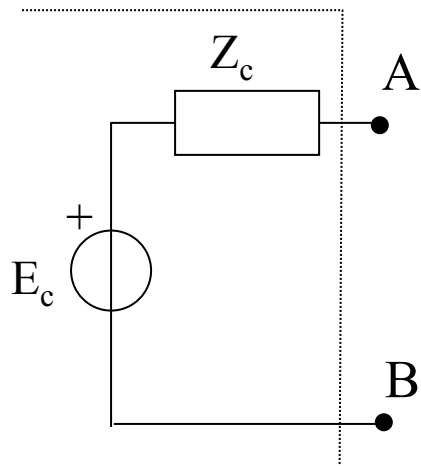
Classification des capteurs

PASSIF



Mesurande	Grandeur électrique	Matériaux
Température	Résistivité	Pt, Ni, Cu, semi-conducteurs
Flux optique	Résistivité	semi-conducteurs
Déformation	Résistivité Perméabilité	Alliages nickel Alliages ferromagnétiques
Position	Résistivité	Magnétorésistance
Humidité	Résistivité Permittivité	Chlorure de lithium Alumine, polymère

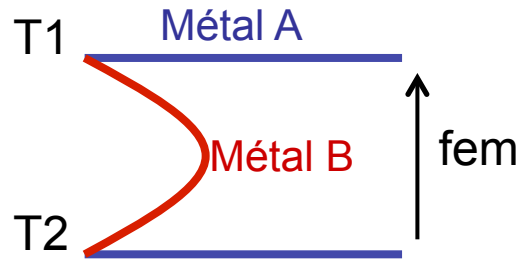
ACTIF



Mesurande	Effet physique	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux optique	Photoémission Pyroélectricité	Courant Charge
Force, accélération	Piézoélectricité	Charge
Position	Effet Hall	Tension
Vitesse	Induction	Tension

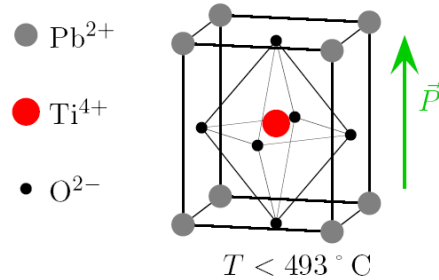
Capteurs : effets physiques utilisés

Thermoélectricité :

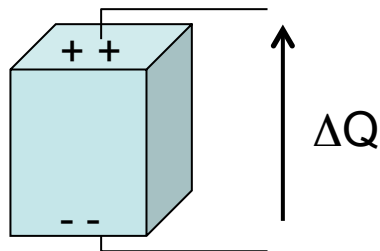


thermocouple

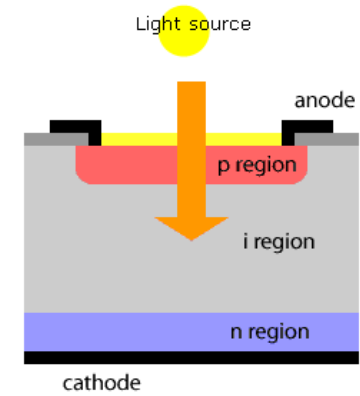
Piézoélectricité :



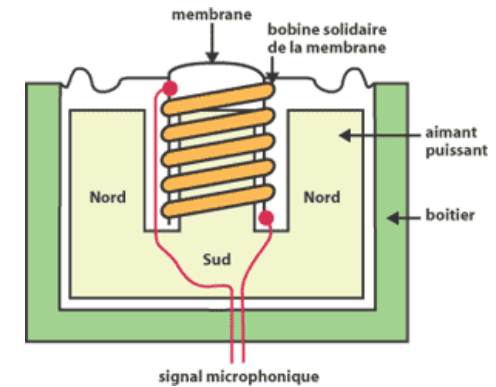
Pyroélectricité :



