Dispositifs Médicaux de Mesure des signaux physiologiques

Pr. Norbert Noury

Université Claude Bernard Lyon 1



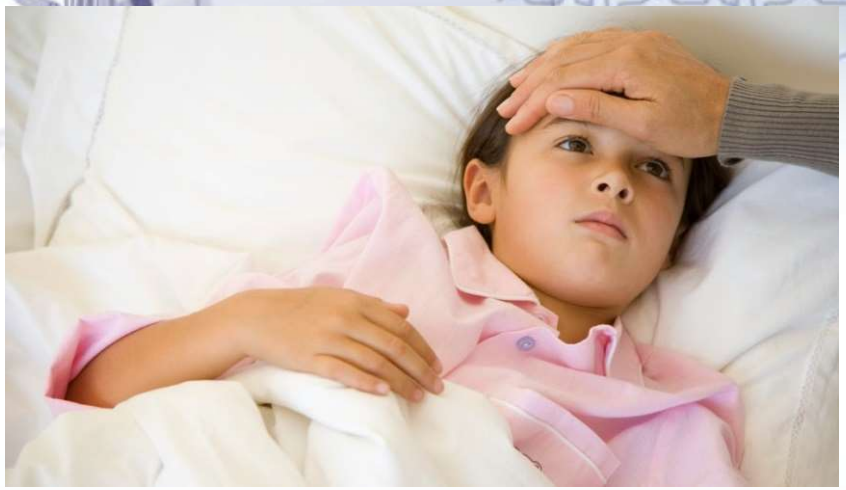
- ## Objectif de cette UE
  - Aborder les principes de fonctionnements des principaux DM de mesures non invasives (electrophysiologie, mécanique, thermique, optique).
- ## Pré-requis
  - remise à niveau en électronique (cours EN Ana)
  - Cours Instrumentation Capteurs (cours EN Inst)
- ## Modalités
  - 24h TD (13 chapitres)
  - 16h TP
- ## Contrôle des connaissances
  - Note finale écrit: 50%
  - Note pratique TP: 50%



1
Introduction aux capteurs pour la santé

Mesures physiologiques non invasives; notion de capteur; besoins médicaux; contraintes

La mesure des paramètres physiologiques



- En 400 av. J.-C. le médecin grec Hippocrate a placé la main sur le front d'un de ses patients pour en estimer la température corporelle

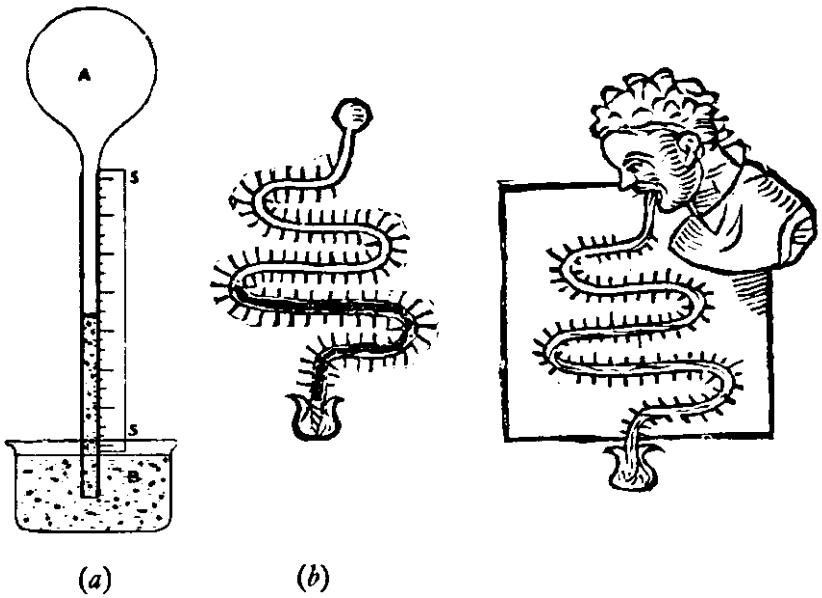
Jusqu'au XVII^{ème} siècle, les seuls outils de diagnostique du médecin furent ses 5 sens, avant l'utilisation d'un thermomètre

- Au XX^{ème} siècle les capteurs ont permis la quantification précise et répétable d'une grandeur mesurée sur le corps humain pour :
  - caractériser et suivre l'état d'un patient pour le **médecin**
  - comprendre le fonctionnement du corps humain pour les **chercheurs**



La mesure des paramètres physiologiques

- **XVII^{ème} siècle : Le thermomètre**
- Thermomètre de Galilée adapté par Sanctorius (1612)



Thermometer

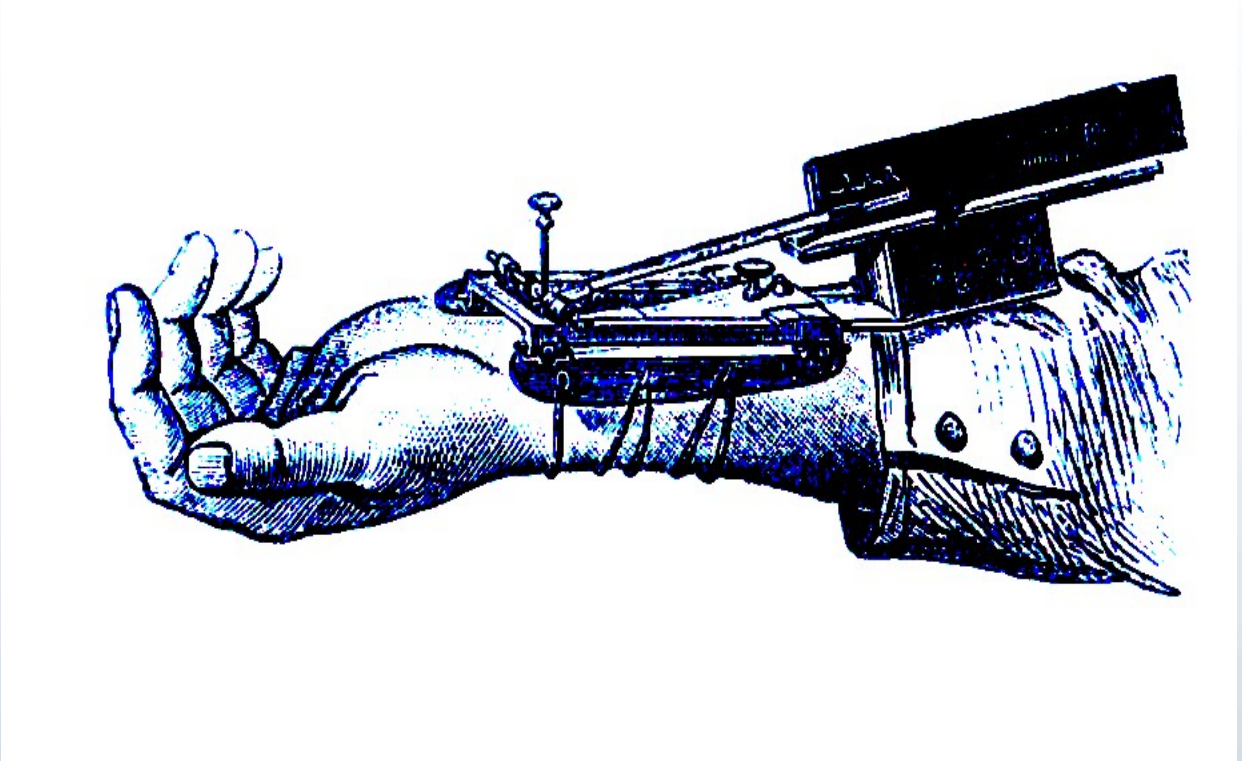
(*a*) The principle of Galileo's thermometer. The bulb *A* is inverted over the mercury bath *B*. A rise in air temperature causes expansion of the air in *A* and a fall in the mercury level in the tube, and vice versa. The readings are inaccurate since the instrument acts both as a thermometer and a barometer, and the atmospheric pressure therefore influences the result.

(*b*) Galileo's thermometer as adapted by Sanctorius.

(*c*) The Sanctorius instrument used as a clinical thermometer.

