

Cours : Capteurs et Mesures en Télécommunications

Conférence 3 : Classification des Capteurs

Durée : 1 Heure 30 Minutes

Prof. Abdelmalek Bouhadjera

1. Introduction et Objectifs d'Apprentissage

Lors de nos premières conférences, nous avons appris *ce que* fait un capteur (**convertit une grandeur physique en un signal électrique**) et *avec quelle performance* il devrait le faire (**caractéristiques statiques**). Maintenant, nous allons explorer *comment* les capteurs réalisent cette conversion en examinant leurs principes de fonctionnement fondamentaux.

Classer les capteurs nous aide à comprendre leurs capacités, leurs exigences et leurs limites, ce qui est crucial pour **sélectionner le bon capteur** pour une application spécifique en télécommunications.

Objectifs d'Apprentissage d'Aujourd'hui :

À la fin de cette session, vous serez capable de :

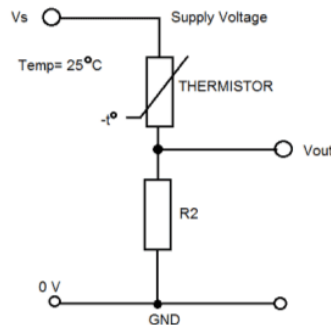
- Classer les capteurs en **Passifs** ou **Actifs** selon leurs besoins en alimentation.
 - Expliquer les principes de fonctionnement des types de capteurs courants : **Résistifs, Capacitifs, Inductifs, Piézoélectriques et Photodélectriques**.
 - Définir le concept de **Capteur Logiciel (Software Sensor)** et donner des exemples dans un contexte telecom.
 - Sélectionner un type de capteur approprié pour une tâche de mesure telecom donnée.
-

2. Principes de Fonctionnement Fondamentaux des Capteurs

Fondamentalement, la plupart des capteurs fonctionnent en modifiant une propriété électrique fondamentale (**Résistance, Capacitance, Inductance**, etc.) en réponse à une **stimulation physique**. Examinons les principes les plus courants.

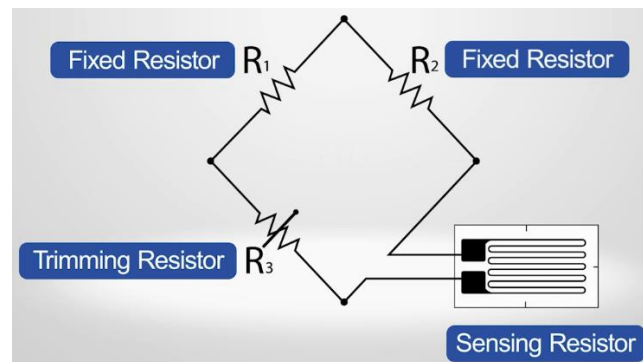
a) Capteurs Résistifs

- **Principe** : La **résistance** électrique du capteur change avec la grandeur physique mesurée.
- **Comment ça marche** : Le capteur est placé dans un circuit (souvent un pont diviseur de tension). Un changement de la grandeur physique modifie la résistance du capteur, ce qui change à son tour la tension ou le courant dans le circuit. Ce changement est ensuite mesuré.

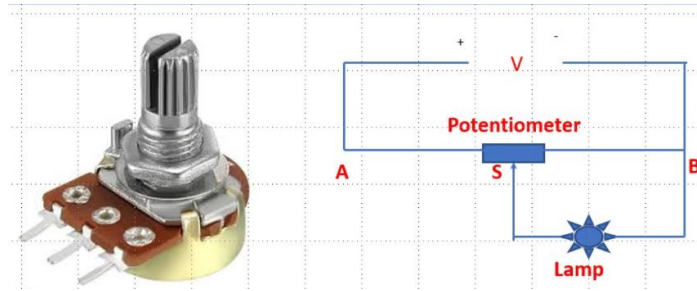


- **Exemples et Applications Télécom** :

