

Cours : Capteurs et Instrumentation

Enseignants:

M. Abdellatif Belhadj
Mme. Faten Kardous

faten.kardous@ensta.u-carthage.tn

Durée: 1h



Capteurs & Instrumentation

<http://gem-domotique.com/>

ENSTAB 2018/2019



1

Objectifs du cours

- Connaître les principes physiques des capteurs usuels
- Connaître les caractéristiques et les limitations de différents capteurs
- Connaître les principaux circuits de conditionnement
- Point de vue utilisateur :
 - Bon choix du capteur pour une application concrète
 - Savoir utiliser un capteur
- Point de vue développeur :
 - Concevoir et développer un capteur

Présentation - Enseignante

• Formation :

- Ingénieur en Génie Electrique & Automatique, ENSEIHT, Toulouse
- Mastère Recherche, INPT, Toulouse
- Docteur en Sciences de l'ingénieur, microtechnologies, Université de Franche Comté, FEMTO-ST

• Enseignements :

- **Capteurs intelligents**, Master Recherche en Electroniques & Télécommunications (MRET)
- **Capteurs et actionneurs embarqués**, Master Professionnel en Systèmes Embarqués (MPSE)
- **Capteurs et actionneurs**, Licence Appliquée en Systèmes de Communication et Multimédia Industrielle (LASCMI)

• Recherches:

- Micro-capteurs et microactionneurs pour le biomedical,
- Microtechnologies

• Actuellement : Enseignant-chercheur à l'ENSTAB, LaRiNa



Salle blanche Temis,
Besançon France

Capteurs & Instrumentation

ENSTAB 2018/2019

2

Plan du cours

Chapitre 1 – Les Capteurs : Définitions et classifications

Chapitre 2 – Caractéristiques des capteurs

Chapitre 3 – Les capteurs : Principaux Principes de fonctionnement

Chapitre 4 – Electronique Associée aux Capteurs (Conditionneurs)

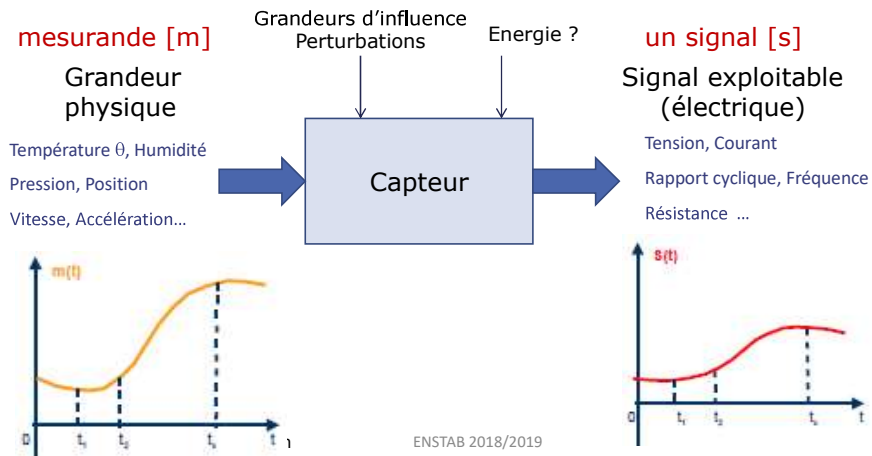
Chapitre 5 – Acquisition de Données

Chapitre 1 – Les capteurs : Définitions et Classifications

1. Définitions

1.1 Définition d'un capteur

Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique d'entrée, appelée **mesurande** [m] en **un signal** [s] exploitable par un système de traitement de l'information généralement électrique image du mesurande .



Plan du chapitre

1. Définitions

Capteur, Mesurande, Chaîne de mesure, Conditionneurs, Influence environnement

2. Classifications

Diverses classifications, Actif / Passif...

Objectif



Savoir comment choisir les capteurs.