Des techniques mises au point depuis longtemps…

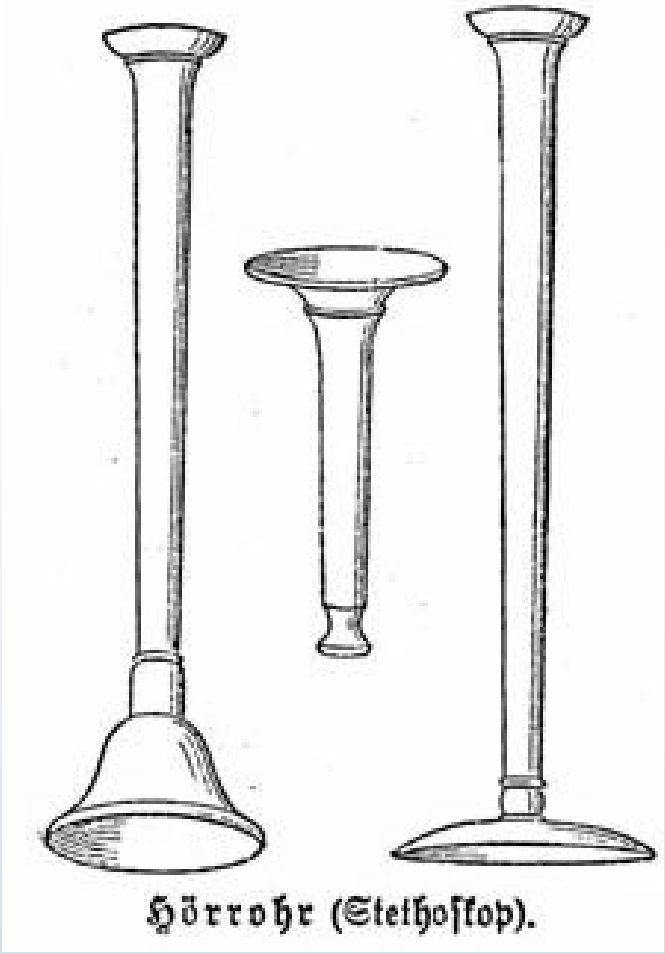
XIX^{ième} siècle : Le sphygmographe (enregistreur des battements du pouls, 1863) de Etienne-Jules Marey (Médecin Physiologiste, 1830-1904)



…Un Lyonnais !

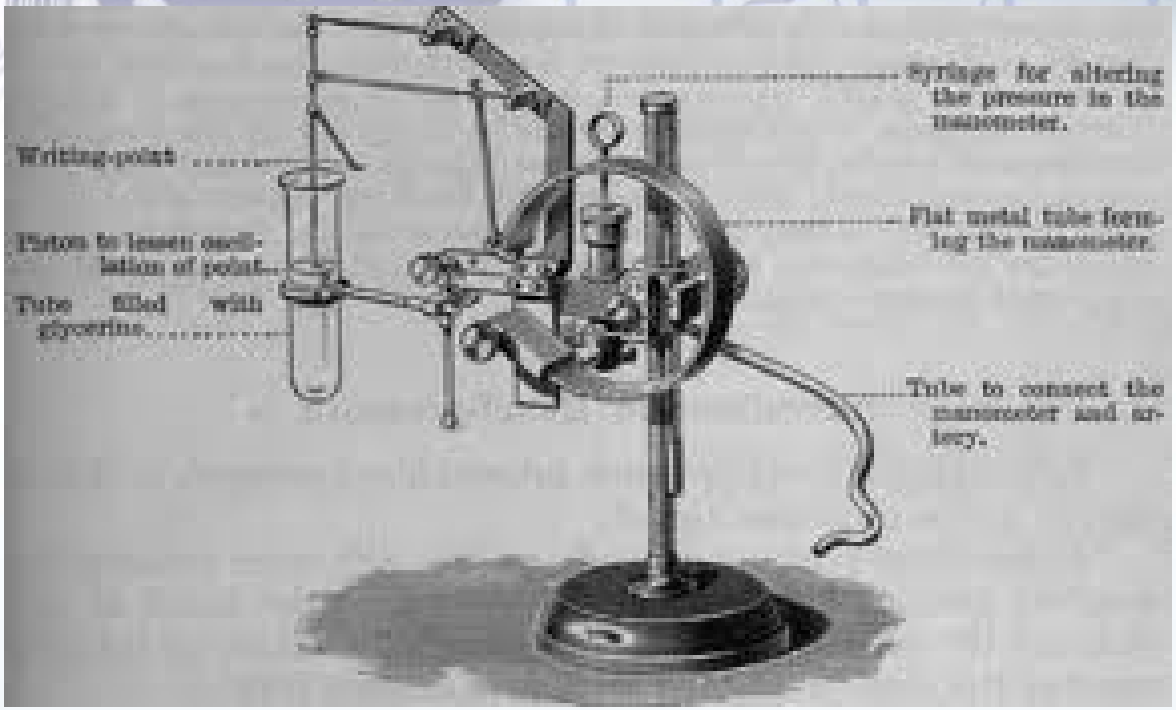
Des techniques mises au point depuis longtemps…

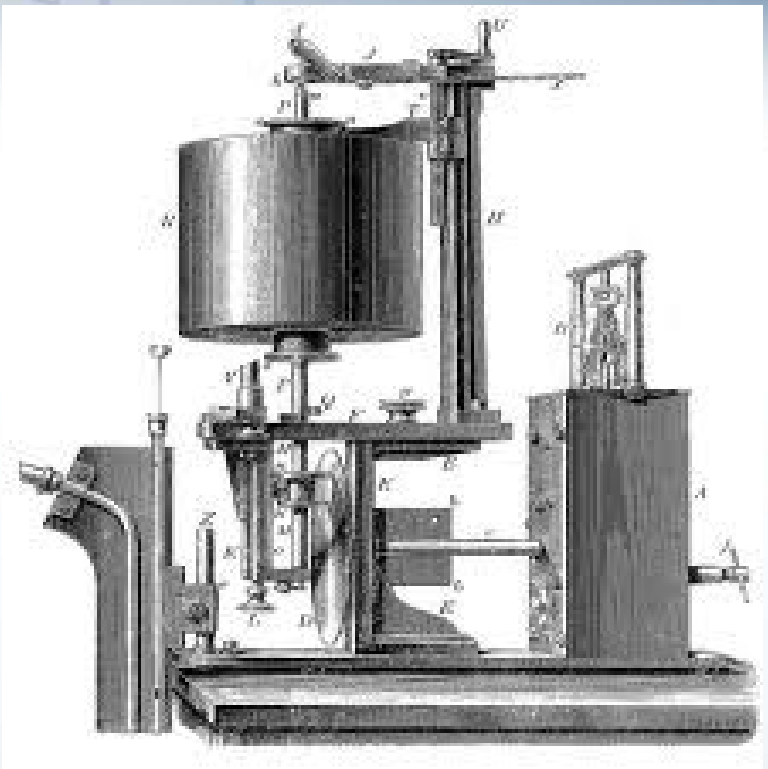
- **XIX^{ème} siècle : Le stéthoscope**
- **Le cornet acoustique** du Docteur René Laennec (1816)



…encore un Lyonnais !

XIX^{ième} siècle: Le Kymographe de Ludwig



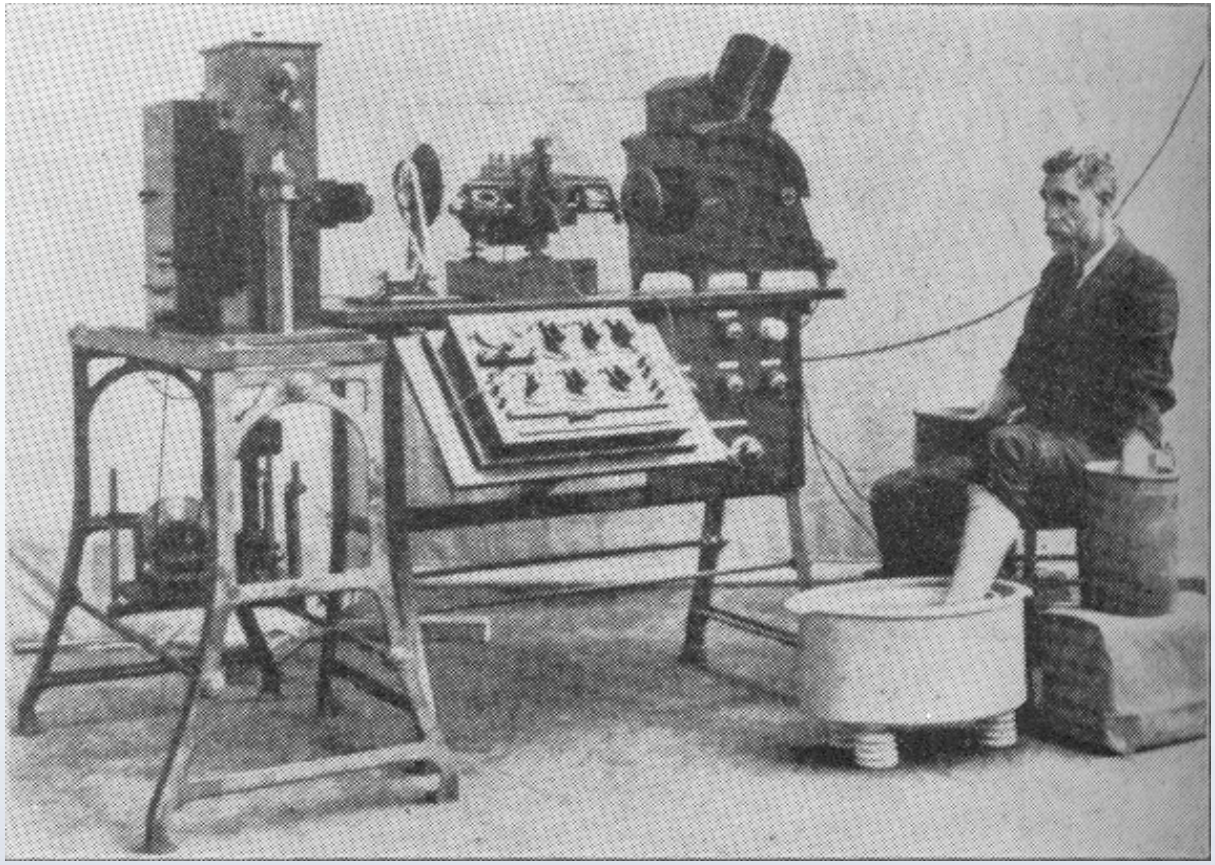


Le kymographe ('wave writer') est le premier enregistreur de pression artérielle, inventé par le physiologiste Allemand Carl Ludwig en 1840.