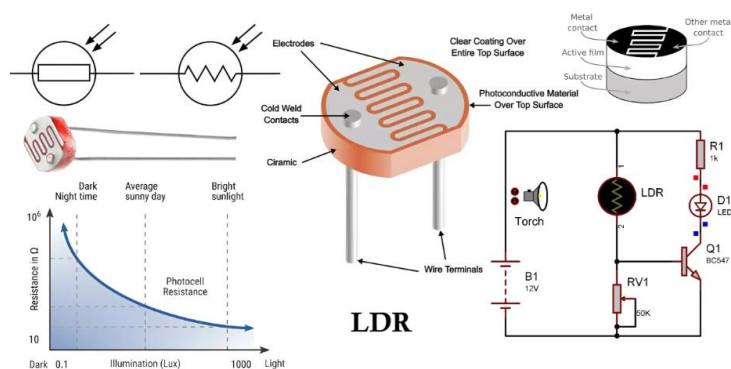
- **Thermistance** : La résistance change avec la **température**.
 - *Application* : Surveillance de la température à l'intérieur des commutateurs, routeurs et stations de base pour éviter la surchauffe.
- **Jauge de Contrainte** : La résistance change avec une **déformation mécanique**.



- *Application* : Surveillance de la contrainte sur les mâts d'antenne ou les haubans de pylône pendant les vents forts.
- **Potentiomètre** : La résistance change avec la **position ou le déplacement angulaire**.
 - *Application* : Utilisé dans les composants ajustables ou pour suivre la position d'une pièce mobile dans les équipements de test.

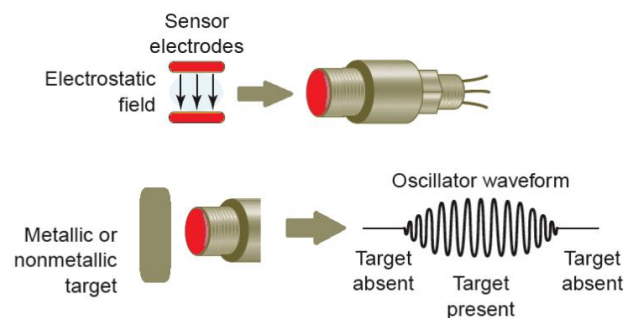


- **Photorésistance (LDR) :** La résistance change avec l'intensité lumineuse.
- **Application :** Contrôle du rétroéclairage d'un appareil ou détection de l'ouverture d'une porte de baie (la lumière entre).



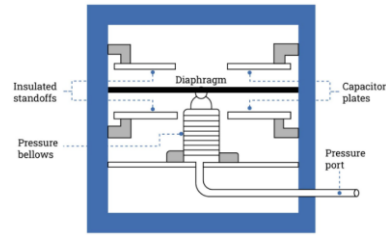
b) Capteurs Capacitifs

- **Principe :** La **capacitance** du capteur change avec la grandeur physique mesurée. La capacitance (C) dépend de la surface des armatures (A), de la distance entre elles (d) et du matériau diélectrique (ϵ) : $C = \epsilon A/d$.
- **Comment ça marche :** Un changement de la grandeur physique modifie A, d ou ϵ , changeant ainsi la capacitance. Ce changement peut être mesuré en utilisant des circuits oscillants.



- **Exemples et Applications Télécom :**
- **Capteur de Pression :** La pression déforme une membrane, changeant la distance (d) entre les armatures du condensateur.

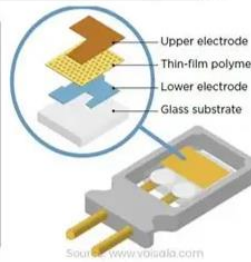
Capacitive Pressure Sensor



- **Capteur de Position/Toucher** : Un doigt près du capteur agit comme un nouveau diélectrique, changeant la capacitance. C'est le principe des écrans tactiles capacitifs.
- **Capteur d'Humidité** : La vapeur d'eau (humidité) change la constante diélectrique (ϵ) d'un matériau hygroscopique entre les armatures.