1. Définitions

1.1 Définition d'un capteur

- Le **mesurage** est l'ensemble des opérations permettant l'obtention de la valeur numérique d'une grandeur physique.
- La **mesure** est la valeur numérique représentant au mieux le mesurande.

1. Définitions

1.2 Mesurande

Un **mesurande** est la grandeur physique que l'on souhaite connaître.

- **Mécanique** : déplacement, force, masse, débit...
- **Thermique** : température, capacité thermique, flux thermique...
- **Electrique** : courant, tension, charge, impédance, diélectrique...
- **Magnétique** : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique...
- **Radiatif** : lumière visible, rayons X, micro-ondes...
- **(Bio)Chimique** : humidité, gaz, sucre, hormone...

1.3 Élément sensible

Transducteur : élément sensible lié au mesurande. Il traduit ses réactions en une grandeur électrique constituant le signal de sortie. Il est l'élément fondamental qui permet de passer du domaine physique du mesurande au domaine électrique [optique, pneumatique...]

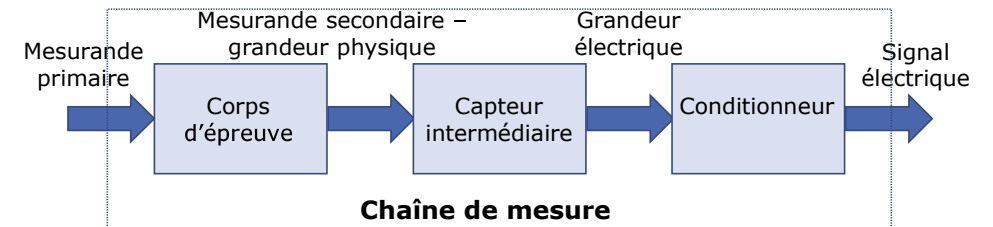
1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure

La traduction par un capteur d'un mesurande en grandeur n'est généralement pas appropriée à son exploitation.

⇒ Les capteurs sont les premiers éléments d'une **chaîne de mesure** ou chaîne d'acquisition de données.

⇒ Ce sont les **interfaces** entre le "monde physique" et le "monde électrique"



Si la chaîne de mesure fait intervenir **plusieurs transducteurs**, on appelle **corps d'épreuve** celui en contact direct avec le mesurande. Il fournit une grandeur secondaire non électrique

Le dernier **transducteur** est associé à un **conditionneur** qui fournit la grandeur électrique de sortie de manière **exploitable**.

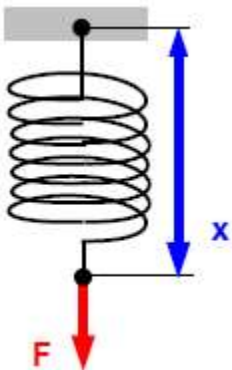
1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure

a. Corps d'épreuve

* **Exemple** : Mesure d'une force mécanique

On utilise comme corps d'épreuve un élément élastique, respectant la loi linéaire (raideur constante).



$$F = -kx \Rightarrow x = -F/k$$

Le mesurande "force" est transformé en mesurande "déplacement"

Le capteur de force utilise ainsi les technologies du capteur de déplacement

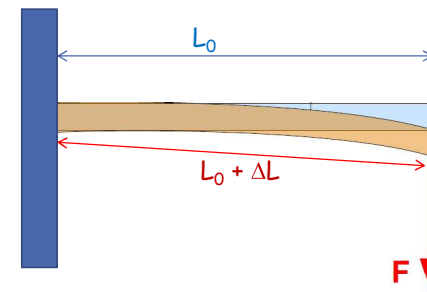
1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure

a. Corps d'épreuve

* **Exemple** : Mesure d'une force mécanique

On utilise comme corps d'épreuve un élément élastique, en flexion



Le mesurande **force** est transformé en mesurande **élongation**

Le capteur de force utilise ainsi les technologies des capteurs de d'élongation (jauges de contraintes)