"Its primary use was to measure phenomena such as changes in muscular contractions or other physiological processes, including speech sounds."

XX^{ème} siècle : L'électrocardiographe

- Enregistreur de l'activité électrique cardiaque par Einthoven



Le corps humain : une machine complexe imbriquant de nombreuses boucles de régulation

Homeostasie: équilibre interne et interne/externe



« La vie résulte d'un conflit, d'une relation étroite et harmonique entre les conditions extérieures et la constitution préétablie de l'organisme. »

« La fixité du milieu intérieur est la condition d'une vie libre et indépendante. »

Le Physiologiste Français **Claude Bernard**
(12 July 1813 – 10 February 1878)

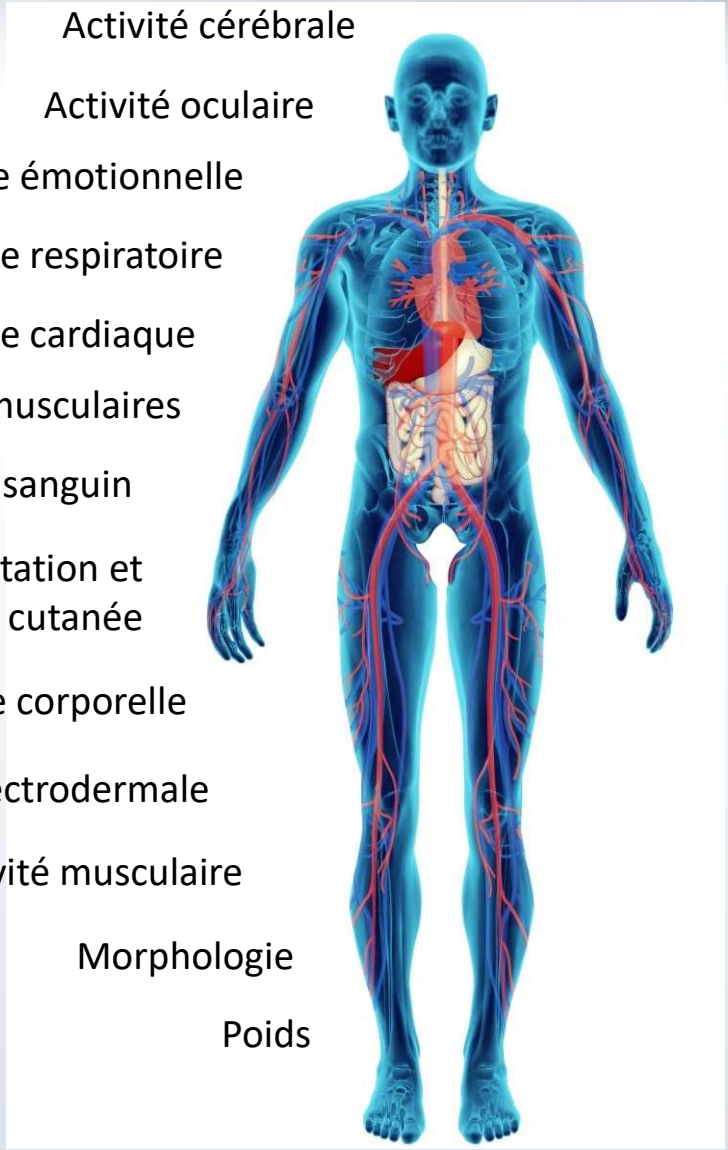
…encore un Lyonnais !

« La vérité scientifique sera toujours plus belle que les créations de notre imagination et que les illusions de notre ignorance. »

Que peut-on mesurer, et où ?

La peau est une surface qui recouvre l'intégralité du corps (1.5 – 2.3m²)

Elle **est en regard** des organes vitaux et des fonctions physiologiques périphériques



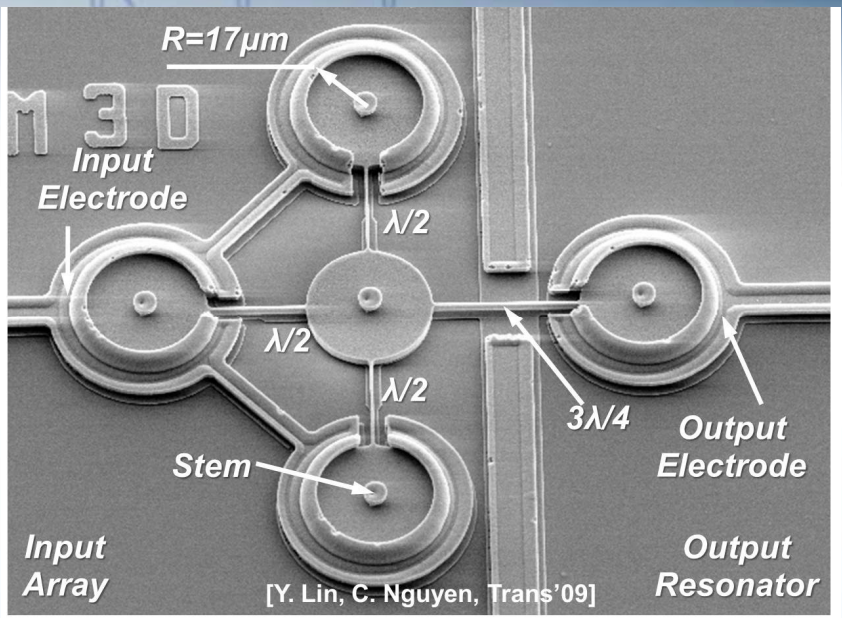
➡ **Surface opératoire privilégiée**

De récentes opportunités technologiques

- Au XXI^{ème} siècle, la micro- et nano-électronique, la miniaturisation des moyens de transduction (**MEMS**)
- les techniques de l'information et de la communication (**Microcontrôleurs**),

ouvrent une nouvelle voie d'utilisation des capteurs …





Le capteur biomédical embarqué devient l'outil mobile de la médecine personnalisée (pHealth), utilisée directement par le patient

Le patient devient informé et décideur de sa santé, même en situation de mobilité

Avec quoi mesurer ?

Les sens du médecin ne fournissent pas de valeur numérique !
Il faut quantifier la mesure…

Capteur

Mesurande → **Transducteur** → **Conditionneur** → **Afficheur**

Grandeur à mesurer

- température
- pression
- accélération

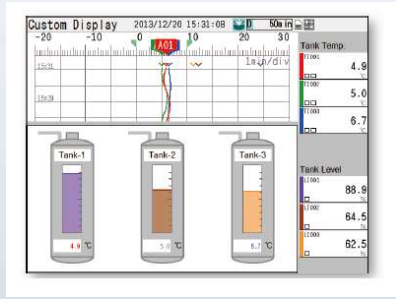


Grandeur quantifiable

- signal électrique
- Mise à l'échelle
- Bande passante







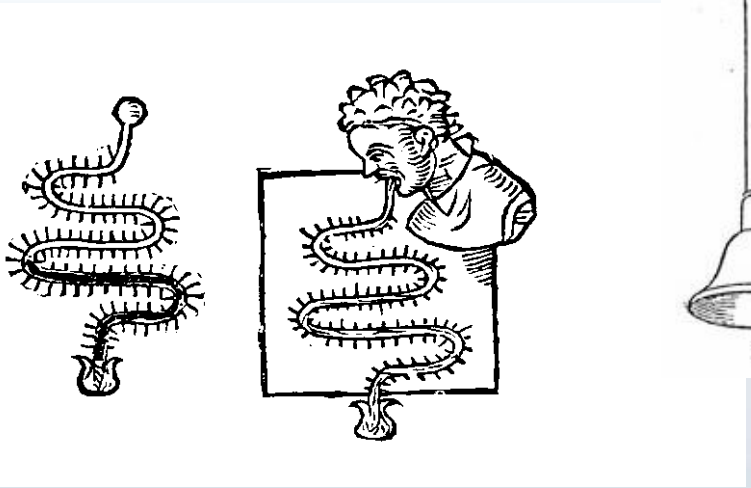
STOP Exo !