Humidity Sensors

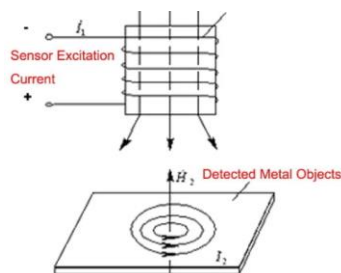
- Humidity sensors, or hygrometers, measure and monitor atmospheric moisture and temperature
- They function by detecting changes in electrical impedance due to moisture levels
- Types include capacitive, resistive, and thermal sensors
- These sensors are vital in meteorology, HVAC systems, and industries like pharmaceuticals for optimal moisture control
- Advances in nanotechnology are enhancing sensor efficiency and reliability



- **Application** : Surveillance de l'humidité dans les centres de données et les armoires télécom pour éviter la condensation et la corrosion.

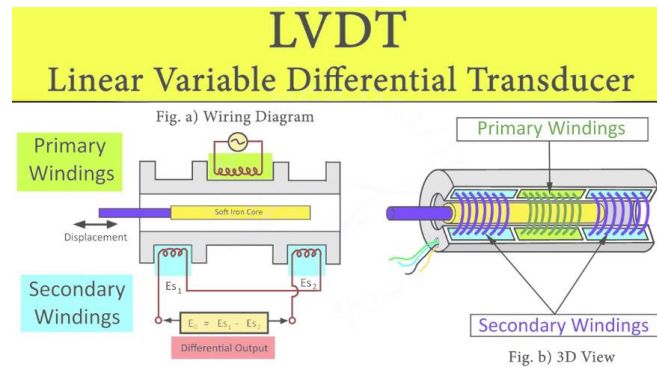
c) Capteurs Inductifs

- **Principe** : L'**inductance** d'une bobine change, ou une tension est induite, en raison de changements dans un **champ magnétique**.
- **Comment ça marche** : Ces capteurs impliquent souvent des bobines et des matériaux magnétiques. Un changement de position d'un matériau magnétique ou la génération de courants de Foucault dans une cible conductive peut altérer l'inductance.



- **Exemples et Applications Télécom :**

- **Capteur de Proximité :** Détecte la présence d'un objet métallique proche sans contact physique.
- *Application :* Détection de la fermeture d'une porte d'armoire télécom sécurisée.
- **Transformateur Différentiel Variable Linéaire (LVDT) :** Fournit une mesure très précise de la **position linéaire**.



- *Application :* Alignement de précision des composants dans les systèmes d'antenne ou les antennes de communication satellite.

d) Capteurs Piézoélectriques

- **Principe :** Le capteur génère une **charge électrique** ou une **tension** en réponse à une **contrainte mécanique appliquée**.
- **Comment ça marche :** Certains matériaux cristallins (comme le quartz) produisent un potentiel électrique lorsqu'ils sont comprimés ou étirés. C'est un effet réversible — appliquer une tension peut aussi les déformer.



- **Exemples et Applications Télécom :**

- **Microphone (Micro de contact) :** Convertit les ondes sonores (vibrations de pression) en un signal électrique.



- *Application* : Le capteur fondamental en téléphonie pour capturer la voix.
- **Capteur d'Accélération/Vibration** : Mesure les mouvements dynamiques et les chocs.



- *Application* : Surveillance des niveaux de vibration dans les ventilateurs de refroidissement pour la maintenance prédictive des équipements réseau, ou dans les zones sismiques pour surveiller la stabilité des pylônes.

e) Capteurs Photoélectriques

- **Principe** : Les propriétés électriques du capteur changent avec la **lumière**.
- **Comment ça marche** : Ces capteurs utilisent des composants semi-conducteurs comme les photodiodes ou les phototransistors. Lorsque les photons de la lumière frappent le semi-conducteur, ils génèrent des paires électron-trou, résultant en un **photocourant** mesurable.
- **Exemples et Applications Télécom** :
 - **Photodiode / Phototransistor** : Cœur de tout récepteur optique.
- *Application* : Conversion des impulsions lumineuses en signaux électriques à l'extrémité réceptrice d'une **liaison de communication par fibre optique**. C'est l'un des capteurs les plus critiques dans les télécommunications modernes.