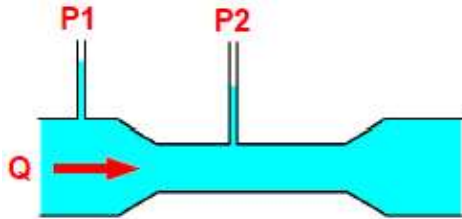
1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure

a. Corps d'épreuve

•Exemple : Mesure d'un débit

Le débit crée une différence de pression



Le mesurande **pression différentielle** est transformé en mesure **déformation/élongation**

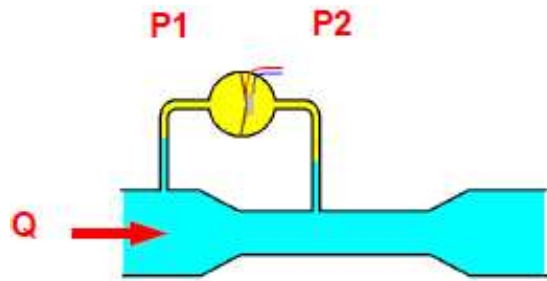
1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure

a. Corps d'épreuve

• Exemple : Mesure d'un débit

La déformation de la membrane modifie la résistance de la jauge



Le mesurande **déformation/élongation** est transformé en **mesurande résistance**

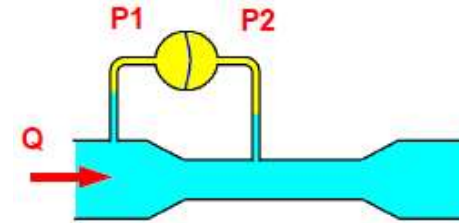
1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure

a. Corps d'épreuve

•Exemple : Mesure d'un débit

La différence de pression déforme la membrane



Le mesurande **pression différentielle** est transformée en mesure **déformation/élongation**

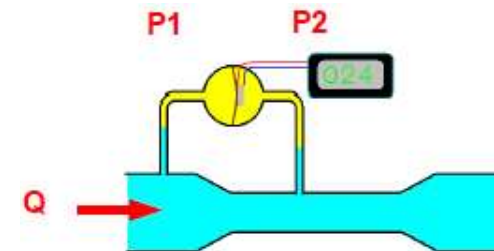
1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure

a. Corps d'épreuve

•Exemple : Mesure d'un débit

La déformation de la membrane modifie la résistance de la jauge



Le mesurande **résistance** est transformé en **tension** : c'est la valeur mesurée par le capteur

* L'ensemble des éléments utilisés constitue une chaîne de mesure

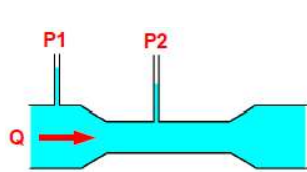
1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure

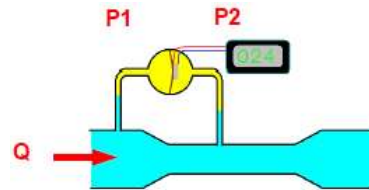
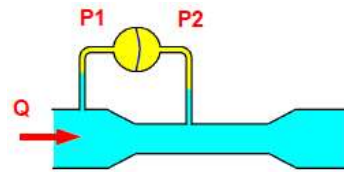
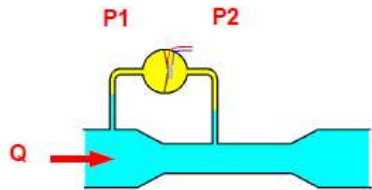
a. Corps d'épreuve

•Exemple: Mesure d'un débit

Le mesurande **débit** crée une **différence de pression** qui déforme la membrane



