

# ETUDE D'UNE METHODE D'ETALONNAGE DE CAPTEURS DE TEMPERATURE DE TYPE THERMISTANCE, A VALIDER SUR UN PARC

Pascal Thiébeau<sup>1</sup> et Laurence Pinto<sup>2</sup>

## RESUME

L'objectif de ce travail est d'étudier la validité d'une méthode d'étalonnage de capteurs de température de type « thermistance », conçue à l'aide de 4 capteurs, en l'appliquant à l'ensemble d'un parc composé de 56 capteurs. Les courbes d'étalonnage de chaque capteur, réalisées par paliers de 5°C entre -20°C et +40°C, corrigent les valeurs lues par rapport à une chaîne étalon à l'aide d'une droite d'ajustement. La calibration des capteurs est validée à l'aide de seuils définis auparavant, qui retiennent une erreur maximale d'estimation de la pente de 2%, et une erreur maximale de 0,2°C concernant la valeur d'écart type associée à l'estimation de l'ordonnée à l'origine.

Les résultats de cette étude valident la méthode d'étalonnage existante. Ils montrent que l'on peut abaisser le seuil maximal d'estimation de la pente de 2% à 1%. Ils montrent également qu'il faut compléter le critère de validation sur l'estimation de l'ordonnée à l'origine existant en intégrant la notion d'amplitude maximale tolérée, en fixant le seuil maximal à 0,4°C : la validation d'un capteur est alors acceptée lorsque l'écart-type et l'amplitude maximale associée à l'estimation de l'ordonnée à l'origine sont sous les seuils définis.

**MOTS-CLES** : méthode d'étalonnage, capteur de température, thermistance, validation.

## INTRODUCTION

La définition d'une méthode d'étalonnage de capteurs de températures de type thermistance, telle que réalisée par Thiébeau (2003), n'implique pas qu'elle soit applicable à l'ensemble d'un parc. En effet, sa définition a été réalisée à l'aide d'un échantillon de 4 capteurs de température, ce qui est très insuffisant pour extrapoler ces résultats à l'ensemble d'un parc de capteurs de ce type. C'est pourquoi l'objectif de ce travail est d'étudier cette méthode d'étalonnage en l'appliquant à l'ensemble du parc de capteurs de l'unité d'Agronomie basée à Reims, où elle avait été définie. Les résultats doivent permettre de conclure ou non, à sa validité en l'état, ou sous réserve de précisions.

## 1. MATERIELS ET METHODES

La chaîne des appareils utilisés est composée : *i*) d'un calibrateur de température à bain sec, permettant de programmer des températures de consigne, *ii*) d'un ensemble « température de référence » composé d'une sonde de température de platine et de son boîtier de lecture, permettant de connaître avec précision la température réelle à laquelle les capteurs de température testés sont soumis vis-à-vis de la température programmée sur le calibrateur,

---

<sup>1</sup>Unité d'Agronomie de Laon-Reims-Mons, 2 esplanade R. Garros, 51 686 REIMS Cedex  
[thiebeau@reims.inra.fr](mailto:thiebeau@reims.inra.fr)

<sup>2</sup>DUT Mesures Physiques, Université de Reims, rue des Crayères, 51 687 REIMS Cedex 2

iii) de l'intégralité du parc de 56 capteurs de température de type « thermistance » à étalonner, et iv) d'une centrale d'acquisition de données, permettant d'enregistrer les températures mesurées par les capteurs à étalonner.

Les caractéristiques des matériels utilisés sont précisées dans l'article définissant cette méthode (Thiébeau, 2003). Nous rappelons brièvement l'acquis de celle-ci :