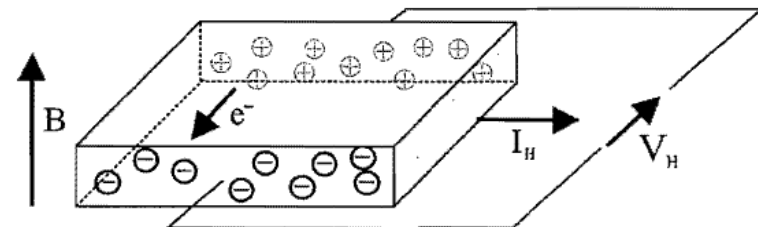
Photoélectricité :



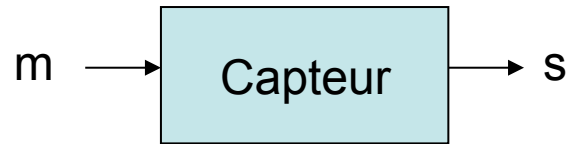
Induction :



Effet Hall :

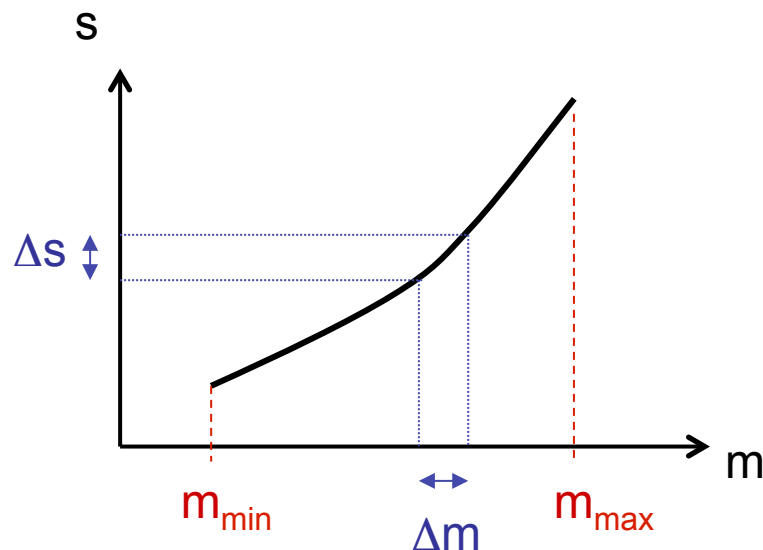


Performances des capteurs (1)



Fonction de transfert

= caractéristique d'entrée-sortie
(en régime permanent)



Etendue de mesure

$$E.M. = m_{\max} - m_{\min}$$

= plage dans laquelle le capteur
répond aux spécifications du
constructeur

Sensibilité

$$S(m) = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)_m$$

= pente de la tangente à la
caractéristique d'entrée sortie

Le sensibilité d'un capteur linéaire est constante

Ordres de grandeur pour S et E.M.

Capteur	Etendue de mesure E.M.	Sensibilité S
Thermistance - semiconducteur - Pt	0 -> 100°C -100°C -> 1000°C	3% /°C 0,3% /°C
Piezo - Quartz - PZT	0 -> 100 kN (limite élastique typique ≈ 5kN/cm ²)	2,3 pC / N 110 pC / N
Photodiode	≈ 100 mW	1 A / W (rendement quantique = ?)
μaccéléromètre ADXL202	2 g (g = 9,81 m s ⁻²)	312 mV / g

Performances des capteurs (2)

Caractéristiques statistiques

soit n mesures effectuées sur un mesurande, on définit à partir de ces n mesures :

- la valeur moyenne :

$$\langle m \rangle = \frac{\sum_i m_i}{n}$$

- l' écart type (dispersion des résultats autour de la valeur moyenne)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (m_i - \langle m \rangle)^2}{n - 1}}$$

