

Modélisation des systèmes linéaires

Système thermique : Evolution de la température en fonction du temps

Quelle est l'évolution de la température d'un système soumis à un choc thermique ? Comment peut-on la modéliser ?

Objectifs :

- Mettre en œuvre un thermocouple, capteur de température très utilisé en industrie, en procédant à son étalonnage et en mesurant son temps de réponse ;
- Réaliser une mesure de température sur un système (pièce de monnaie) subissant un choc thermique et proposer un modèle physique (allure de la réponse, ordre du système, temps de réponse).



Présentation du dispositif d'acquisition de la température

Le capteur de température utilisé est un thermocouple (type K) relié à un boîtier électronique de conditionnement et d'affichage avec sortie analogique.

L'information « température » peut donc être envoyée sur une carte d'acquisition pour être exploitée.

Exploitation de l'annexe

L'annexe présente quelques spécificités essentielles d'un thermocouple.

| [Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la problématique]

1/- Sur quel effet repose la mesure de température par thermocouple ? Résumer son principe.

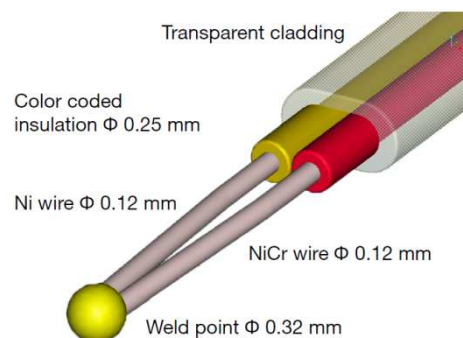
2/- Quelle est la nature des 2 matériaux constituant le thermocouple de type K et quel est le matériau représentant le + du générateur ?

3/- Quel est la valeur du coefficient de Seebeck ou sensibilité $\Delta V/\Delta T$ (en $\mu V/^\circ C$) d'un thermocouple de type K ?

4/- Les thermocouples sont très utilisés industriellement comme capteur de température, en particulier le type K. Citer au moins deux spécificités pouvant justifier ce choix.

Etude du capteur de température seul

L'objectif recherché est la mesure du temps de réponse du capteur.



Extrémité du thermocouple : point clé du dispositif

| [Mettre en œuvre un protocole expérimental donné]

I- Mise en œuvre des matériels :

- Alimenter la carte d'acquisition **SYSAM-SP5** et la relier au PC par liaison USB.
- Ouvrir le logiciel **LATIS PRO** qui pilote la carte.
- Alimenter le boîtier d'affichage de la température avec son thermocouple.
- Relier la sortie (+5V/-5V) du boîtier d'affichage de la température à l'une des entrées analogiques (CANAL 0 : entrée EAO et masse) de la carte **SYSAM-SP5**.

Faire vérifier la mise en œuvre par le professeur.

II- Procédure d'étalonnage du capteur :

- Préparer dans le grand bac en plastique :
 - glace + très peu d'eau dans un **petit récipient**
 - eau chaude dans un **vase DEWAR**
- Suivre la procédure d'étalonnage prise en charge par le logiciel LATISPRO avec un point froid et un point chaud comme références de température.

- **Mesurer avec un voltmètre** la valeur de tension sortant du boîtier d'affichage de la température et s'assurer que la valeur acquise par LATISPRO est identique. On indiquera la position du sélecteur pour le voltmètre.

- **Préciser les valeurs des deux points de référence choisis.**

→ *[copie d'écran fenêtre étalonnage dans LATISPRO]*

| **[Obtenir des relevés expérimentaux pertinents]**

III- Acquisition de la température :

On cherche à acquérir l'évolution de la température mesurée par le thermocouple seul, initialement dans l'air ambiant, lorsqu'il est introduit dans le vase DEWAR contenant l'eau chaude.

*NB : on étudie donc la réponse du système (thermocouple) à une excitation de type « **échelon** » de température avec choc thermique de T_{ambiante} à T_{chaude} .*

- **Régler les paramètres de l'acquisition dans LATISPRO** (n^{bre} de points, durée totale...)

- **Procéder alors à l'acquisition** (raccourci : touche F10) ;

- Recommencer avec plus de points d'acquisition si nécessaire.

→ *[copies d'écran : paramètres + acquisition]*

| **[Exploiter les résultats obtenus]**

IV- Modélisation de la réponse du système :

- Outil de modélisation du logiciel LATISPRO : [traitement → modélisation]

1/- Rechercher le **modèle** qui correspond le mieux à la courbe expérimentale obtenue : la forme est-elle linéaire ? logarithmique ? exponentielle ?

→ [copie d'écran acquisition+modèle]

→ [copie d'écran paramètres de modélisation]

2/- Juger de l'écart réel/modèle pour le modèle choisi. Quel est l'ordre du système ?