- a)** Il est nécessaire de disposer d'une chaîne étalon, car la précision de  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  de la température de consigne du calibrateur à bain sec n'est pas satisfaisante pour l'étalonnage de ces capteurs, dont la précision mentionnée par le constructeur est de  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  ;
- b)** Le temps de stabilisation du calibrateur, entre deux paliers de température testés, est de 7 à 8 mn ; mais nous retenons le temps de 10 mn préconisé par le constructeur ;
- c)** Plusieurs hypothèses pouvant avoir des effets sur les résultats obtenus ont été testées. Nous savons qu'il n'existe pas d'effet entre les jours de mesure, ni de la voie de connexion du capteur de température sur la centrale de mesure, ni de la centrale de mesure (le remplacement de la centrale de mesure par une autre de même type n'a pas d'effet sur les résultats produits).
- d)** Les capteurs sont testés systématiquement dans le sens de l'accroissement de la température de test, c'est-à-dire de  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $+40^{\circ}\text{C}$  ; et jamais dans le sens inverse.
- e)** Un effet « déplacement du capteur » avait été observé, c'est-à-dire que l'action d'enlever le capteur de la chambre de test pour le remettre dans la même chambre ou une autre, a une incidence sur les valeurs de correction. En effet, chaque capteur voit sa valeur de température corrigée à l'aide d'une droite d'ajustement, de type  $y = ax + b$ , pour produire celle mesurée à l'aide de la chaîne étalon. Le travail réalisé a montré l'absence d'effet sur la pente de la droite, mais il notait un effet significatif sur l'estimation de la constante. Après avoir testé cet effet à plusieurs reprises, l'auteur de la méthode observait que l'estimation de cette constante était assez fiable à partir de la 4<sup>ème</sup> série de mesures. C'est pourquoi nous avons réalisé 4 séries de mesure en déplaçant les capteurs entre chacune des séries.
- f)** Enfin, nous conservons les seuils de validation mentionnés dans le travail précédent. Nous retenons les capteurs de température dont l'erreur maximale d'estimation de la pente est de 2% (coefficient de variation), et dont l'estimation de la constante présente un écart-type maximum de  $0.2^{\circ}\text{C}$ .

Nous complétons la liste de ces critères de décisions en mentionnant également, pour la constante calculée, l'amplitude des écarts entre les valeurs maximales et minimales. Nous fixons le seuil maximum à  $0.4^{\circ}\text{C}$ , ce qui correspond à la précision annoncée par le constructeur du capteur ( $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ).

Le travail est réalisé dans une salle dont la climatisation est réglée à  $21^{\circ}\text{C}$ , pour respecter la préconisation du constructeur du calibrateur de travailler avec une température ambiante stable.

Les capteurs sont étalonnés dans un ordre aléatoire, en fonction de leur disponibilité au cours de la période d'étude (avril à mai 2003). Les températures des capteurs sont lues à partir d'une centrale Grant<sup>3</sup>, de la série 1252.

Notre chaîne étalon a fait l'objet d'étalonnages au sein de la Société AVANTEC<sup>4</sup>, dont la chaîne de mesure de température a elle-même fait l'objet d'un étalonnage par le Laboratoire National d'Essais<sup>5</sup> en septembre 2002. Dans la plage de températures ( $-20^{\circ}\text{C}$  à  $+40^{\circ}\text{C}$ ) qui

<sup>3</sup> Grant Instruments Ltd, Barrington, Cambridge, CB2 5QZ England

<sup>4</sup> AVANTEC, Aide aux Technologies Avancées, BP30188, 67405 Illkirch Cedex, France

<sup>5</sup> Laboratoire National d'Essais, 1 rue Gaston Boissier, 75724 Paris Cedex 15, France

nous concerne, l'écart moyen de température de la chaîne étalon d'AVANTEC est de 0,002°C, et l'incertitude élargie est de 0,007°C.

### **Traitement statistique**

Après une analyse graphique des données (non présentées), les droites d'ajustement et les erreurs sur pentes et ordonnées sont calculées. Les résultats (non présentés) offrent tous des coefficients de corrélation supérieurs à 0,9998 pour 11 degrés de liberté, ce qui est considéré comme très hautement significatif. Ensuite, le calcul des pentes moyennes, ordonnées moyennes, est réalisé à partir des 4 séries de données acquises pour chaque capteur, à partir desquelles sont calculés les écarts-types et coefficients de variations. Une analyse de variance est réalisée sur l'ensemble des données, afin de contrôler objectivement les analyses des résultats précédents. Cette analyse est suivie d'une classification en groupes homogènes selon le test de Newman et Keuls : l'objectif est de pouvoir prendre la décision de ré-étalonner l'ensemble d'un groupe dès lors que l'on constate une dérive sur l'un des capteurs constituant ce groupe.

## **2. RESULTATS ET DISCUSSION**

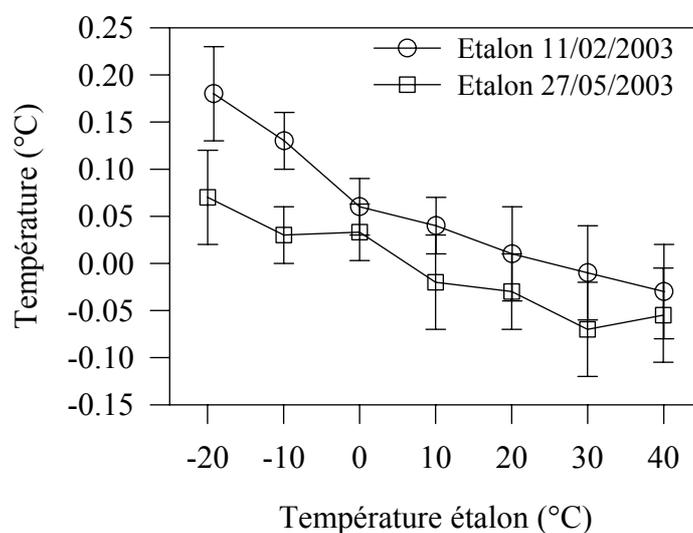
### **2.1. Contrôle de la chaîne étalon**