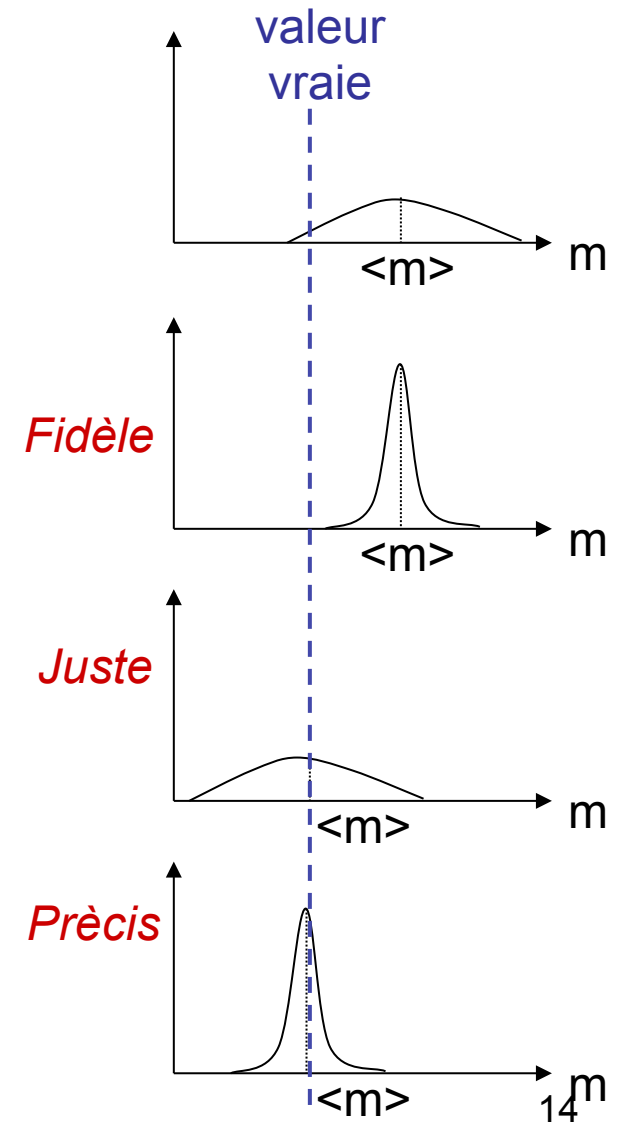
Fidélité = faible écart type

Justesse = faible erreur systématique

Précision :

Un capteur est précis s' il est juste et fidèle

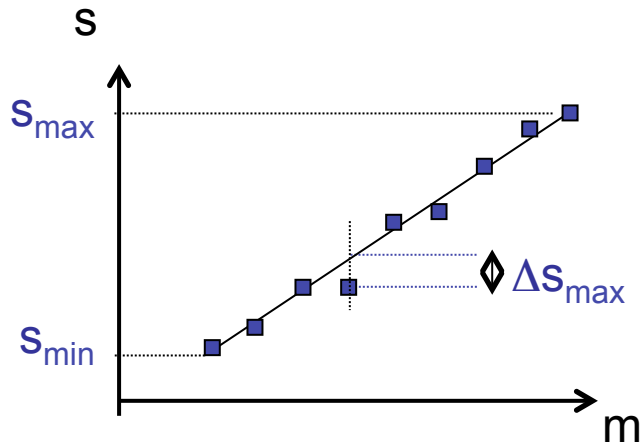
Densité de probabilité



Performances des capteurs (3)