3/- Exploiter les paramètres de modélisation du système :

Vérifier que la température finale T_f mesurée vaut $A+V_o$;

Préciser la valeur de la constante de temps τ .

On rappelle que la durée du régime transitoire peut être estimée par le temps de réponse à 5%. Pour un système du 1^{er} ordre, on a : $t_{r5\%}=3\tau$.

4/- En déduire le temps de réponse estimé $t_{r5\%}$ du capteur.

L'étalonnage du capteur est conservé pour la suite.

Evolution de la température d'un corps solide

Dans cette partie, l'expérience à réaliser a pour but l'étude de l'évolution de la température d'un objet solide soumis à une variation thermique brutale (excitation de type « échelon »).

Le corps solide choisi est une pièce de monnaie (20cts ou 50cts) ; le thermocouple est collé dessus (avec pâte de type « patafix »).



Système soumis au « choc thermique » : solide de faible épaisseur

| [Obtenir des relevés expérimentaux pertinents]

I- Acquisition de la température :

On cherche à acquérir l'évolution de la température de la pièce de monnaie, initialement à température ambiante, lorsqu'on la plonge rapidement dans l'eau chaude pour créer un choc thermique.

- Régler les paramètres de l'acquisition dans LATISPRO (n^{bre} de points, durée totale...)

- Procéder alors à l'acquisition (touche F10) ;
- Recommencer avec plus de points d'acquisition si nécessaire.

→ [copies d'écran : paramètres + acquisition]

| [Exploiter les résultats obtenus]

II- Modélisation de la réponse du système :

□ Outil de modélisation du logiciel LATISPRO : [traitement → modélisation]

1/- Quelle est l'allure de la courbe expérimentale obtenue ? Rechercher le modèle qui correspond le mieux à cette acquisition.

→ [copie d'écran acquisition+modèle]

→ [copie d'écran paramètres de modélisation]

2/- Juger de l'écart réel/modèle pour le modèle choisi. Quel est l'ordre du système ?

3/- Exploiter les paramètres de modélisation du système :

Relever son modèle mathématique : formule littérale et numérique ;

Vérifier que la température finale T_f mesurée vaut $A+V_o$;

Préciser la valeur de la constante de temps τ .

4/- Calculer alors le temps de réponse $t_{r5\%}$ estimé du système. Le temps de réponse du capteur est-il négligeable ?

En résumé

Synthétiser dans un tableau les résultats expérimentaux obtenus pour le capteur seul et pour le système « pièce de monnaie ».

	Allure de la réponse	Ordre du système	Constante de temps τ	temps de réponse à 5%
Capteur seul				
Système « pièce de monnaie »				

ANNEXE

Effet thermoélectrique

Le principe de fonctionnement des thermocouples est essentiellement basé sur l'**effet SEEBECK**. Lorsqu'un écart de température se produit le long d'un fil, il se produit un transfert de charge. L'importance du transfert de charge dépend des caractéristiques électriques du matériau choisi. Lorsque deux fils de matériaux différents sont soudés sur un côté et qu'un écart de température se produit, une tension se forme aux deux extrémités libres. Cette tension dépend de l'écart de température le long des deux fils. Pour mesurer la température au point de jonction, il faut que la température soit connue à l'extrémité libre. Lorsque la température de l'extrémité du couple est inconnue, l'extrémité doit être prolongée par un câble de compensation jusqu'à une zone de température connue (point de compensation).

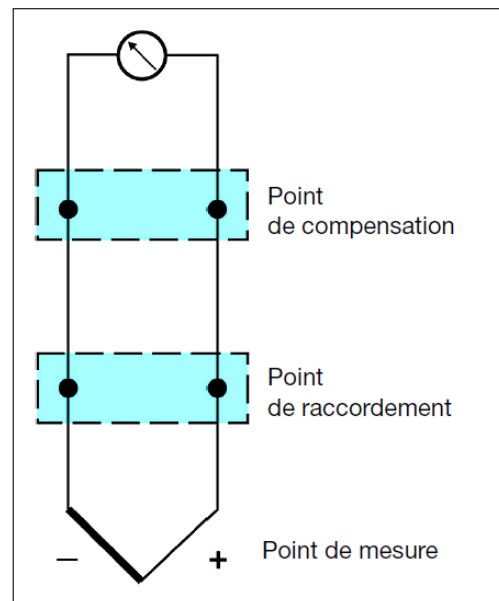


Figure 1 : principe de mesure.

...
 Pour tous les thermocouple cités, c'est toujours la branche, nommée en première position, qui est positive. Le code des couleurs s'applique aussi bien aux thermocouples proprement dits qu'aux câbles de compensation.

...