Pour avoir la certitude que les mesures réalisées sur chaque capteur de température soient uniquement liées à leur fiabilité et non à une dérive de la chaîne étalon, nous avons fait procéder à son contrôle avant le début de l'étude, le 11 février 2003, puis après l'étalonnage du dernier capteur du parc, le 27 mai 2003. Les températures entre notre chaîne étalon et celle de la société de contrôle sont étudiées en termes de différences, ce qui correspond à la température à ajouter aux températures mesurées par notre chaîne de mesure pour obtenir la température de l'étalon (*figure 1*).

Nous pouvons remarquer que les valeurs d'étalonnage sont présentées par paliers de 10°C, alors que les capteurs sont étalonnés par pas de 5°C. La raison est d'ordre financière. En effet, un étalonnage en 7 points comme ce qui est réalisé coûte la moitié de la valeur d'achat de la chaîne étalon. Comme il était nécessaire de pouvoir réitérer son contrôle au terme de l'étude, nous avons cherché à en minimiser le coût pour l'unité.

Les valeurs de correction pour les paliers manquants sont obtenues par le calcul d'une droite d'ajustement. Dans le cas de l'étalonnage réalisé le 11 février, il faut constater que les points ne forment pas une droite unique de -20°C à +40°C. Celle-ci est scindée en deux, de -20°C à 0°C, puis de 0°C à +40°C. Les valeurs manquantes sont ré-estimées à partir du calcul de ces 2 droites d'ajustement. L'étalonnage du 27 mai, dont l'allure générale est en dents de scie, nous conduit à calculer une seule droite d'ajustement de -20°C à +40°C pour ré-estimer de nouveau les valeurs manquantes.

Nous constatons que les corrections à ajouter à la chaîne de mesure ont dérivé entre le 11 février et le 27 mai (*figure 1*). Cette dérive est significativement différente de -20°C à 0°C, ce qui n'est pas le cas de 0°C à +40°C. Pour la prendre en compte dans les résultats produits nous décidons de retenir la règle suivante : nous partageons le nombre de jours de mesures en 3 tiers. Le 1<sup>er</sup> tiers conserve les valeurs de correction de l'étalonnage du 11 février, le second tiers est corrigé des valeurs moyennes résultant des deux étalonnages, et le dernier tiers est corrigé des valeurs de l'étalonnage du 27 mai.



**Figure 1 :** Correction à ajouter à la chaîne étalon en fonction de la température mesurée

## 2.2. Etalonnage du parc de capteurs

Pour éviter une présentation exhaustive des résultats par capteur, nous présentons les éléments les plus intéressants pour l'étude de la procédure.

L'examen des données montre que les pentes évoluent entre 0,99 et 1,08. Cependant, en dehors de 2 capteurs dont la pente est de 1,08 et de 1,05, les capteurs dont la pente est comprise entre 0,99 et 1,03 appartiennent à des groupes dont les différences ne sont pas significatives. En ce qui concerne les constantes, les données évoluent entre  $-1,62$  et  $+0,68^{\circ}\text{C}$ . Leur classement en groupes homogènes ne permet pas de les différencier significativement. Il n'est donc pas possible de prendre la décision de ré-étalonner un groupe de capteurs dès lors que l'on aura constaté qu'un capteur d'un groupe présente des mesures douteuses, car ce serait l'ensemble du parc qu'il faudrait ré-étalonner.

