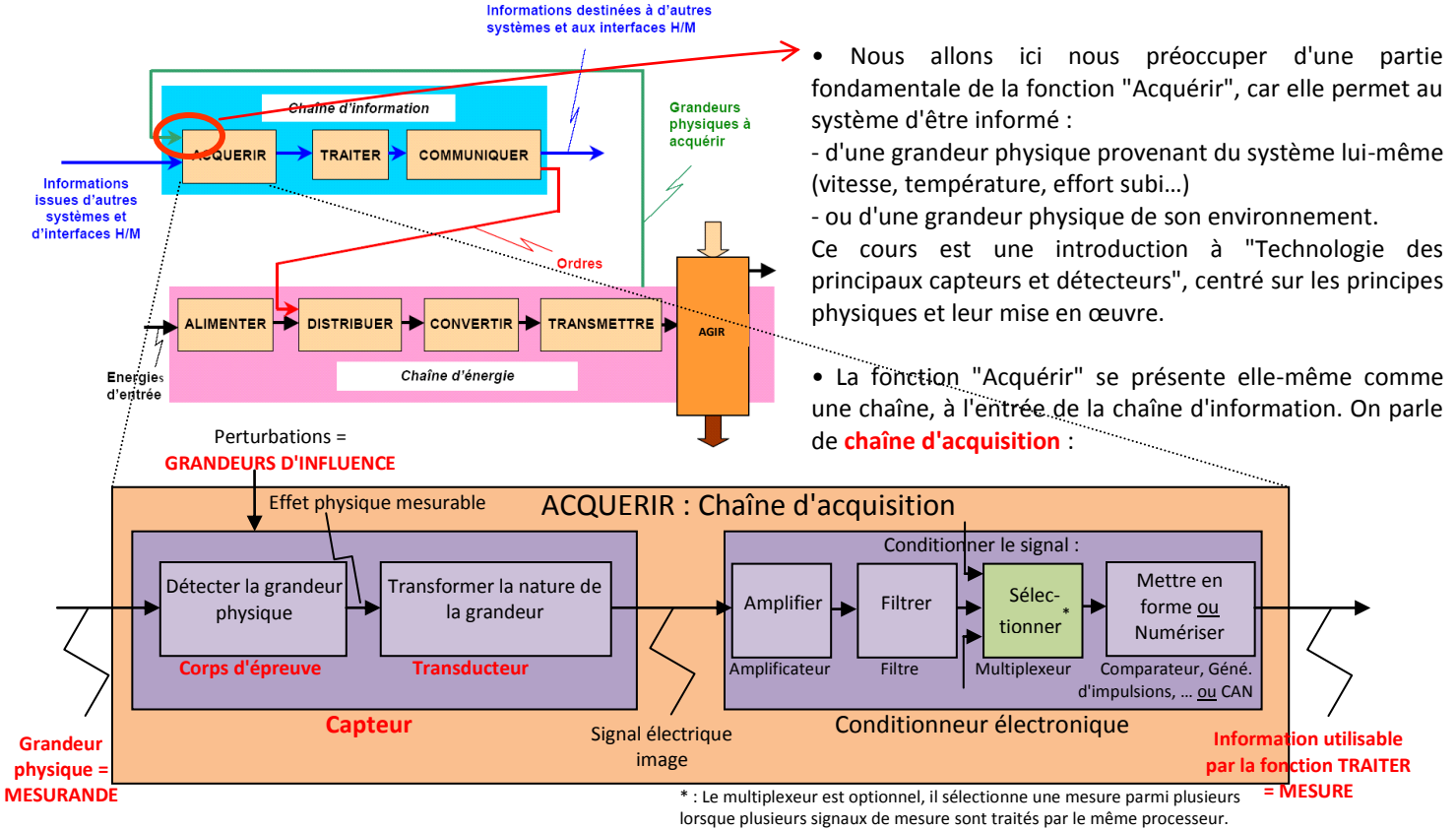


<p>Centre d'Intérêt 2 : ACQUERIR l'information Compétences : ANALYSER, CONCEVOIR</p>	<h2 style="margin: 0;">CAPTEURS ET DETECTEURS</h2> <p style="margin: 0; font-size: small;">Comment choisir le bon capteur pour une application donnée ? Identifier et caractériser un capteur – Identifier la nature de l'info. et la nature du signal</p>	<p>COURS</p> <p style="background-color: white; color: black; padding: 2px;">TP</p> <p style="background-color: white; color: black; padding: 2px;">TD</p>
--	--	---