Forces électromotrices suivant EN 60 584

en mV, pour températures de 10 °C en 10 °C (compensation de soudure froide 0 °C)

NiCr-Ni „K“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-5,891	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-3,554	-3,852	-4,138	-4,411	-4,669	-4,913	-5,141	-5,354	-5,550	-5,730
0	0	-0,392	-0,778	-1,156	-1,527	-1,889	-2,243	-2,587	-2,920	-3,243
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,397	0,798	1,203	1,612	2,023	2,436	2,851	3,267	3,682
100	4,096	4,509	4,920	5,328	5,735	6,138	6,540	6,941	7,340	7,739
200	8,138	8,539	8,940	9,343	9,747	10,153	10,561	10,971	11,382	11,795
300	12,209	12,624	13,040	13,457	13,874	14,293	14,713	15,133	15,554	15,975
400	16,397	16,820	17,243	17,667	18,091	18,516	18,941	19,366	19,792	20,218
500	20,644	21,071	21,497	21,924	22,350	22,776	23,203	23,629	24,055	24,480
600	24,905	25,330	25,755	26,179	26,602	27,025	27,447	27,869	28,289	28,710
700	29,129	29,548	29,965	30,382	30,798	31,213	31,628	32,041	32,453	32,865
800	33,275	33,685	34,093	34,501	34,908	35,313	35,718	36,121	36,524	36,925
900	37,326	37,725	38,124	38,522	38,918	39,314	39,708	40,101	40,494	40,885
1000	41,276	41,665	42,053	42,440	42,826	43,211	43,595	43,978	44,359	44,740
1100	45,119	45,497	45,873	46,249	46,623	46,995	47,367	47,737	48,105	48,473
1200	48,838	49,202	49,565	49,926	50,286	50,644	51,000	51,355	51,708	52,060
1300	52,410	52,759	53,106	53,451	53,795	54,138	54,479	54,819	-	-

Figure2 : Table des tensions (fem) pour le type K (référence à 0°C)

Source : www.jumo.net

Voltage signal is nonlinear: The slope of a thermocouple response curve changes over temperature. For example, at 0°C a T-type thermocouple output changes at 39 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, but at 100°C, the slope increases to 47 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

There are three common ways to compensate for the nonlinearity of the thermocouple.

Choose a portion of the curve that is relatively flat and approximate the slope as linear in this region—an approach that works especially well for measurements over a limited temperature range. No complicated computations are needed. One of the reasons the K- and J-type thermocouples are popular is that they both have large stretches of temperature for which the incremental slope of the sensitivity (Seebeck coefficient) remains fairly constant (see Figure 3).

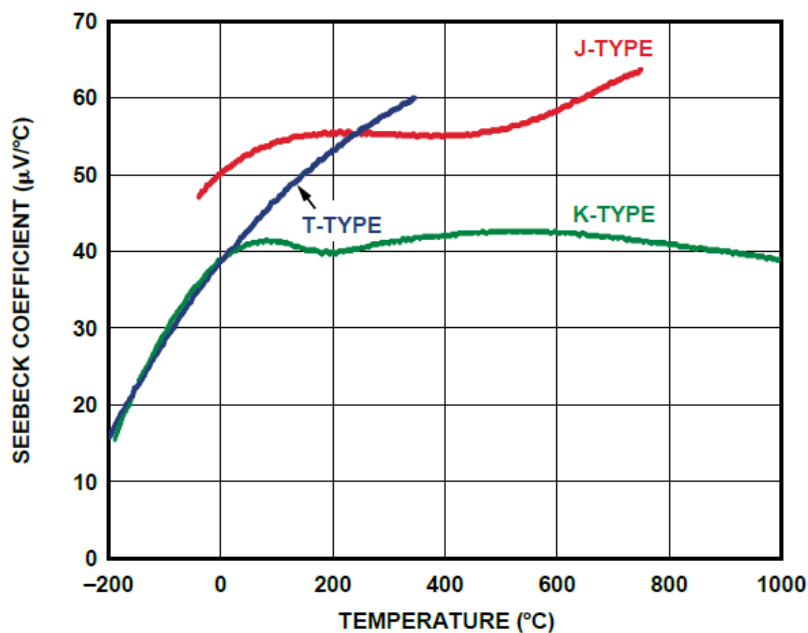


Figure 3. Variation of thermocouple sensitivity with temperature. Note that K-type's Seebeck coefficient is roughly constant at about 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ from 0°C to 1000°C.

Source : www.analog.com

Matériels mis en œuvre :

- Carte d'acquisition SYSAM-SP5
- Logiciel LATISPRO
- Thermocouple type K et son boîtier
- Multimètre

Pour la partie « fluides »

- Grand bac en plastique
- Petit récipient
- Vase type « thermos »

Sur chariot :

- Réserve d'eau
- Glace
- Bouilloires électriques
- Pâte type « patafix » ou « blu-tack »