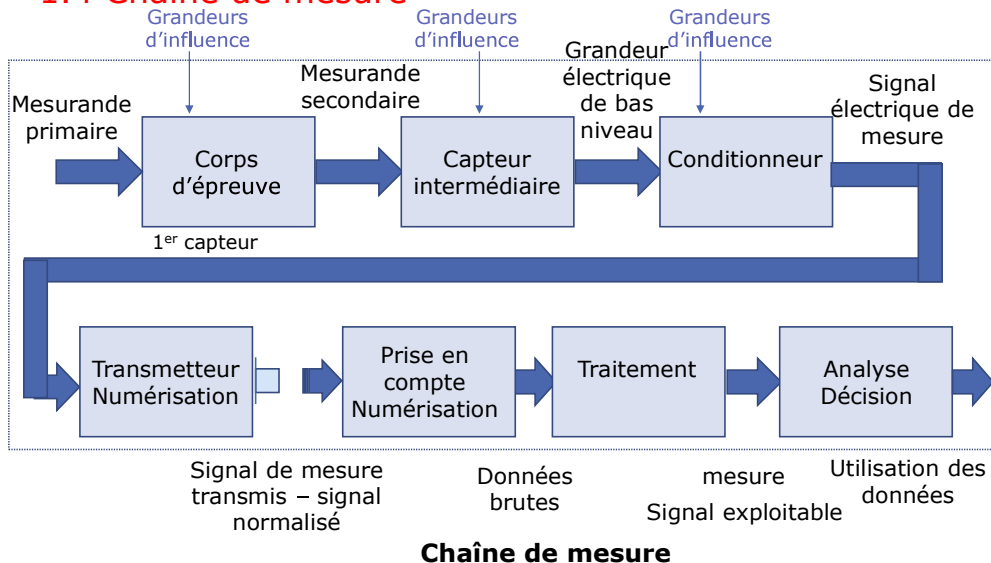
La déformation de la membrane modifie la résistance de la jauge



Le mesurande **pression différentielle** est transformé en mesurande **déformation/élongation** qui est transformée à son tour en mesurande **résistance** qui est transformé en **tension** : c'est la valeur mesurée par le

1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure



1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure

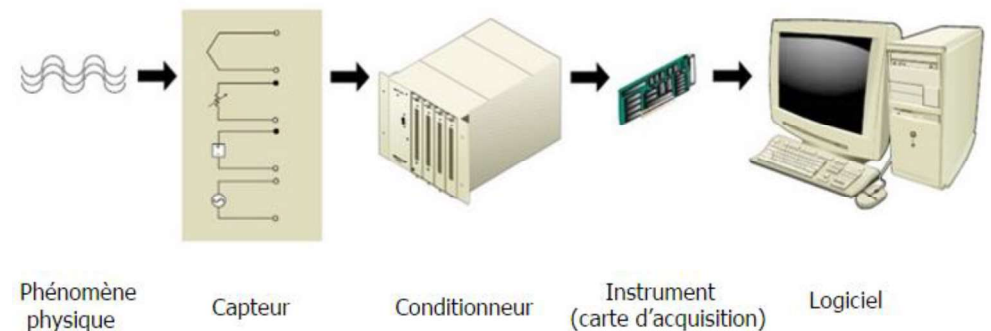
b. Conditionneur

Un **conditionneur** a, selon les cas, les fonctions suivantes:

- alimentation électrique du capteur (si nécessaire)
- mise en forme et amplification du signal de sortie
- filtrage, amplification
- conversion du signal (CAN,...)