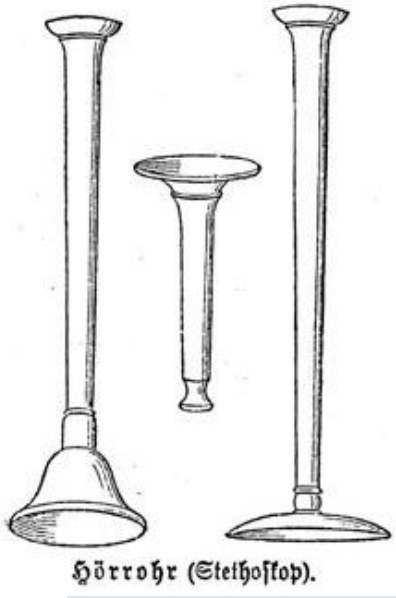


Décrire le transducteur, le conditionneur et l'afficheur :

- Du thermomètre d'Hippocrate;
- Du stéthoscope de Laennec;
- Du thermomètre de Galilée;
- Du thermomètre infrarouge.







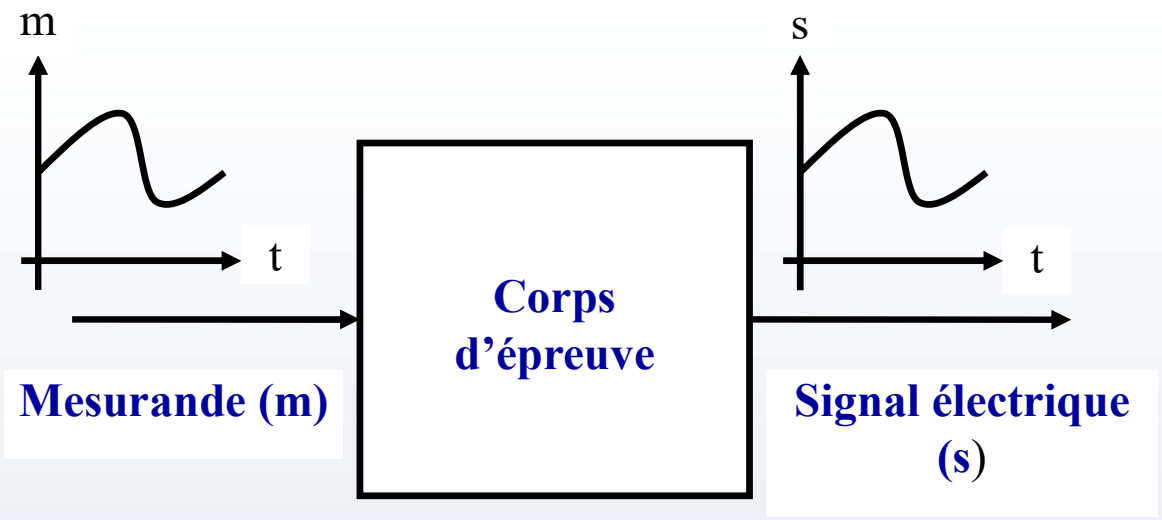


Keep going...



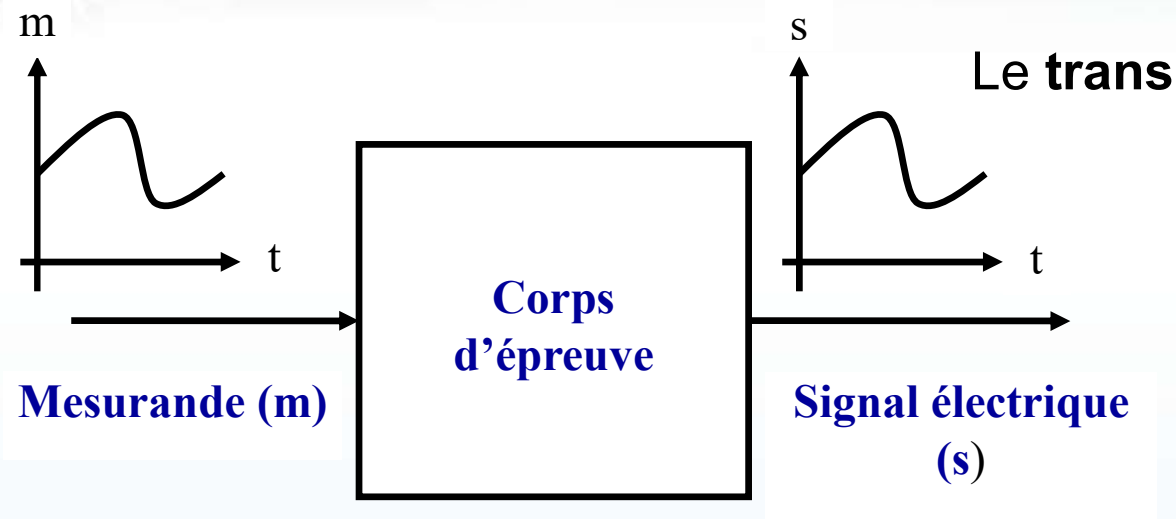
A l'heure du numérique et de l'internet des objets, l'information se transmet électroniquement

Toute grandeur mesurée par un capteur doit être convertie en signal électrique pour être numérisée (transducteur)

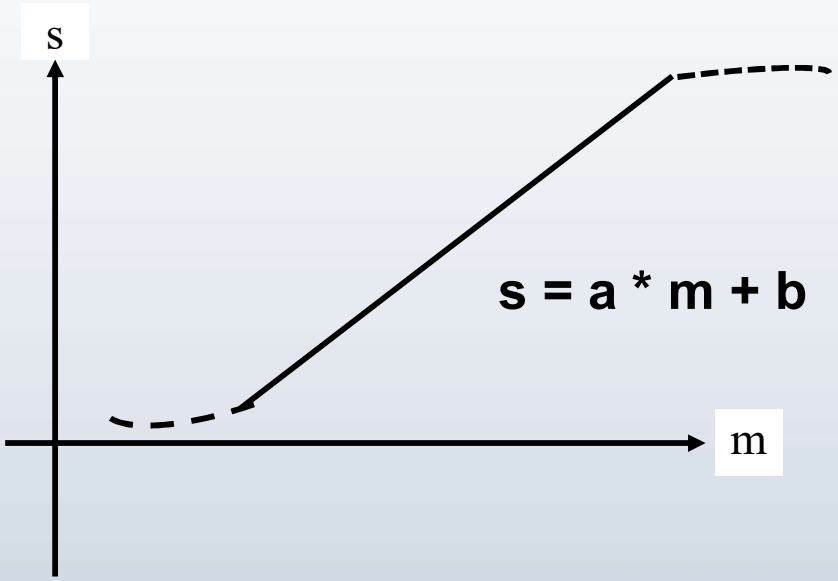


Le **transducteur** (corps d'épreuve) est sensible au **mesurande**, sous l'effet duquel il fournit un **signal** : **s = f(m)**

