

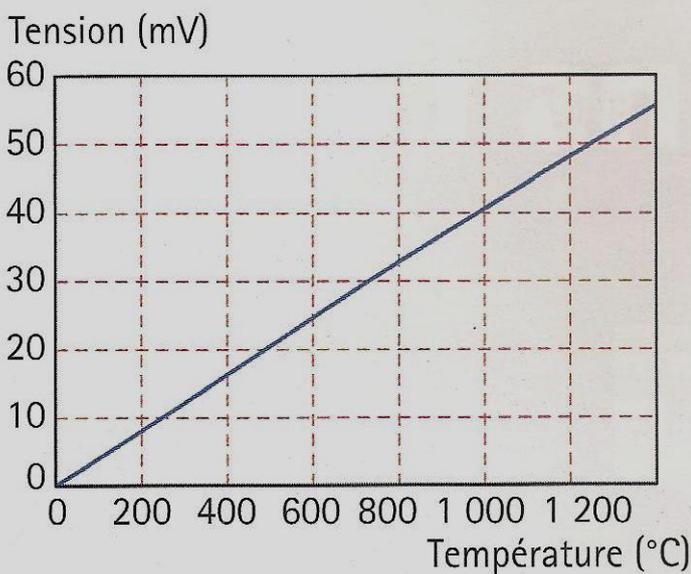
Chapitre 5 - La domotique : les capteurs au service de l'habitat

I. Quelques capteurs utilisés dans l'habitat ?

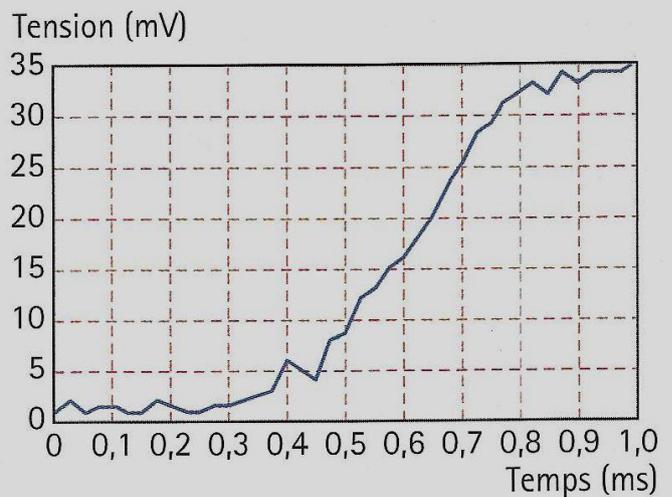
Voir AE 7 « allumeur de réverbère.

Doc 1 page 66 : DEUX CAPTEURS BIEN UTILES DANS UNE MAISON

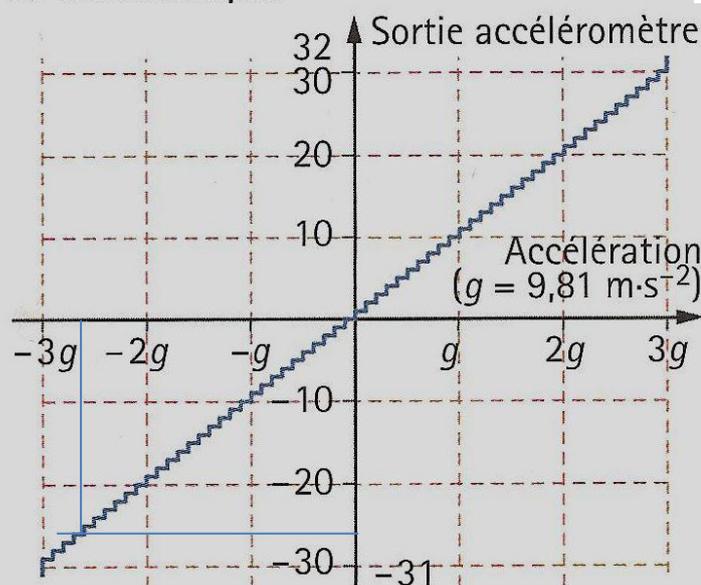
- Un **thermocouple** est un capteur qui permet de mesurer la température à laquelle il est soumis. Il est utilisé pour sécuriser la distribution du gaz dans une gazinière, en coupant l'arrivée du gaz en cas d'extinction accidentelle de la flamme.
- Pour détecter les mouvements d'un joueur utilisant la manette d'une console de jeux, on utilise un **accéléromètre**. Ce capteur est présent dans la manette et mesure l'accélération de cette dernière.