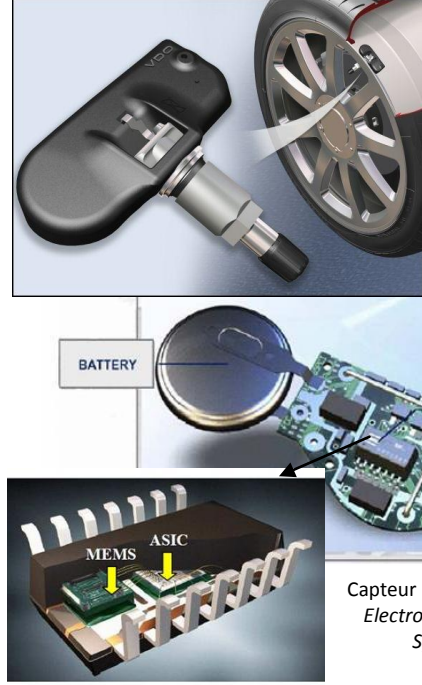
PLACE DU CAPTEUR DANS LA CHAÎNE D'INFORMATION ET STRUCTURE FONCTIONNELLE



- Nous allons ici nous préoccuper d'une partie fondamentale de la fonction "Acquérir", car elle permet au système d'être informé :
 - d'une grandeur physique provenant du système lui-même (vitesse, température, effort subi...)
 - ou d'une grandeur physique de son environnement.
 Ce cours est une introduction à "Technologie des principaux capteurs et détecteurs", centré sur les principes physiques et leur mise en œuvre.
- La fonction "Acquérir" se présente elle-même comme une chaîne, à l'entrée de la chaîne d'information. On parle de **chaîne d'acquisition** :

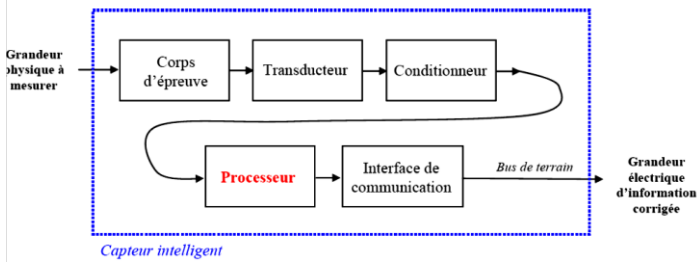
• - la grandeur physique à mesurer s'appelle le mesurande ;
 - le cœur du capteur est le transducteur de mesure, dispositif destiné à modifier la forme physique de l'information ; son entrée est un effet physique mesurable, sa sortie un signal électrique image (tension ou courant).

• Exemple : le TPMS (Tire Pressure Monitoring System = système de contrôle de la pression des pneus)



Tous les véhicules neufs devront à terme être équipés de ce système. En effet, des pneus sous-gonflés entraînent une surconsommation de carburant et une usure prématurée des pneus. Le principe utilise un capteur électronique couplé à la valve du pneumatique ; il mesure la pression du pneu et transmet les données par ondes radio à un récepteur qui affiche le résultat sur le tableau de bord.

DETECTER la grandeur physique	Corps d'épreuve : Poutre (Beam) subissant la pression	
TRANSFORMER la nature de la grandeur	Transducteur : Cristal piézoélectrique placé sur la poutre	
CONDITIONNER le signal	Amplificateur : Fournit une tension proportionnelle CAN : Convertit en numérique	
COMMUNIQUER la mesure	Emetteur : La mesure est émise par un signal radio	



- Comme on vient d'en voir un exemple, la présence d'une fonction COMMUNIQUER se généralise. On trouve aussi de plus en plus souvent une fonction TRAITER, avec l'ASIC présent dans le TPM Sensor (ASIC \approx FPGA). On dit alors qu'on a un **capteur intelligent**.