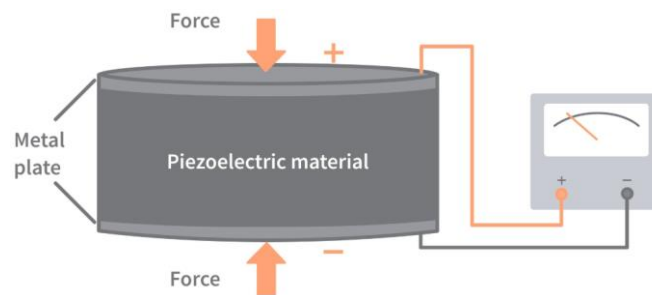
3. Classification par Besoin en Alimentation : Capteurs Passifs vs. Actifs

C'est un moyen de catégorisation pratique et important.

a) Capteurs Actifs (Auto-générateurs)

- **Définition** : Capteurs qui **génèrent leur propre signal de sortie électrique** sans avoir besoin d'une source d'alimentation externe.

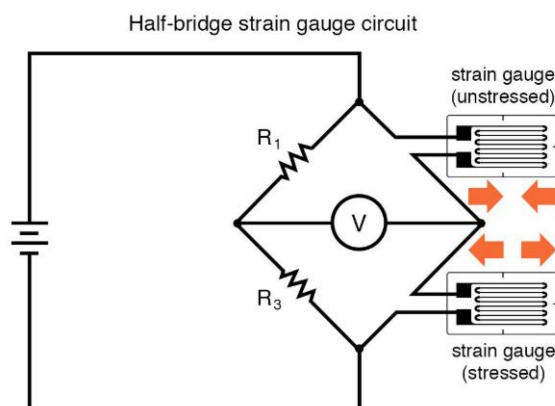
- **Principe** : Ils convertissent l'énergie du phénomène physique mesuré directement en énergie électrique.
- **Avantages** : Circuit plus simple, pas besoin d'alimentation sur le lieu du capteur.
- **Inconvénients** : Le signal de sortie est souvent très faible et peut être sensible au bruit.
- **Exemples** :
 - Capteur **Piézoélectrique** (génère une tension à partir d'une contrainte).



- **Thermocouple** (génère une tension à partir d'un gradient de température).
- **Photodiode** en mode photovoltaïque (génère un courant à partir de la lumière).

b) Capteurs Passifs (Modulants / Paramétriques)

- **Définition** : Capteurs qui **nécessitent une source d'alimentation externe (un signal d'excitation)** pour fonctionner.
- **Principe** : La grandeur physique module (altère) une propriété électrique (comme la résistance, la capacitance ou l'inductance) du capteur. Le circuit externe détecte ensuite ce changement en observant comment il affecte le signal d'excitation.
- **Avantages** : Peut fournir des signaux plus forts et plus robustes. Souvent plus sensibles et précis.
- **Inconvénients** : Nécessitent un circuit plus complexe et une source d'alimentation.
- **Exemples** :
 - **Jauge de contrainte** (changement de résistance mesuré en utilisant un pont de Wheatstone qui nécessite une tension externe).



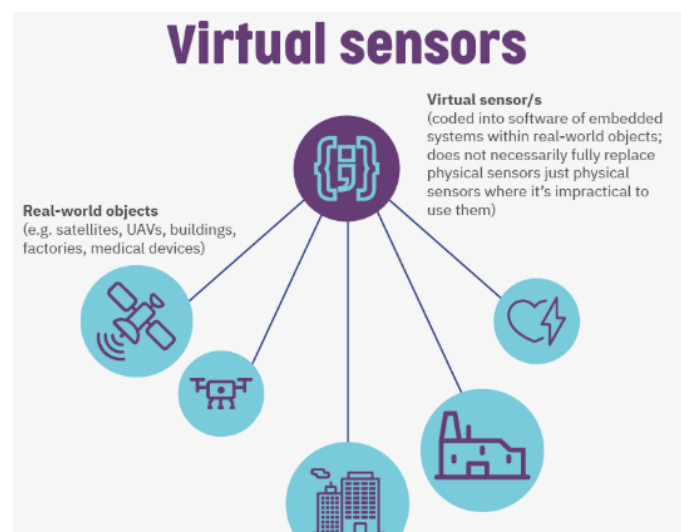
- **Thermistance** (changement de résistance mesuré avec une source de courant externe).
- **Capteur d'humidité capacitif** (changement de capacitance mesuré avec un signal AC externe).