Linéarité

$$\text{Erreur relative} = \Delta s_{\max} / (s_{\max} - s_{\min})$$



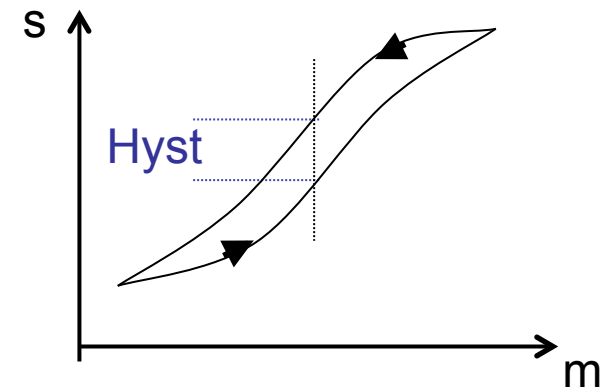
Limites d'utilisations

Exemple : Capteur de force à jauges piezorésistives N556-1

Domaine	Mesurande	Température
Nominal	0-10 N	0°C à 60°C
Non-détérioration	150 %	-20°C à 100°C
Non-destruction	300 %	-50°C à 120°C

Hystérésis

= différence max obtenue pour une même valeur de m



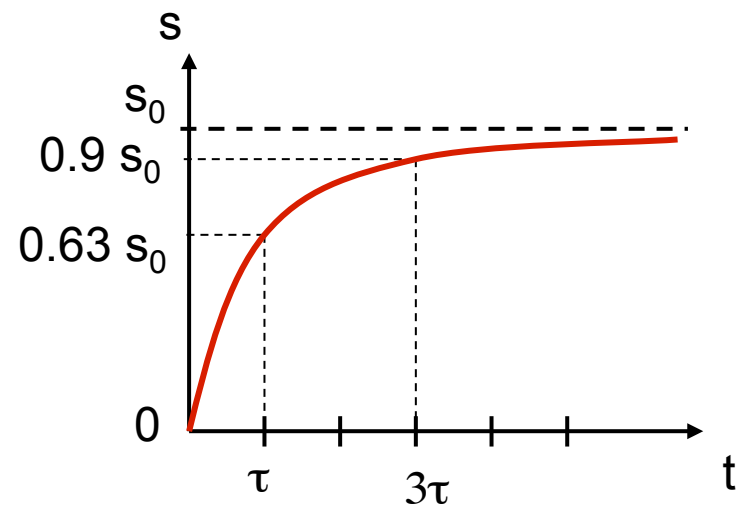
Performances des capteurs (4)

Capteur du premier ordre

Domaine temporel

Réponse à un échelon

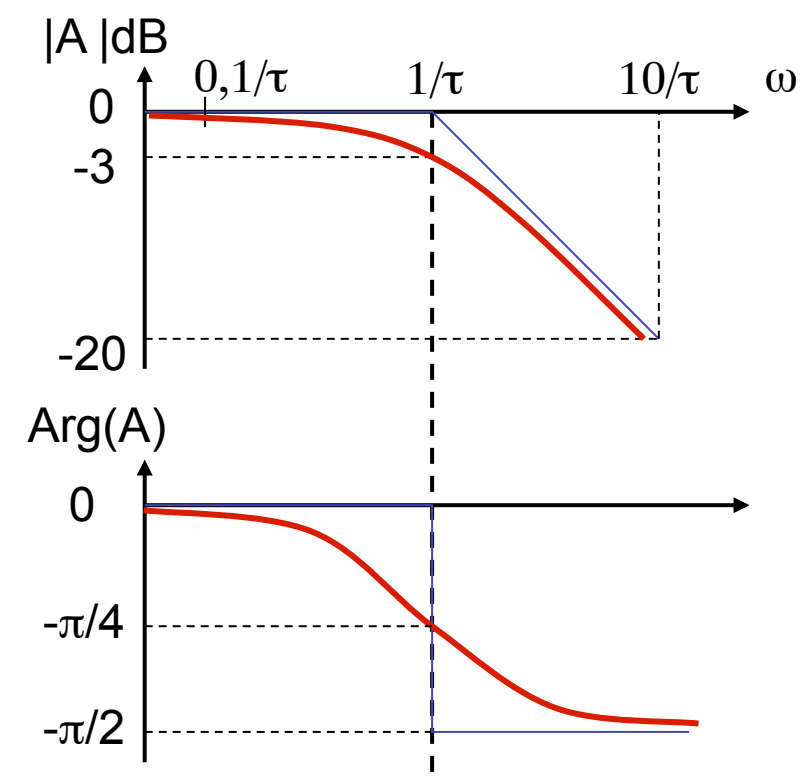
$$s(m, t) = s_0(m) \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$