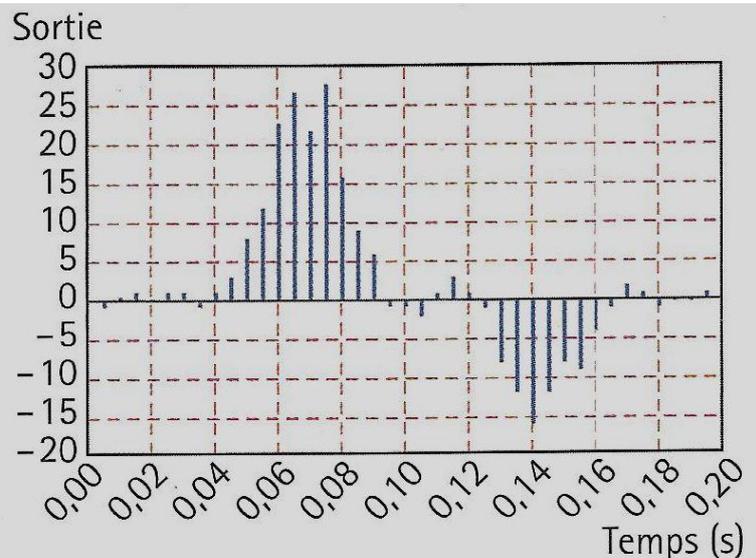
▲ Caractéristique entrée/sortie du thermocouple.



▲ Relevé de la tension de sortie du thermocouple lors de l'allumage du brûleur gaz.



▲ Caractéristique entrée/sortie de l'accéléromètre.



▲ Relevé des données envoyées par liaison Bluetooth à la console lors d'un mouvement.

1. Quelle est la grandeur de sortie du thermocouple ?
2. Quelle est la tension délivrée par le thermocouple soumis à une température de 500 °C
3. Quelle est la température mesurée à l'instant $t = 0,76 \text{ ms}$?
4. Quelle est la grandeur d'entrée de l'accéléromètre ?
5. Pour une accélération verticale de $-1,0 \text{ g} = -9,81 \text{ m.s}^{-2}$, quelle est la valeur numérique envoyée à la console par la manette de jeux ?
6. Quelle est l'accélération maximale enregistrée par la manette lors du mouvement de la main du joueur ?

Éléments de réponse :

1. La grandeur de sortie du thermocouple est la tension électrique.
2. La tension délivrée par le thermocouple soumis à une température de 500 °C est de $U = 20 \text{ mV} = 20 \times 10^{-3} \text{ V}$.
3. La tension mesurée à l'instant $t = 0,76 \text{ ms}$ est $U = 30 \text{ mV}$ soit une température de $T = 710 \text{ °C}$.
4. La grandeur d'entrée de l'accéléromètre est l'accélération de la manette.
5. Pour une accélération verticale de $-1,0 \text{ g} = -9,81 \text{ m.s}^{-2}$, la valeur numérique envoyée à la console par la manette de jeux est de -10.
6. La valeur numérique maximale enregistrée par la manette lors du mouvement de la main du joueur est de $S = 27$. On en déduit l'accélération verticale $g = 2,8 \text{ m.s}^{-2}$.

II. Qu'est-ce qu'un capteur ?

1. Définition.

Un capteur est un système qui convertit une grandeur physique d'entrée E en une grandeur de sortie mesurable S (le plus souvent électrique).



Souvent la grandeur de sortie est un signal électrique, il peut être de différente nature :

- Un capteur à **sortie analogique** délivre une tension ou un courant qui peut prendre toutes les valeurs dans un intervalle donné.
- Un capteur à **sortie numérique** fournit un nombre codé sur N bits, il ne peut donc prendre que 2^N valeurs.
- Un capteur à **sortie Tout Ou Rien (TOR)** ne peut prendre uniquement que 2 valeurs correspondant aux niveaux logiques 0 et 1. Il est souvent utilisé pour des détecteurs.

2. Caractéristiques et qualités d'un capteur.

Le choix d'un capteur se fait au regard de différents critères :

L'étendue de mesure : c'est la différence entre les valeurs maximale et minimale de la valeur d'entrée pour lesquelles le capteur assure une mesure correcte.