La caractéristique statique d'un capteur



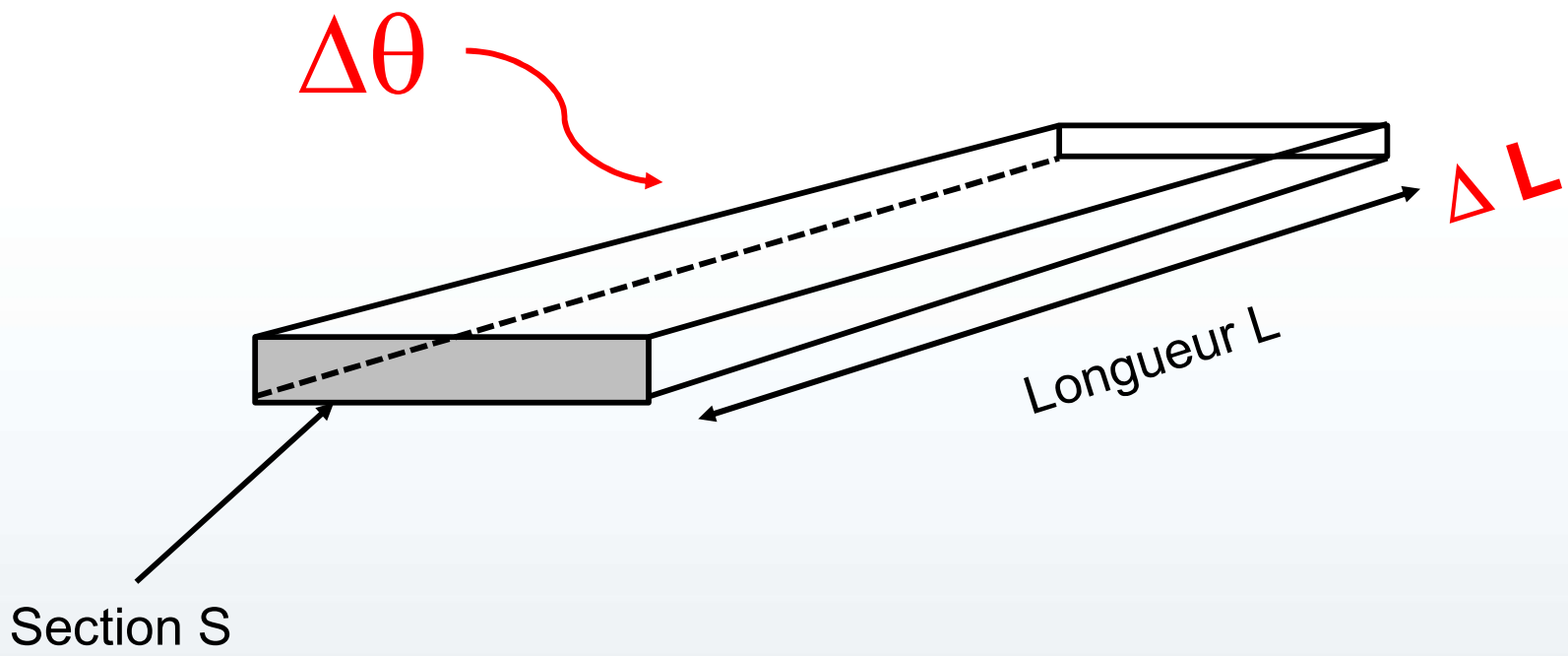
Le **transducteur** fournit un **signal** : **s = f(m)**



La **caractéristique statique** représente graphiquement la relation : **s = f(m)**