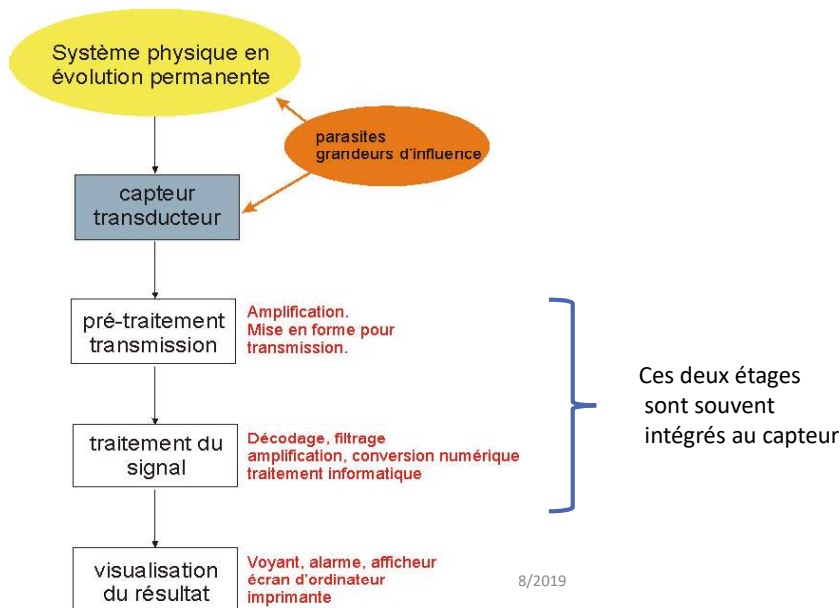
1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure



1. Définitions

1.4 Chaîne de mesure

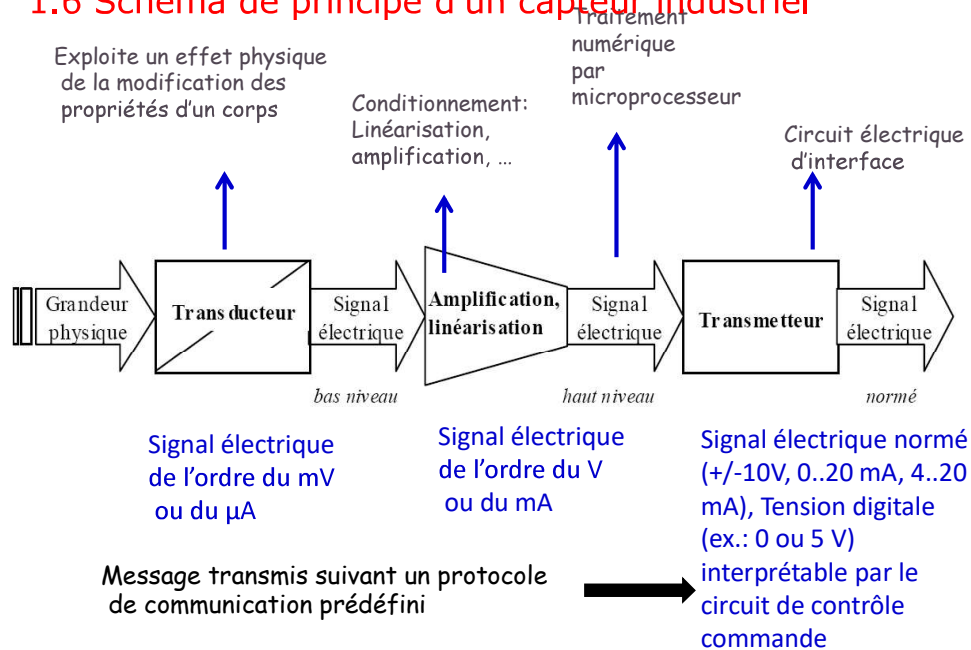


8/2019

21

1. Définitions

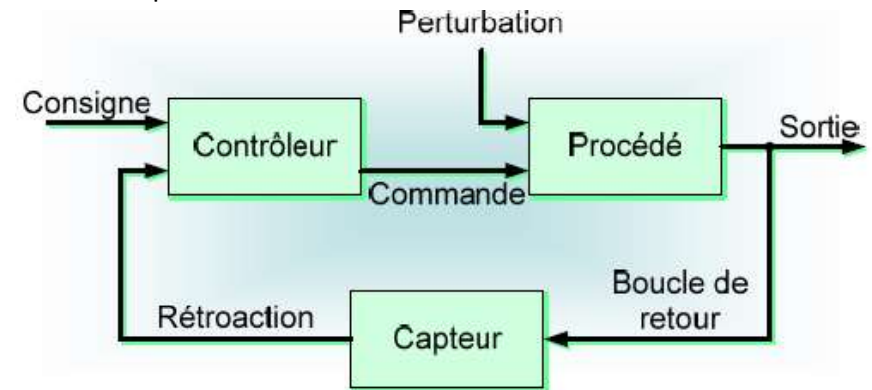
1.6 Schéma de principe d'un capteur industriel