Développement : L'Analogie du Microphone

- Un **Microphone Dynamique** est **Actif**. Une bobine se déplace dans un champ magnétique à cause des ondes sonores, générant directement une tension. Il ne nécessite pas de piles.
- Un **Microphone à Condensateur** est **Passive**. Il contient un élément capacitif dont la capacitance change avec la pression sonore. Il nécessite une "Alimentation Fantôme" (une tension externe) pour fonctionner et convertir ce changement de capacitance en un signal utilisable.

4. Le Capteur Logiciel (Capteur Virtuel)

C'est un concept moderne essentiel, surtout en télécommunications.



- **Définition** : Un **capteur logiciel** est un algorithme ou un programme qui **infère** la valeur d'une quantité difficile à mesurer directement en utilisant des données d'autres capteurs physiques et des modèles du système.
- **Principe** : Il utilise la **mesure indirecte** et la fusion de données. Il n'y a pas de transducteur physique ; la "détection" se fait en logiciel.
- **Exemples Télécom** :
 - **Capteur de Latence Réseau** : Il n'y a pas de dispositif physique qui "mesure" la latence. Au lieu de cela, un logiciel (comme la commande ping) envoie un paquet test

et mesure le temps de réponse. Le logiciel *agit comme un capteur* pour le délai réseau.



- **Capteur de Qualité de Service (QoS)** : Un logiciel dans un routeur analyse la perte de paquets, la gigue et la latence dans un flux vocal (VoIP) pour calculer un **Score d'Opinion Moyen (MOS)**, "sensation" effectivement la qualité perçue de l'appel.
- **Capteur de Taux d'Erreur Binaire (BER)** : Le récepteur dans une liaison de communication numérique utilise des algorithmes logiciels pour comparer les bits reçus à un motif connu, calculant le taux d'erreur. Ce logiciel *sensation* l'état de santé de la liaison de communication.

5. Résumé et Perspective

Points Clés à Retenir Aujourd'hui :

- Les capteurs peuvent être classés par leur **principe de fonctionnement** (Résistif, Capacitif, etc.), qui définit *comment* ils convertissent une grandeur physique en un changement électrique.
- Ils peuvent aussi être classés par leur **besoin en alimentation** en **Passifs** (auto-générateurs) ou **Actifs** (nécessitent une excitation externe).
- Dans les systèmes modernes, les **Capteurs Logiciels** sont essentiels pour mesurer des quantités complexes et dérivées comme les performances du réseau et la qualité de service.

Prochaine Étape ?

Lors du prochain cours, nous passerons de la théorie à des exemples concrets. Nous explorerons des **Exemples de Capteurs** spécifiques comme les microphones, les capteurs CCD et les capteurs de champ RF en détail, reliant leurs principes internes à leurs performances dans le monde réel des systèmes télécom.

6. Questions pour l'Étude Personnelle

1. Classez un microphone standard de smartphone comme Passif ou Actif et expliquez votre raisonnement. Quel principe de fonctionnement (ex: Piézoélectrique, Capacitif) pensez-vous qu'il utilise le plus probablement ?
2. Vous devez surveiller la température d'un processeur puissant dans un routeur réseau. Choisiriez-vous une Thermistance (résistive) ou un Thermocouple (passif, auto-générateur) ? Justifiez votre choix en fonction de leurs principes et de leurs cas d'utilisation typiques.
3. Outre la latence, nommez deux autres "quantités" dans un réseau de télécommunications qui sont généralement mesurées par un **Capteur Logiciel** et non par un capteur physique.