Rq : **Zone de linéarité**

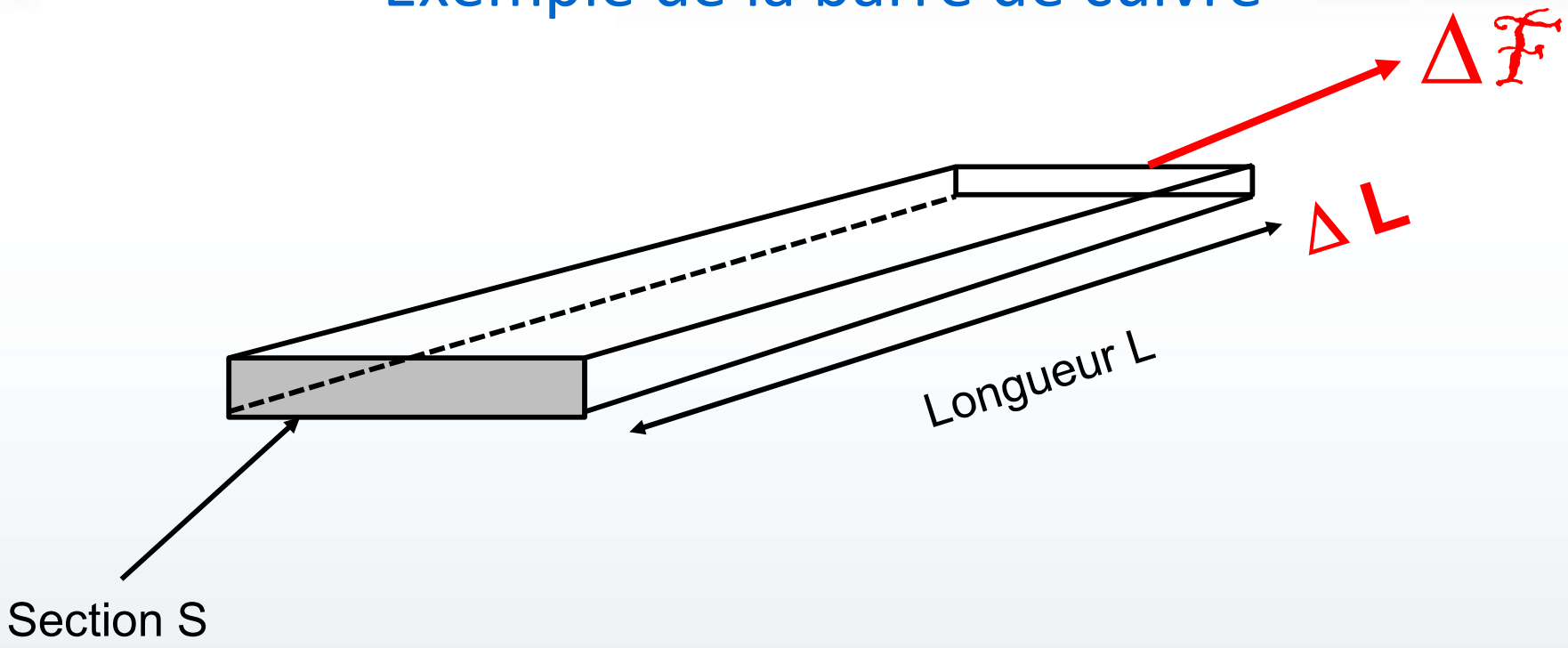
Exemple de la barre de cuivre



? Effet du réchauffement/refroidissement

$$\Delta L = F(\Delta\theta)$$

Exemple de la barre de cuivre

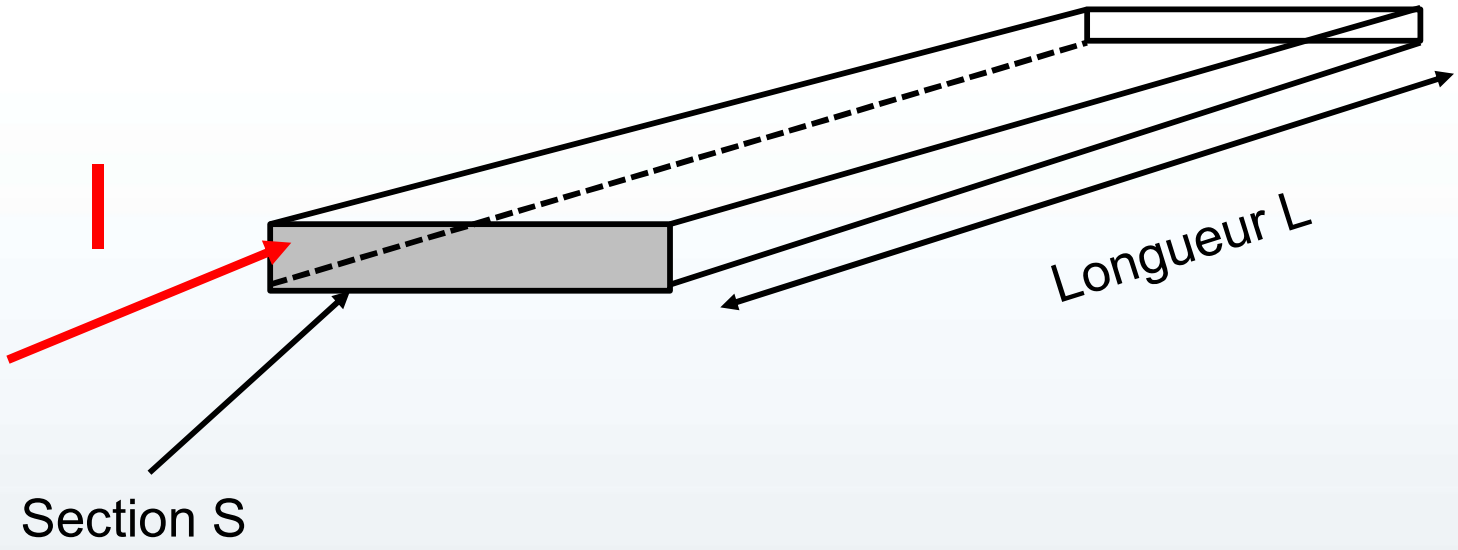


? Effet de la contrainte en traction/compression

$$\Delta L = F(\Delta \mathcal{F})$$

Exemple de la barre de cuivre

$$V = R.I$$



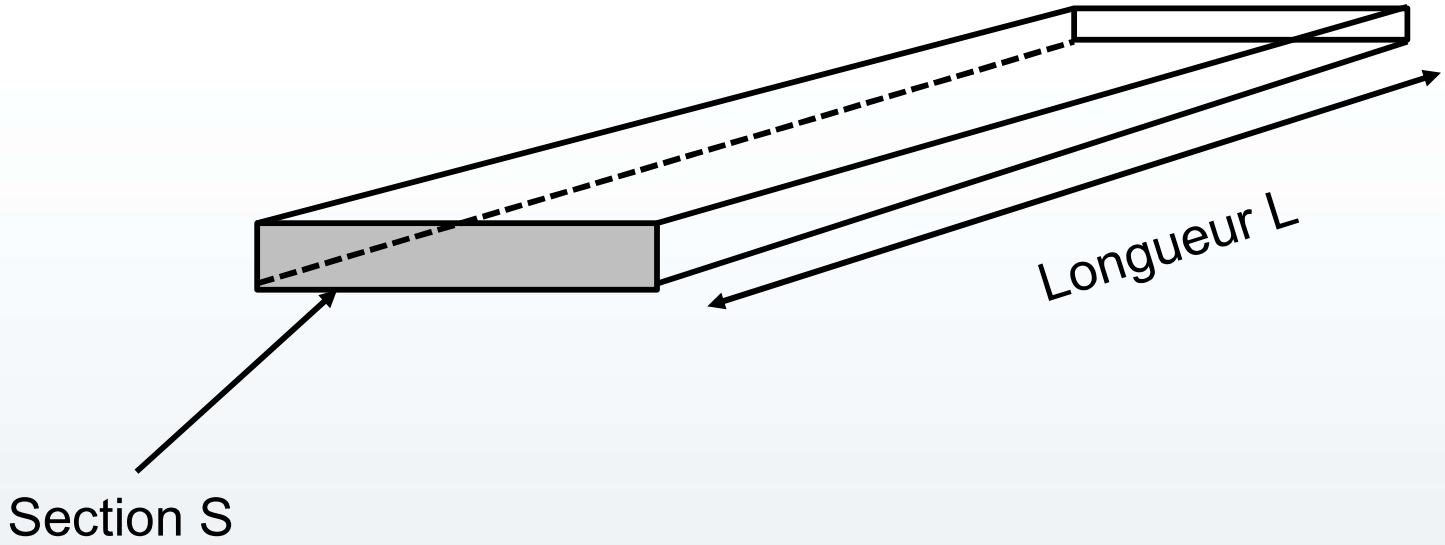
$$R = \rho.\frac{L}{S}$$

$$\Delta R = \rho.\frac{\Delta L}{S}$$

? Effet du courant électrique

$$\Delta V = \Delta R.\mathrm{I}$$

Exemple de la barre de cuivre



Capteur de Température
Capteur de force

$$\Delta V = \Delta R.I = F(\Delta\theta) = F(\Delta \mathcal{F}) = \ldots$$

Capteur Passif

Impédance Z (résistance, capacité, inductance) sensible au mesurande :

- loi d'Ohm

$$u(t) = Z.i(t)$$

Passage du courant modifié par les paramètres intrinsèques du capteur

- résistivité (*e.g.* température, position, humidité):
- R (Ohm), L (m), S (m²), ρ (ohm.m)

$$R = \rho.\frac{L}{S}$$

- constante diélectrique (*e.g.* position, humidité, déformation)
- C(Farad), A (m²), d(m), ε (permittivité)

$$C = \varepsilon.\frac{A}{d}$$

- perméabilité magnétique (*e.g.* position, déformation)

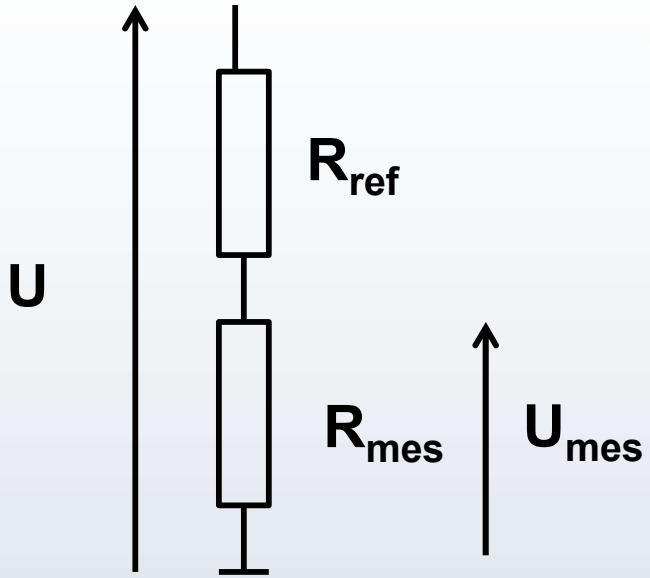
Conditionnement du capteur :

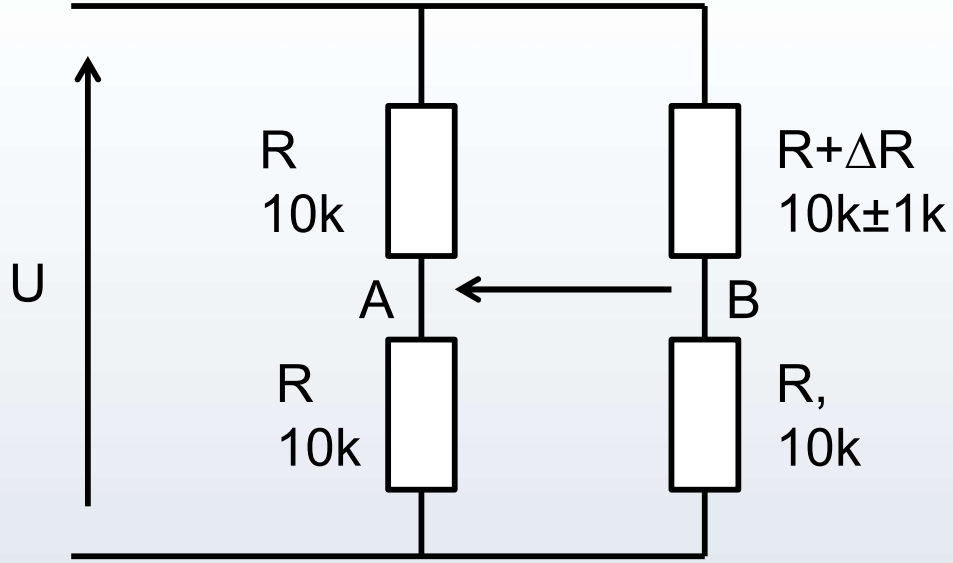
- montage « potentiométrique » (pont diviseur)
- pont d'impédance
- circuit oscillant
- gain d'amplification

Conditionnement signal Capteur Passif

Conditionnement du capteur :

- montage « potentiométrique » (pont diviseur)
- pont d'impédance
- circuit oscillant
- gain d'amplification



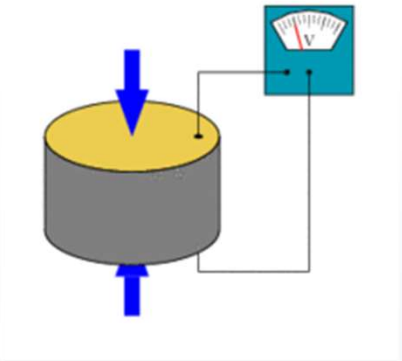


Capteur Actif

C'est un *générateur :*

*a*ssure la conversion directe d'un phénomène physique en signal électrique (courant, tension, charges)

$Rappels: i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$ $\quad q(t)=C.v(t)$ $\quad v(t)=Z.i(t)$

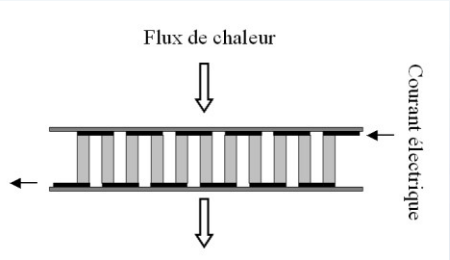


Effet piézoélectrique

déformation mécanique ⇔ polarisation électrique
(*e.g.* pression, actimétrie)