1. Définitions

1.5 Les capteurs dans les procédés de production

Contrôle de processus industriels : beaucoup de processus de fabrication industriels sont asservis, c'est à dire contrôlés par une ou plusieurs variables, et ce, en temps réel. Il est alors nécessaire de mesurer et de traiter au fur et à mesure de leur acquisition plusieurs paramètres répartis tout au long du processus pour pouvoir agir en conséquence et garantir la qualité et la conformité du produit final.



1. Définitions

1.7 Influence de l'environnement

- Idéalement, le **signal de sortie** du capteur devrait être une image **fidèle** du **mesurande**, mais ...
 - Le signal fourni par le capteur dépend aussi des grandeurs d'influence (exp. Dérives thermiques, bruit de mesure, ...)
 - Une variation du mesurande provoque une variation retardée du signal de sortie (temps de réponse fini).
 - Le fait d'introduire un organe de mesure peut déjà changer l'environnement et le mesurande
- ⇒ Le but réaliste consiste à avoir une image du mesurande aussi fidèle que possible (que nécessaire)

1. Définitions

1.7 Influence de l'environnement

- Les grandeurs d'influence sont des grandeurs étrangères qui, selon leur nature et leur importance, peuvent provoquer des perturbations sur les capteurs. Ceux sont des causes d'erreurs agissant sur le signal de sortie :
 - Température ambiante
 - Pression, accélération, vibrations
 - Humidité
 - Champs magnétique
 - Tension d'alimentation
 - Lumière ambiante
- Possibilités pour réduire l'effet nocif des grandeurs d'influence :
 - Blindage, isolement
 - Stabiliser les grandeurs d'influence à des valeurs connues et étalonner le capteur
 - Compenser les grandeurs d'influence (ex. montage différentiel)

2. Classification des capteurs

Elle se fait en fonction:

- Du **mesurande** qu'il traduit (capteur de température, de pression, ...)

De distance	De lumière	De température	De pression
Inductif Capacitif Optique ultrason micro-onde	photodiode ou phototransistor capteur photographique cellule photoélectrique	pyromètre Thermomètre Sonde PT100 thermocouple thermistance	tube de Bourdon capsule anéroïde piézo-électrique corde vibrante baromètre
De débit	De niveau	De déplacement	De contrainte
débitmètre à turbine roues ovales plaque à orifice tube de Pitot débitmètre à effet vortex débitmètre électromagnétique débitmètre à tube de Venturi débitmètre à ultrasons débitmètre ionique débitmètre massique	à pression différentielle à sonde capacitive à tube de torsion à flotteur à rayon gamma à ultrasons par radar	souris (informatique) capteur de proximité codeur détecteur de mouvements LVDTs et RVDTs corde vibrante capteur de position	corde vibrante piézo-électrique jauge de contrainte plot magnétique

2. Classification des capteurs

Elle se fait en fonction:

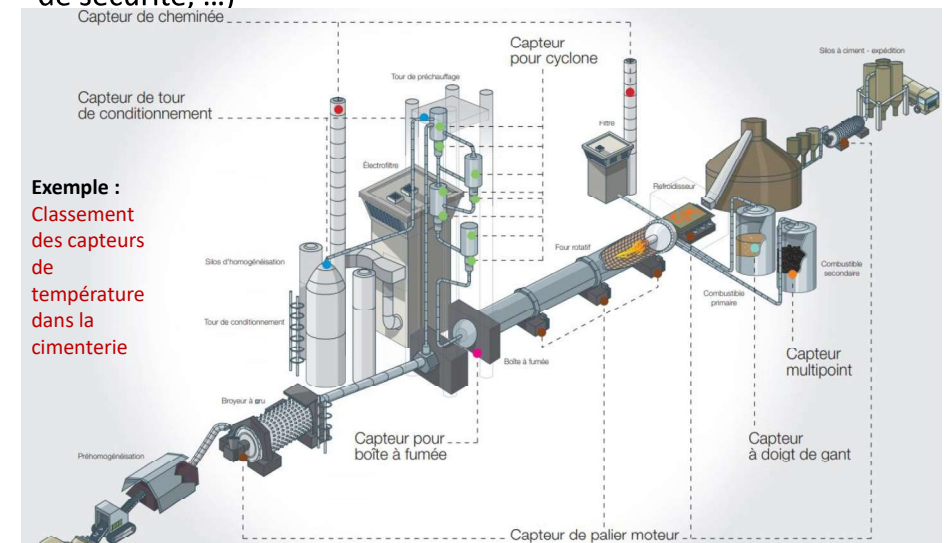
- De leur **principe de traduction** du mesurande (capteur résistif, à effet Hall, piézoélectrique,...)

De distance	De lumière	De température	De pression
Inductif Capacitif Optique ultrason micro-onde	photodiode ou phototransistor capteur photographique cellule photoélectrique	pyromètre Thermomètre Sonde PT100 thermocouple thermistance	tube de Bourdon capsule anéroïde piézo-électrique corde vibrante baromètre
De débit	De niveau	De déplacement	De contrainte
débitmètre à turbine roues ovales plaque à orifice tube de Pitot débitmètre à effet vortex débitmètre électromagnétique débitmètre à tube de Venturi débitmètre à ultrasons débitmètre ionique débitmètre massique	à pression différentielle à sonde capacitive à tube de torsion à flotteur à rayon gamma à ultrasons par radar	souris (informatique) capteur de proximité codeur détecteur de mouvements LVDTs et RVDTs corde vibrante capteur de position	corde vibrante piézo-électrique jauge de contrainte plot magnétique

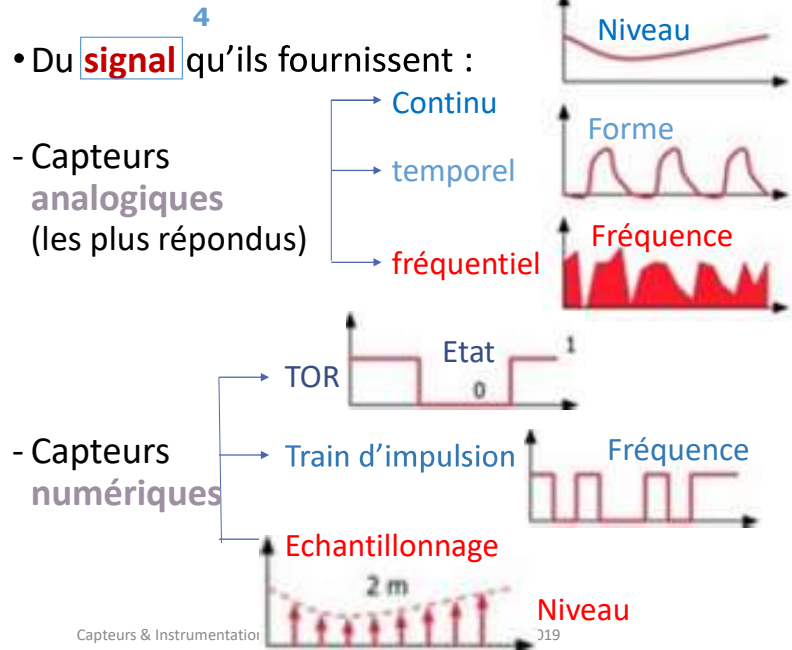
2. Classification des capteurs

Elle se fait en fonction:

- De **leur rôle** dans un processus industriel (contrôle de produits finis, de sécurité, ...)