La résolution : c'est la plus petite valeur de la grandeur d'entrée qui donne une variation lisible de la grandeur de sortie, soit 1 digit ou 1 graduation.

La sensibilité σ : une faible variation ΔE du signal d'entrée entraîne une variation ΔS du signal de sortie facilement exploitable.

$$\sigma = \frac{\Delta S}{\Delta E}$$

La justesse : c'est l'aptitude d'un capteur à donner des indications égales à la grandeur mesurée. Elle dépend des erreurs systématiques qui contribuent à toujours sous ou sur évaluer la valeur mesurée.

La fidélité : c'est l'aptitude d'un capteur à toujours restituer la même valeur de sortie à chaque fois qu'il est soumis à la même valeur d'entrée. Elle dépend des erreurs aléatoires (en raison du milieu ambiant, de l'opérateur...) qui s'observent lors de la même mesure d'une grandeur physique dans des conditions identiques.

La précision : c'est l'aptitude d'un capteur à donner des indications proches de la valeur vraie de la grandeur mesurée. Elle s'exprime en pourcentage de l'étendue de mesure.

3. Incertitudes et chiffres significatifs.

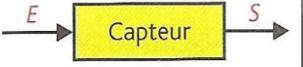
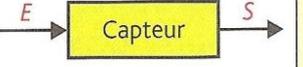
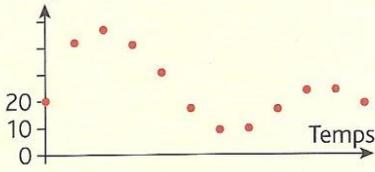
Le résultat d'un mesurage doit être donné sous la forme d'un intervalle :

$$\text{Valeur mesurée} = x_m \pm \delta x \quad \text{où } \delta x \text{ est l'incertitude de mesure.}$$

L'incertitude relative $\frac{\delta x}{x_m}$ représente l'importance de l'incertitude par rapport à la grandeur mesurée.

L'incertitude δx s'exprime avec deux chiffres significatifs au maximum. Les derniers chiffres conservés pour la valeur x_m sont ceux sur lesquels porte l'incertitude δx .

Q.C.M. Pour chaque ligne, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).

	A	B	C
1. Le fonctionnement d'un capteur se schématise par...			
2. Dans les schémas ci-dessus, E signifie...	énergie	entrée	éclairage
3. Les principales qualités d'un capteur sont...	la fidélité	la sensibilité	la puissance
4. La grandeur de sortie d'un capteur est généralement...	une tension électrique	une pression	une intensité de courant
5. Le graphique ci-dessous représente une grandeur... 	numérique	analogique échantillonnée	continue
6. Lors d'une conversion analogique-numérique...	une valeur numérique est convertie en mot binaire	une valeur numérique est convertie en valeur hexadécimale	un mot binaire est converti en valeur numérique
7. Les informations d'un capteur sont dirigées vers...	le calculateur	l'actionneur	l'afficheur

Apprendre à résoudre

Sonde de lumière

Niveau ● **COMPRENDRE**

Les informations ci-dessous sont extraites de la documentation d'une sonde de lumière :

Utilisation

La sonde de luminosité PHOTOGAR –AZHF sert à la commande de lampes, d'installations d'éclairage, de stores... Elle sert au contrôle de la luminosité sur les lieux de travail, dans les couloirs, dans les bureaux, dans les pièces d'habitation. Elle est utilisée pour la régulation de la lumière constante en fonction de la lumière du jour, comme capteur de crépusculaire, comme commande de protection solaire pour éviter tout chauffage inutile de la pièce.

Caractéristiques techniques

Tension d'alimentation : 24 V_{cc}
 Consommation de courant : 10 mA maxi à 24 V
 Capteur : Photodiode
 Plages de mesure : 0... 500 lx, 0... 20 klx, 0... 60 klx
 Sortie : 0 – 10 V linéarisée
 Température d'utilisation : – 10 °C à 50 °C
 Erreur de mesure : < ± 10 % de la plage de mesure
 Indice de protection : IP65

1. Quelle est la grandeur d'entrée E du capteur ? La grandeur de sortie S ? L'étendue de mesure ? La précision ?

- Tracer la courbe d'étalonnage du capteur $S = f(E)$ pour la plus grande plage de mesure.
- E et S sont-elles proportionnelles ?
- Quel est l'éclairage si la tension de sortie est 6,5 V ?
- Calculer la sensibilité σ du capteur.