CLASSIFICATION DES CAPTEURS SELON LA NATURE DE L'INFORMATION EN ENTREE ET EN SORTIE

1/ Nature de l'information en entrée

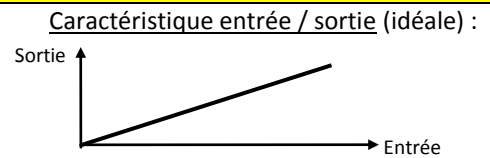
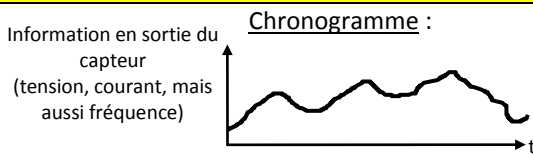
- Les principales grandeurs physiques à mesurer sont :
 - la présence d'un objet ; sa position ; son déplacement linéaire / angulaire ; sa vitesse linéaire / angulaire ; son accélération ;
 - la force ; le couple ; la pression ;
 - la température ; l'humidité ; la luminosité ; la vitesse du vent ;
 - le débit ; le niveau ; le bruit ...

2/ Nature de l'information en sortie

La sortie d'un capteur peut varier de 3 façons différentes, et délivre donc une information de type analogique, logique (tout ou rien = TOR) ou numérique.

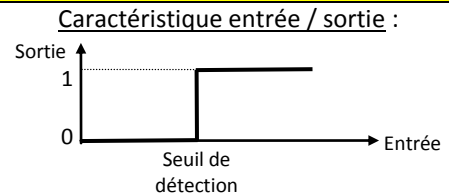
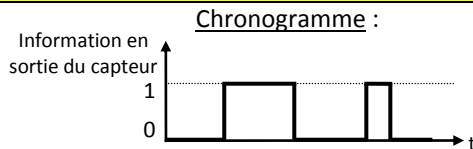
Capteur analogique

- La grandeur électrique délivrée en sortie par ce type de capteur est en relation directe (le plus souvent proportionnelle) à la grandeur physique à capter. Le signal varie de façon continue au cours du temps et possède une infinité de valeurs possibles dans un intervalle donné.



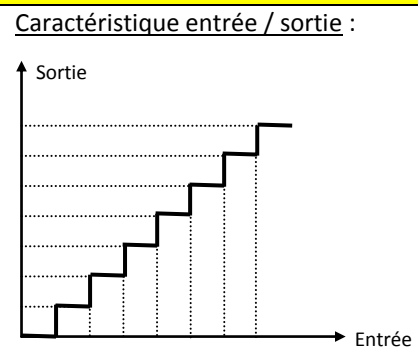
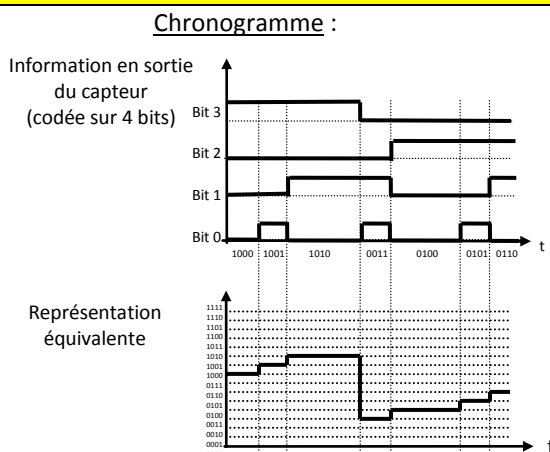
Capteur Tout ou Rien (TOR)

- Ces capteurs génèrent une information électrique de type binaire (vrai ou faux) qui caractérise le phénomène à détecter. On parle alors plutôt de détecteurs.



Capteur numérique

- Ce type de capteur délivre en sortie une information électrique à caractère numérique, c'est-à-dire ne pouvant prendre qu'un nombre limité de valeurs distinctes. Le signal varie de façon discontinue au cours du temps. L'information délivrée par ces capteurs est un code numérique sur plusieurs bits.



Ex : Codeur absolu de position angulaire à 4096 positions / tr
 "000010001111" = 143 correspond à 12,6°



Rq : - Plus le nombre de bits est important, plus le signal numérique tend vers un signal analogique.

- On parle aussi de signal numérique lorsque le code a subi une conversion parallèle \rightarrow série pour être transmis. Le signal est alors sous forme logique, mais transporte l'information d'une valeur numérique (ex : USB, RS232, bus CAN, etc.).

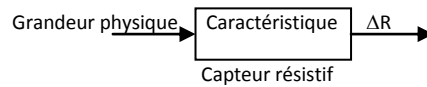
CLASSIFICATION EN CAPTEURS ACTIFS / PASSIFS

Une autre façon de distinguer les capteurs repose sur l'effet mis en œuvre pour générer le signal de mesure.