Effet pyroélectrique

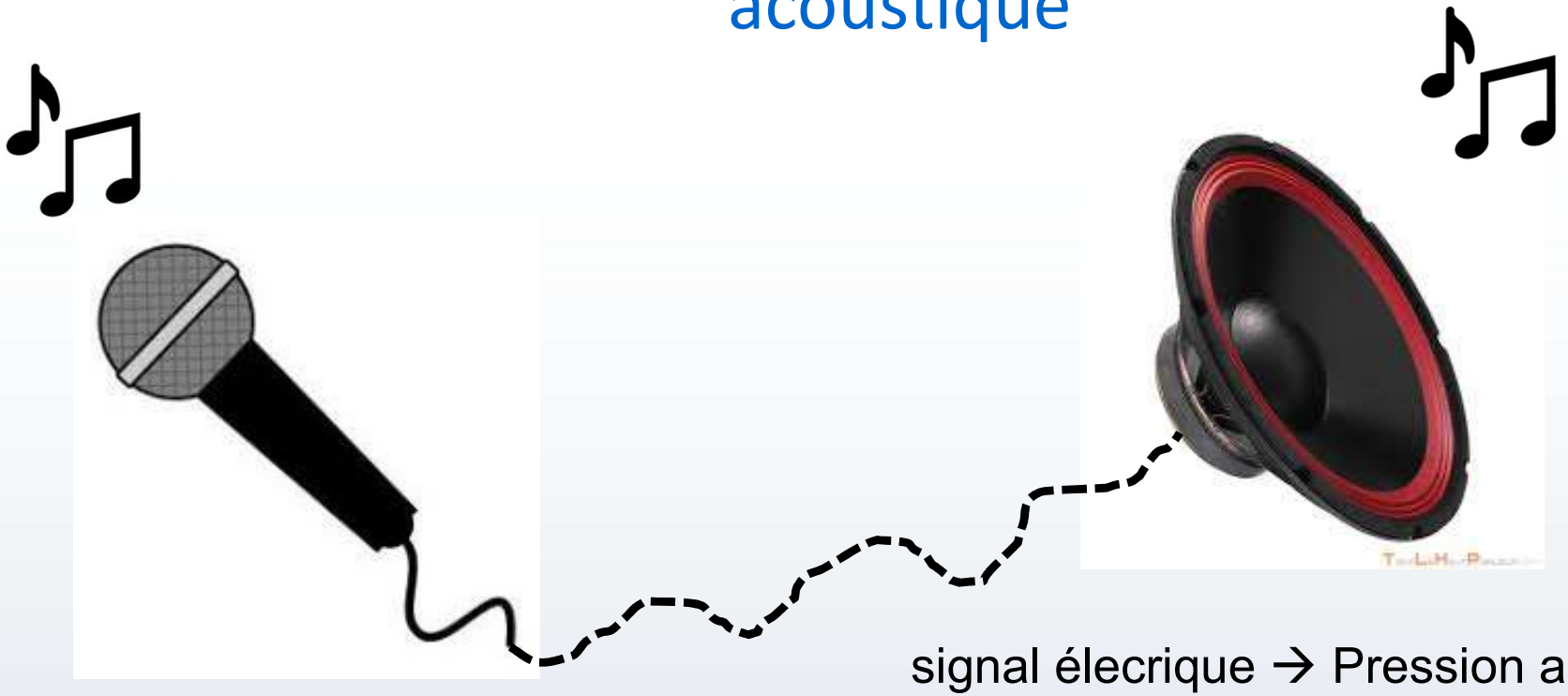
échauffement ⇔ polarisation électrique
(*e.g.* température surfacique, capteurs Infra Rouges)



Effet thermoélectrique (effet Seebek)

Naissance de champ électrique entre 2 conducteurs de natures différentes liés par des jonctions à leurs extrémités et soumis à un gradient thermique (*e.g.* température)

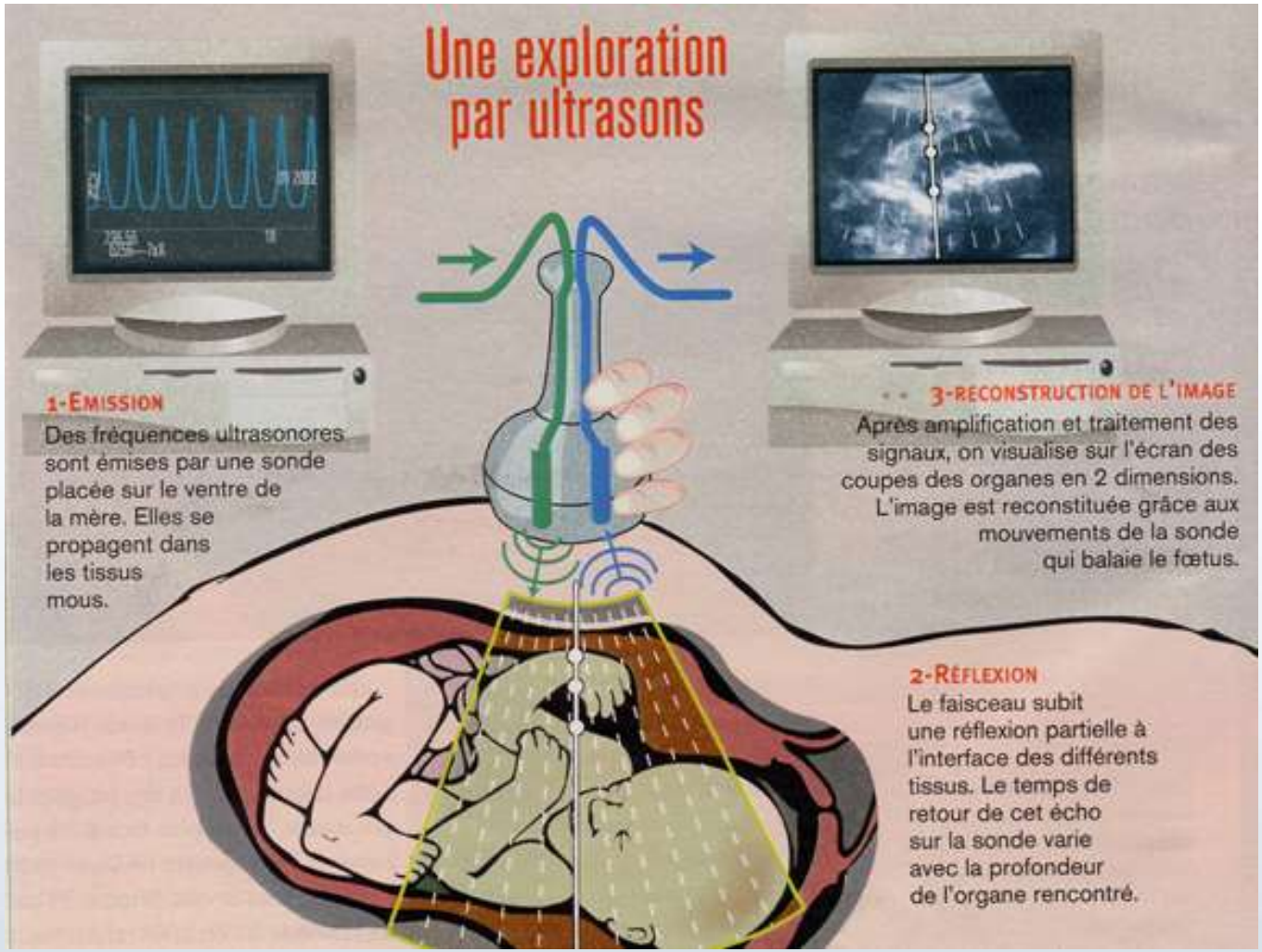
Capteur de pression acoustique/générateur de pression acoustique



signal élecrique → Pression acoustique

Pression acoustique → signal élecrique

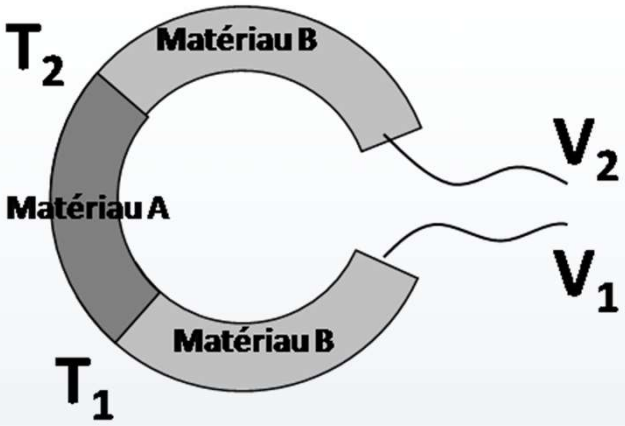
Sonde d'Imageur ultrasonore



Effet thermoélectrique

Effet Seebeck (coefficient Seebeck)

Une différence de température dT=T2-T1 entre les jonctions de deux matériaux a et b implique une différence de potentiel électrique dV= V2-V1:



Coefficient Seebeck:

$$S_{a,b} = \frac{V_2 - V_1}{T_2 - T_1} = \frac{dV}{dT}$$

Coefficient Peltier (libération de chaleur Q par passage du courant I): $\pi_{a,b} = \frac{Q}{I}$

Coefficient Thomson (gradient de flux thermique au sein du matériau): $\frac{dQ}{dx} = I.\frac{dT}{dx}.\tau$