Temps de réponse = τ

Domaine fréquentiel

Atténuation : $A(j\omega) = s(j\omega) / s_0$

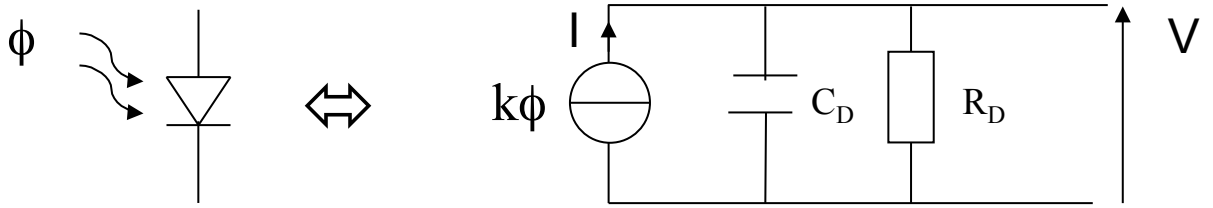


Bande passante = $[0 ; f_c]$
 $f_c = 1 / 2 \pi \tau$

Performances des capteurs (5)

Capteur du premier ordre

Exemple : la photodiode



$$I(t) = C_D \frac{dV(t)}{dt} + \frac{V(t)}{R_D} = k\phi \quad \Leftrightarrow \quad \frac{C_D}{k} \frac{dV(t)}{dt} + \frac{1}{k R_D} V(t) = \phi$$

Capteur d'ordre 1 avec $\tau = R_D C_D$

Fréquence de coupure : $f_c = 1 / 2 \pi R_D C_D$

Le temps de réponse est influencé par la chaîne de mesure.
Le produit GAIN x Bande Passante est CONSTANT.

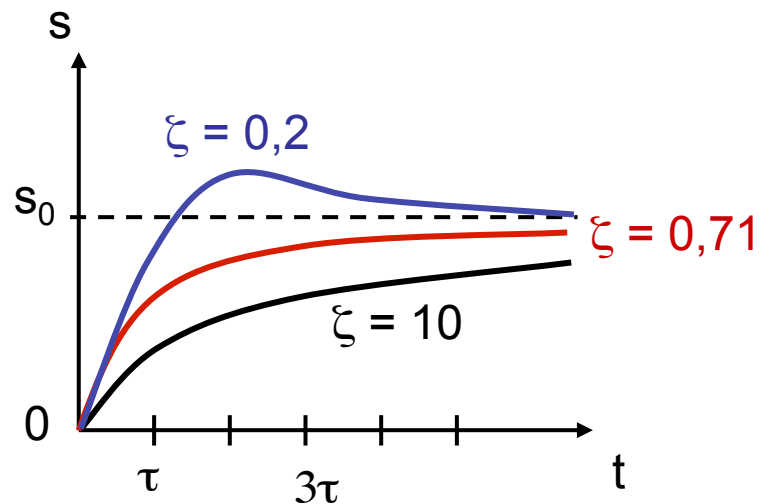
Performances des capteurs (6)

Capteur d'ordre 2

$$A(j\omega) = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + 2\zeta j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