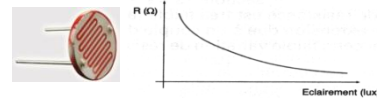
1/ Les capteurs passifs

• Ils font intervenir une impédance dont la valeur varie avec la grandeur physique ; il faut donc intégrer un capteur passif dans un circuit avec une alimentation.

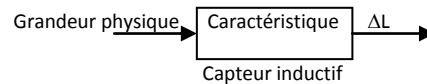
Capteurs résistifs : R varie avec la grandeur physique :



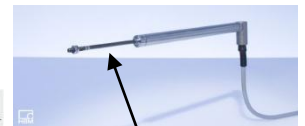
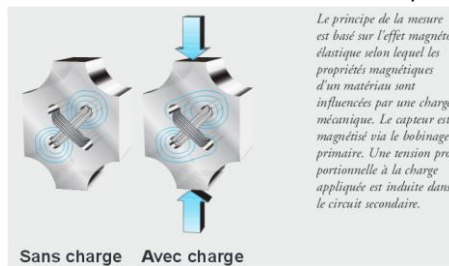
- Ex :**
- mesure de température par résistance à fil de platine (sonde Pt100), thermistance (CTN, CTP)
 - mesure d'effort par jauge de contrainte
 - mesure d'intensité lumineuse par photorésistance (cf. Somfy) :



Capteurs inductifs : L varie avec la grandeur physique :

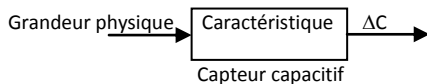


- Ex :**
- mesure de déplacement par inductance variable (Transformateur Différentiel Linéaire LVDT)
 - mesure d'effort par capteur magnéto-élastique :



Le noyau de la bobine se déplace avec l'objet dont on veut mesurer le déplacement.

Capteurs capacitifs : C varie avec la grandeur physique :



- Ex :**
- mesure de déplacement et de position : l'objet dont on veut mesurer le déplacement se déplace avec une armature du condensateur
 - mesure de niveau : la présence de liquide modifie la valeur de la capacité.

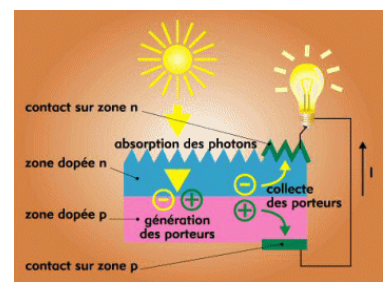
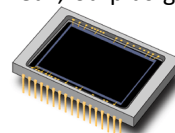


2/ Les capteurs actifs et les effets physiques associés

• La grandeur d'entrée ou ses variations génère directement une énergie (tension, courant, charge électrique). Cette énergie étant généralement faible, les capteurs nécessitent tout de même l'utilisation d'amplificateurs.

Capteurs à effet photoélectrique ou photovoltaïque : basés sur la libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux, ou plus généralement d'une onde électromagnétique.

- Ex :**
- mesure de lumière (capteur CCD, photodiode)



L'effet photovoltaïque

Capteurs à effet thermoélectriques : basés sur la création d'une tension à la jonction de deux matériaux soumis à une différence de température.

- Ex :**
- mesure de température (thermocouple)



Capteurs à effet piézoélectrique : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézoélectriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une tension entre leurs faces opposées.

- Ex :**
- mesure d'effort, d'accélération (accéléromètre)

Capteur à effet d'induction électromagnétique : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique aux bornes de ce circuit.

- Ex :**
- détection de passage d'un objet métallique (détecteur inductif, capteur d'ABS pour automobile)



Capteur à Effet Hall : Un champ magnétique B et un courant électrique I créent dans un matériau semi-conducteur une tension proportionnelle à B et à I.

- Ex :**
- mesure de courant (pince ampèremétrique)



CARACTERISTIQUES METROLOGIQUES : LES TERMES A CONNAÎTRE

1/ Caractéristiques statiques

Etendue de mesure : Il s'agit de la plage de valeurs possibles du mesurande m : $EM = m_{max} - m_{min}$

Sensibilité : C'est le coefficient qui lie la grandeur physique d'entrée à mesurer à la grandeur électrique de sortie : $S_c = \frac{\Delta_{sortie}}{\Delta_{entrée}}$

Elle traduit la capacité du capteur à détecter la plus petite variation possible du mesurande, et est la pente de la caractéristique entrée/sortie du capteur.