Sonde de température

Niveau ● **APPLIQUER**

On souhaite choisir une sonde de température extérieure permettant d'intégrer cette information dans le système de régulation de température d'une maison d'habitation. On dispose des données techniques concernant deux sondes.

Sonde 1	Sonde 2 :
Tension d'alimentation : 24 V	Tension d'alimentation : 24 V
Capteur : Pt 100	Plage de mesure : de – 35 °C à 60 °C
Plage de mesure : .. de – 10 °C à 50 °C	Sortie : 0 – 10 V linéarisée
Sortie : 0 – 10 V linéarisée	Stabilité thermistance : 0,13 °C sur 5 ans
Précision : < ± 3 %	Précision : +/- 0,2 °C

- Quelle la grandeur d'entrée de chacune des sondes ? La grandeur de sortie ? L'étendue de mesure ?
- Quelle sonde est la plus précise ? La plus sensible ?
- Laquelle faut-il choisir sachant que c'est une sonde extérieure ?

Testez vos connaissances

Cochez la ou les réponses exactes.

- 1** Un capteur délivre une tension de 10 mV lorsqu'il mesure une pression de 2,2 bar. La grandeur d'entrée de ce capteur est :
- a) une pression
 b) une tension
 c) une grandeur numérique
- 2** Un capteur délivre un courant d'intensité 25 mA lorsqu'il mesure une température de 65 °C. La grandeur de sortie de ce capteur est :
- a) une température
 b) une grandeur analogique
 c) un courant
- 3** Un dipôle dont la résistance varie avec la température est utilisé comme capteur.
- a) ce capteur est passif
 b) ce capteur est actif
 c) il nécessite un conditionneur de capteur
- 4** Un thermomètre médical utilise un convertisseur analogique-numérique $N = 10$ bits. Le nombre de valeurs que peut afficher ce thermomètre est :
- a) 10 b) 1 024 c) 256
- 5** Un capteur mesure des accélérations à partir de 0,5 g jusqu'à 2 g. Son étendue de mesure vaut :
- a) 1,5 g b) 2 g c) $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- 6** Le volume d'une chaîne hi-fi est réglé par un montage potentiométrique alimenté sous 5,0 V. Pour une position angulaire donnée, on a $R_1 = 2,0 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 8,0 \text{ k}\Omega$. La tension aux bornes de la résistance R_2 vaut :
- a) 4,0 V b) 1,0 V c) 5,0 V
- 7** Une exploitation statistique de plusieurs mesures d'une résistance fournit le résultat brut suivant : $r = 100,261 \Omega$ avec une incertitude $\Delta r = 0,812 \Omega$. On écrit le résultat sous la forme :
- a) $r = 100 \Omega$
 b) $r = [100,261 \pm 0,812] \Omega$
 c) $r = [100,3 \pm 0,8] \Omega$
- 8** Un capteur de vitesse associé à son conditionneur délivre une tension de 1 V pour une vitesse de $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et une tension de 11 V pour une vitesse de $22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dans cette plage de mesures, sa caractéristique de transfert est linéaire. La sensibilité de cette chaîne de mesure vaut :
- a) $S = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{V}$
 b) $S = 0,5 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}$
 c) $S = 0,5 \text{ V}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- 9** Un thermostat de bouilloire électrique permet de couper l'alimentation du thermoplongeur lorsque la température de l'eau atteint la valeur $\theta = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ avec une tolérance de 5 %.
- a) la température de l'eau peut atteindre $92,5 \text{ }^\circ\text{C}$
 b) un thermostat déclenchant à la température de $80 \text{ }^\circ\text{C}$ est conforme à ce cahier des charges
 c) le thermostat peut déclencher à la température de $88 \text{ }^\circ\text{C}$
- 10** Un capteur de lumière utilise une photodiode qui délivre un courant électrique dont l'intensité est proportionnelle au flux lumineux reçu.
- a) la photodiode est un capteur actif
 b) la grandeur d'entrée de ce capteur s'exprime en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
 c) la grandeur de sortie peut prendre $N = 256$ valeurs

► Corrigés p. 266

Applications directes du cours

11 Accéléromètre de smartphone

Un accéléromètre de smartphone est un capteur qui permet de mesurer l'accélération linéaire de ce dernier selon les trois directions de l'espace. On s'intéresse à un accéléromètre dont la sensibilité est constante et vaut $S = 145 \times 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^2$.