2. Classification des capteurs



2. Classification des capteurs

Exemples de capteurs actifs:

- **Effet thermoélectrique** : Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à deux températures T_1 et T_2 est le siège d'une force électromotrice d'origine thermique $e(T_1, T_2)$.
- **Effet d'induction électromagnétique**: La variation du flux d'induction magnétique d'un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique)

2. Classification des capteurs

- 5
- Classification en fonction de leur **principe de fonctionnement**
- les **capteurs actifs** fonctionnant en générateur
 - les **capteurs passifs** fonctionnant en modulateur

Capteurs actifs: une partie de l'énergie physique prélevée sur la mesurande est transformée directement en une **énergie électrique** qui constitue le signal de sortie. Ce signal est un **courant**, une **tension** ou une quantité d'**électricité**. Les signaux de sortie délivrés par les capteurs actifs sont de faible puissance. Ils sont dits de **bas niveau** et **doivent** être **amplifiés** pour pouvoir être ensuite transmis à distance.

2. Classification des capteurs

Exemples de capteurs actifs:

- **Effet photo-électrique**: la libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique.
- **Effet Hall** : Un champ magnétique B et un courant électrique I créent dans le matériau une différence de potentiel U_H
- **Effet photovoltaïque** : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes

2. Classification des capteurs

Capteurs passifs:

c'est l'impédance du capteur qui est sensible aux variations du mesurande. Ces variations d'impédance ne sont mesurables que par l'intermédiaire d'un circuit électronique de pré-conditionnement. Les capteurs passifs doivent être alimentés par une source d'énergie extérieure. Cette source peut être une tension continue ou modulée en fréquence.

Exemples de capteurs passifs:

- **Thermistance:** variation de R en fonction de la température
- **Jauge de déformation:** variation de R en fonction de la déformation
- **Capteur de position :** la résistivité des corps magnéto-résistants dépend du champ magnétique auquel ils sont soumis

3. QCM

- Un capteur passif est nécessairement :
 - Une résistance
 - Une impédance
 - Un générateur de tension
 - Une capacité
 - Une inductance

2. Classification des capteurs

Capteurs Actifs vs Passifs:

- **Actif :** émet de l'énergie dans l'environnement
 - e.g. radar, laser, caméra avec flash, sonar

positifs

- robuste (plus indépendant de l'environnement)
- bonne qualité d'information
- plus précis/moins bruité

négatif

- interférence entre capteurs (e.g. plus de 2 Kinect?)
- énergivore
- détectable par autrui

- **Passif :** se base sur l'énergie de l'environnement
 - caméra sans flash, microphone, etc.

positifs

- moins intrusif
- difficile à détecter
- possiblement moins énergivore

négatif

- dépend de l'environnement (pas de lumière?)
- moins précis/plus bruité

3. QCM

- Un capteur passif est nécessairement :
 - Une résistance
 - **Une impédance**
 - Un générateur de tension
 - Une capacité
 - Une inductance

3. QCM

- Certains capteurs actifs peuvent être modélisés comme:
 - Source de tension
 - Source de courant

3. QCM

- Certains capteurs actifs peuvent être modélisés comme:
 - **Source de tension**
 - **Source de courant**

3. QCM

- Préciser si le capteur est actif ou passif :

Piézorésistance

Effet photo-électrique

Effet Hall

Thermistance

Thermocouple

Jauge de déformation

Capteur de position
potentiométrique

3. QCM

- Préciser si le capteur est actif ou passif :

Piézorésistance ———— Passif - Résistif

Effet photo-électrique ———— Actif

Effet Hall ———— Actif

Thermistance ———— Passif - Résistif

Thermocouple ———— Actif

Jauge de déformation ———— Passif - Résistif

Capteur de position
potentiométrique ———— Passif - Résistif