Ex : - Sensibilité de 10 mV/°C pour un capteur de température
 - Sensibilité de 1mV/hPa pour un capteur de pression

Résolution : Plus petite variation du mesurande mesurable par le capteur.

Linéarité : Un capteur est linéaire si sa sensibilité est constante. La relation entre grandeur physique à mesurer et grandeur électrique est alors linéaire (équation d'une droite).

Ex : - Variation de la résistance avec la température d'une résistance à fil de platine (sonde Pt100) :
 $R(T) = R_0 \cdot (1 + a \cdot T) \Rightarrow S_c = dR/dT = a \cdot R_0 = 0,385 \Omega/°C$ est une constante \Rightarrow capteur linéaire.
 - Variation de la résistance avec la température d'une thermistance (CTN) :

$R(T) = a \cdot e^{b/T} \Rightarrow S_c = \frac{dR}{dT} = -\frac{ab}{T^2} \cdot e^{b/T} \Rightarrow S_c$ dépend de $T \Rightarrow$ capteur non linéaire.



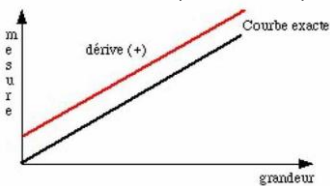
Justesse : Un capteur est juste si ses valeurs ne changent pas quand on les compare à des valeurs étalon, ou à des valeurs données par d'autres capteurs normalisés.

Fidélité : Un capteur est fidèle si ses valeurs ne changent pas au cours du temps (mesures reproductibles) : si on mesure deux fois la même grandeur à deux moments différents, on doit obtenir deux fois la même valeur.

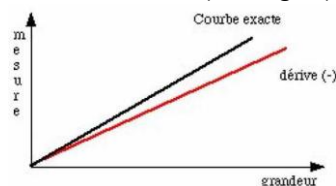
Précision : Elle réunit la justesse et la fidélité.

Erreurs : On distingue les erreurs suivantes :

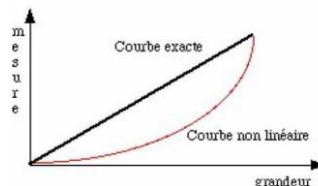
Erreur de zéro (ou d'offset) :



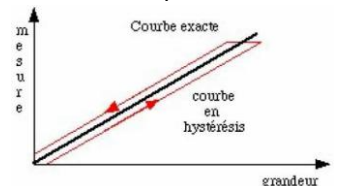
Erreur d'échelle (ou de gain) :



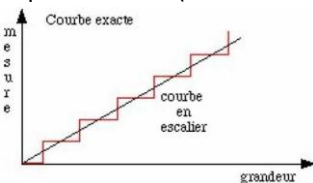
Erreur de linéarité :



Erreur d'hystérésis :



Erreur de quantification (lors de la numérisation) :



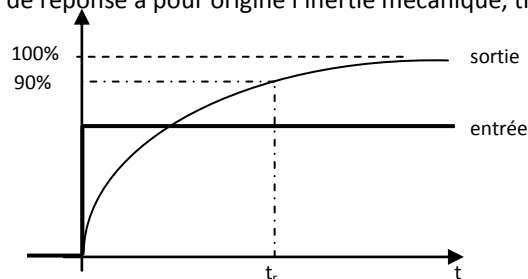
Étalonnage :

L'étalonnage permet d'ajuster et de déterminer, sous forme graphique ou algébrique, la relation entre le mesurande et la grandeur électrique de sortie. Il s'agit donc d'une procédure de réglage qui permet de minimiser les erreurs. Il nécessite donc la connaissance de la "courbe exacte".

2/ Caractéristiques dynamiques

Rapidité/temps de réponse :

C'est le temps au bout duquel la sortie atteint 90% ou 95% de sa valeur finale quand la grandeur d'entrée est un échelon. Le temps de réponse a pour origine l'inertie mécanique, thermique ou électrique de l'élément sensible (**ex :** quelques s pour une Pt100).



Bande passante à -3 dB :

C'est la plage de fréquence de la grandeur d'entrée pour laquelle le fonctionnement du capteur est correct ; elle est donc liée à son temps de réponse.