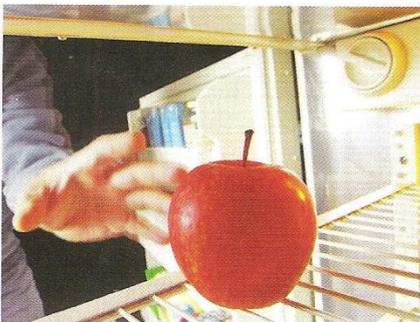
1. Préciser la grandeur d'entrée du capteur, ainsi que son unité.
2. La grandeur de sortie est-elle analogique ou numérique ?
3. Calculer la valeur de la tension délivrée par l'accéléromètre si votre smartphone vous échappe des mains ($g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

12 Codeur rotatif incrémental d'imprimante

Une imprimante utilise un capteur de position appelé codeur incrémental qui délivre 256 impulsions par tour. Lors du fonctionnement, un compteur électronique a relevé 5 320 impulsions pendant une durée de 0,45 s.

1. La sortie de ce capteur de position est-elle analogique ou numérique ?
2. Calculer la vitesse angulaire de l'arbre moteur correspondante, exprimée en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

13 Mon frigo fait de la résistance ;-)



Un capteur de température est constitué d'une thermistance CTN R_θ insérée en série avec une résistance $R_1 = 56 \text{ k}\Omega$. La température à l'intérieur du réfrigérateur est de $6,0 \text{ }^\circ\text{C}$, la résistance de la thermistance CTN est alors de $8,4 \text{ k}\Omega = R_\theta$.

Calculer la tension de sortie U_s du montage potentiométrique qui est alimenté sous la tension $E = 12 \text{ V}$.

14 Mon moteur chauffe !

La température d'un moteur électrique est mesurée à l'aide d'un capteur de température. On obtient le tableau de mesures suivant :

Mesure n°1	Mesure n°2	Mesure n°3	Mesure n°4	Mesure n°5
55,1 °C	56,4 °C	56,6 °C	54,9 °C	57,0 °C

1. Calculer la meilleure estimation θ_m de la température du moteur.
2. Les caractéristiques du capteur permettent d'évaluer l'incertitude des mesures : $\delta\theta = 2,38 \text{ }^\circ\text{C}$. Donner le résultat de la mesure de la température θ du moteur sous une forme utilisant deux chiffres significatifs pour l'incertitude.

15 Chiffres significatifs

Réécrire les résultats des mesures suivantes sous la forme la plus appropriée et exprimer les intervalles correspondants :

$$x = 3,323 \pm 1,4 \text{ mm} ; t = 1\,234,567 \pm 5,321 \text{ s} ;$$

$$\lambda = 5,33 \times 10^{-7} \pm 3,21 \times 10^{-9} \text{ m} ;$$

$$i = 0,000\,000\,538 \pm 0,000\,000\,03 \text{ A}$$

16 Ma mesure est unique !

On effectue une mesure de tension avec un voltmètre dont le constructeur indique la précision : 0,03 % de la valeur lue + 2 digits.

1. Calculer l'erreur ε entachant la mesure lorsque le voltmètre indique 7,843 V.
2. Sachant que l'incertitude associée au résultat d'une mesure unique est donnée par l'expression suivante $(\delta x)_{95\%} = \frac{\varepsilon}{\sqrt{3}}$, exprimer le résultat de la mesure de la tension sous la forme $V \pm \delta V$.

17 Laquelle sera la plus fidèle ?

Une procédure d'étalonnage effectuée sur deux balances de cuisine, dans des conditions de mesure identiques, a donné les résultats suivants :

	Balance 1	Balance 2		Balance 1	Balance 2
Mesure 1	105	92	5	107	105
2	104	107	6	106	90
3	103	100	7	104	107
4	105	94	8	102	98

1. Calculer la meilleure estimation m_1 et m_2 fournie par chaque balance.
2. Déterminer la balance qui est la plus fidèle en calculant l'écart-type σ de chaque série de mesures.

$$\text{Données : } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (m_i - \bar{m})^2}{N}}$$

N : nombre de mesures ; \bar{m} : valeur moyenne.