Domaine temporel

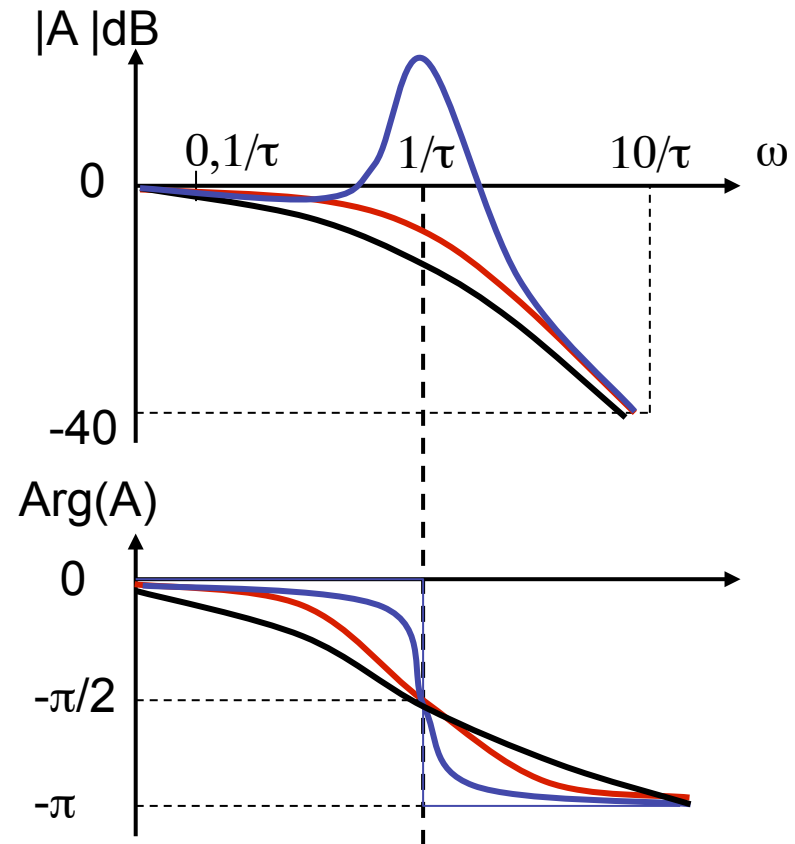
Réponse à un échelon



Temps de réponse = τ

ζ = facteur d'amortissement

Domaine fréquentiel



Bande passante = $[0 ; fc']$
 $fc' = ?$

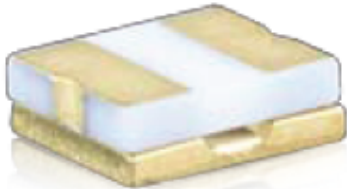
Performances des capteurs (7)

Capteur d'ordre 2

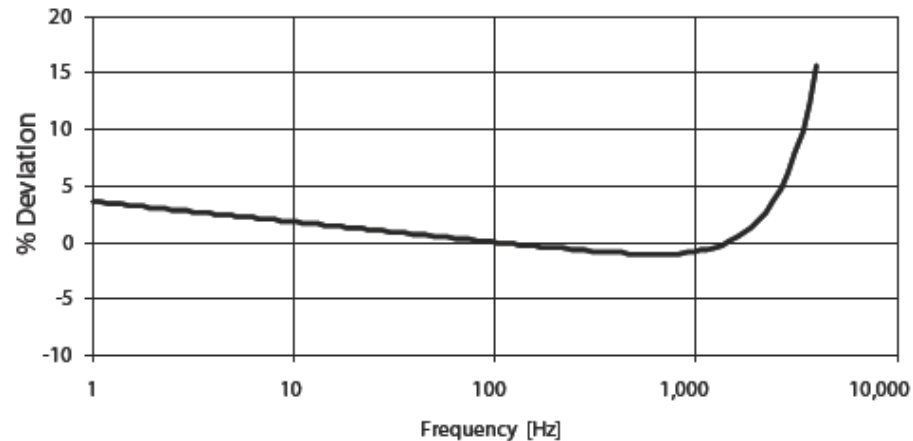
$$A(j\omega) = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + 2\zeta j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

Exemple : accéléromètre piezo

Model Endevco 12M1B



Typical amplitude response



Bande passante (à 5%) = 1 – 2000 Hz

$f_0 = 9 \text{ kHz}$

Le composant manquant ?

1971 : le concept (Leon Chua)...