Relations: $\pi_{a,b} = S_{a,b}.T \quad et \quad \tau_a = T.\frac{dSa}{dT}$

Grandeurs d'influence

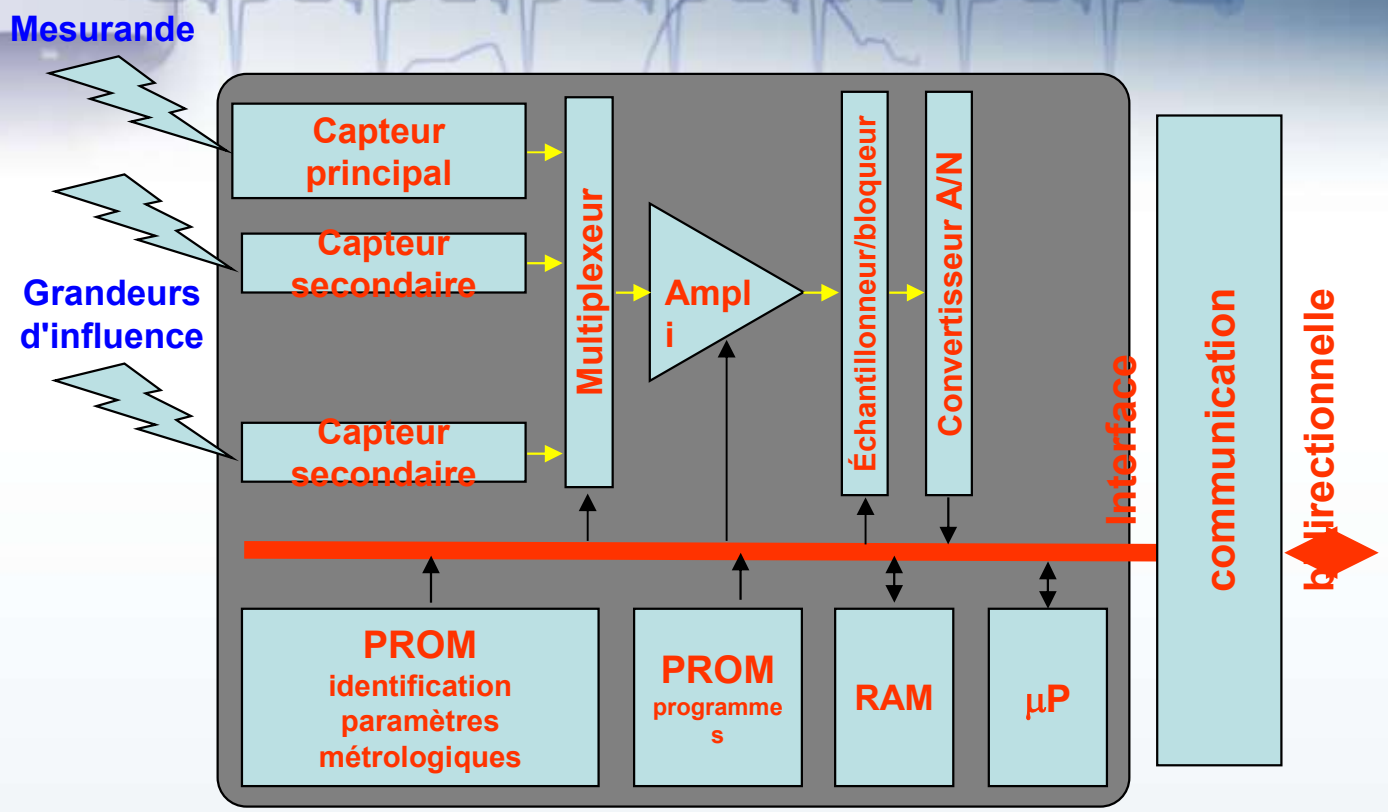
Interactions de multiples lois physiques au sein du matériau :

$$S = F(m, g_1, g_2, \ldots)$$

Les g_i sont les grandeurs d'influences :

- Température : caractéristiques électriques, mécaniques, géométriques
- Pression, accélération, vibrations : altération de la réponse
- Champs magnétiques : résistivité, f.e.m. induites
- Humidité : résistivité, diélectrique, isolation
- Temps: vieillissement

Capteur intelligent (Smart Sensors)



1. Tient compte des grandeurs d'influence (capteurs secondaires des mesurandes secondaires) pour améliorer la qualité de la mesure en effectuant des corrections (linéarisation)
2. Extrait la valeur pertinente du signal (information)
3. Effectue des tests fonctionnels
4. Est capable de communiquer avec un système d'information

Besoins Médicaux

Classiques :



- Armée et défense
  - Surveillance de la condition physique du combattant
  - Détection d'agents pathogènes sur le terrain
- Exploration spatiale
  - Survivre en absence d'apesanteur ?
  - Recherche physiologique
- Recherche médicale



Chienne Laika, 3 novembre 1957



Chimpanzé Enos, novembre 1961

Nouveaux :

- Une population vieillissante
  - Un manque de personnel hospitalier
  - Une demande de soins à domicile
  - Une restructuration du modèle familial
- Industriels
  - Intégration aux produits
  - Études



Thomas Pesquet

Que veut on mesurer ?



Les signaux vitaux

- Pouls, activité cérébrale, respiration…

La composition sanguine

- Gaz, concentration de glucose…

Les mouvements

- Chute, inactivité prolongée…

Contraintes des capteurs Médicaux

Sûreté

- Isolation électrique
- Etanchéité
- Alarme (en cas de dysfonctionnement)
- Matériaux non allergènes
- Circuits basse tension (0.9 -1.5 V)

Fiabilité

- Pas de « bricolage »
- Pas de « dérèglement »

Réglementation avant mise sur le marché :

- Europe : MDR 2017/745, marquage CE
- USA: 510k (FDA-Food and Drug Administration)
- Japon : Loi PMD (MHLW - Ministère de la santé, travail et bien être)
- …

Autonomie (intelligence, communication, énergie)

Mobilité, Calibrage, Mais aussi…

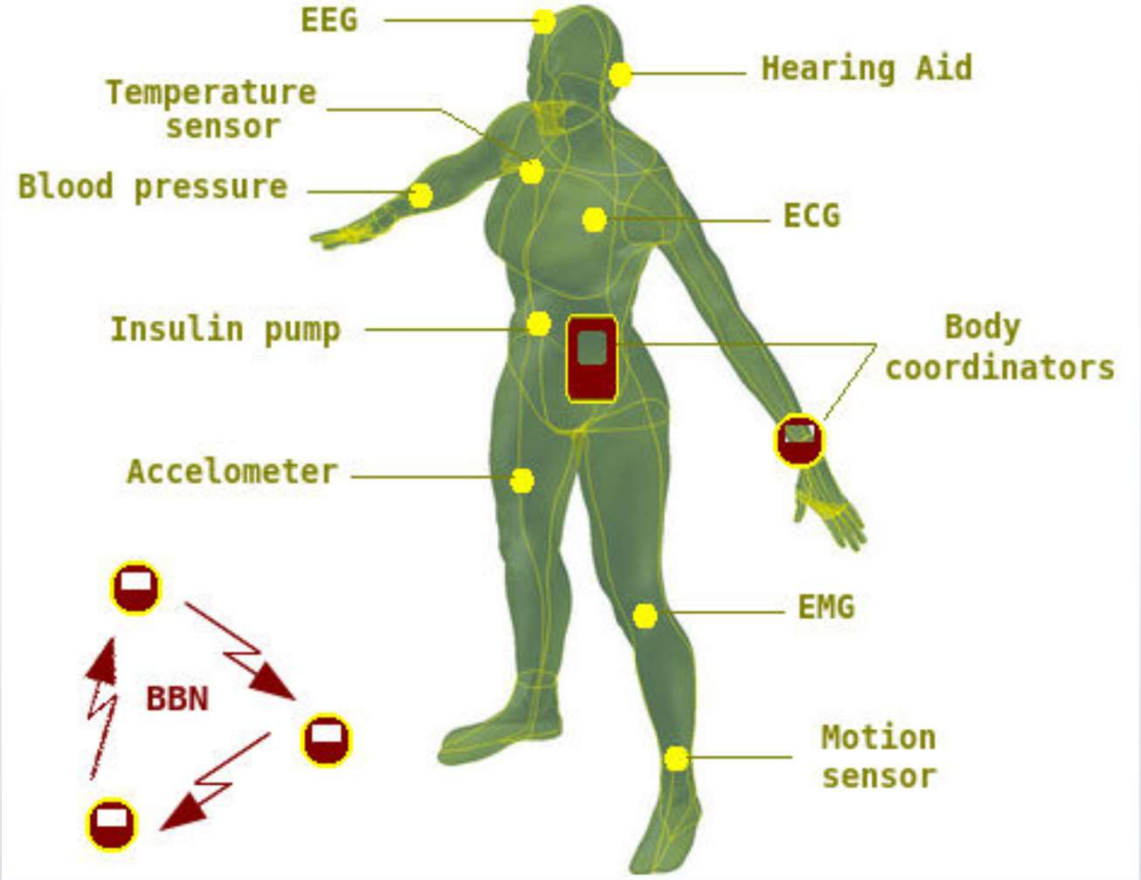
- Non invasif
- Non intrusif
- Indolore

…connectivité (Health IoT)

LAN : Local Array Network

BAN: Body Array Network

WBAN: wireless BAN



WBAN: wireless BAN

BBN: Body to Body Network