L'examen graphique des données, ainsi que leur traitement statistique, montrent que 6 capteurs ont des mesures qui ne sont pas répétitives. Leurs données sont précisées dans l'extrait des résultats d'étalonnage présenté au *tableau 1*. Nous constatons que ces capteurs, présentés en caractères gras, répondent tous au critère des 2% d'erreur sur l'estimation de la pente. Ce seuil n'a jamais dépassé 1,3%. On peut observer qu'à chaque fois qu'un capteur présente une pente qui atteint ou dépasse le seuil de 1%, l'écart-type de la constante atteint ou dépasse  $0.2^{\circ}\text{C}$ ; ce qui nous conduit à suggérer de diminuer le seuil sur la pente de 2% à 1%. L'étude de la constante montre que sur le critère initial de l'écart-type, 5 capteurs sur 6 seraient déclarés comme non répétitifs dans leurs mesures, de la même manière que le seul

examen du critère de l'amplitude des constantes calculées ; alors que ce sont 6 capteurs que nous déclarons « non répétitifs » dans leurs mesures. C'est pourquoi nous proposons d'ajouter à la procédure définie initialement, l'étude simultanée de ces deux critères, afin de rejeter l'emploi d'un capteur dès que l'un de ces critères est atteint. En effet, le capteur 15007 montre que l'amplitude de la constante calculée dépasse le seuil maximal de 0,4°C défini initialement, tandis que l'écart-type de 0,199°C le place juste sous le seuil d'exclusion. Néanmoins, il est statistiquement perçu comme non répétitif, comme le capteur 35026 dont l'écart-type est de 0,2°C tandis que l'amplitude calculée de la constante est sous le seuil de 0,4°C.

|              | Pente   |                       | Constante |                        |              | Décision                    |
|--------------|---------|-----------------------|-----------|------------------------|--------------|-----------------------------|
|              | Moyenne | C.V. (%) <sup>1</sup> | Moyenne   | Amplitude <sup>2</sup> | Ecart Type   |                             |
| Seuils :     |         | 2.00                  |           | 0.400                  | 0.200        |                             |
| Capteur n°   |         |                       |           |                        |              |                             |
| 15005        | 1.05    | 0.25                  | -0.947    | 0.262                  | 0.122        | OK                          |
| <b>15006</b> | 1.07    | <b>1.28</b>           | -1.355    | <b>0.655</b>           | <b>0.313</b> | Def <sup>3</sup> sf 10-30°C |
| <b>15007</b> | 1.02    | 0.91                  | -0.338    | <b>0.461</b>           | 0.199        | Def sf 10-20°C              |
| 15008        | 1.00    | 0.21                  | 0.121     | 0.122                  | 0.052        | OK                          |
| 20009        | 1.03    | 0.13                  | -0.144    | 0.118                  | 0.049        | OK                          |
| <b>15010</b> | 1.01    | <b>1.08</b>           | -0.228    | <b>0.571</b>           | <b>0.252</b> | Def                         |
| 20011        | 1.02    | 0.07                  | 0.092     | 0.037                  | 0.018        | OK                          |
| 30023        | 1.02    | 0.35                  | -0.218    | 0.159                  | 0.074        | OK                          |
| <b>35024</b> | 1.01    | 0.99                  | -0.155    | <b>0.492</b>           | <b>0.227</b> | Def                         |
| 35025        | 0.99    | 0.15                  | 0.343     | 0.098                  | 0.044        | OK                          |
| <b>35026</b> | 1.01    | 0.96                  | -0.010    | 0.390                  | <b>0.200</b> | Def                         |
| 30027        | 1.03    | 0.67                  | -0.478    | 0.311                  | 0.137        | OK                          |
| <b>35028</b> | 1.01    | <b>1.00</b>           | -0.079    | <b>0.509</b>           | <b>0.235</b> | Def                         |
| 35029        | 1.00    | 0.46                  | -0.083    | 0.206                  | 0.086        | OK                          |

<sup>1</sup> CV (%) : coefficient de variation, exprimé en pourcentage

<sup>2</sup> Amplitude = différence entre les valeurs maximale et minimale calculées

<sup>3</sup> Def : capteur déclaré défectueux, sauf dans la plage de température mentionnée (ici entre 10 et 30°C)

**Tableau 1** : Extrait des résultats d'étalonnage sur les 56 capteurs de ce parc.

### **2.3. Quel destin pour les capteurs dont les mesures ne sont pas répétitives ?**

Le sort qui doit logiquement leur être réservé est un retrait du service. Néanmoins, l'examen des courbes étalon de chaque capteur concerné peut permettre de prolonger l'activité de certains d'entre eux. Ainsi, l'examen graphique des données des capteurs 15006 et 15007 nous permet de valider leur emploi dans la plage de températures qui leur est associée. Ils peuvent donc être utilisés pour contrôler la température de chambres d'incubation à 15°C par exemple, tandis que les 4 autres capteurs devront être retirés définitivement du service.

## **CONCLUSION**

L'étude de la méthode d'étalonnage définie par Thiébeau (2003) peut être généralisée à l'ensemble d'un parc de capteurs de température de type « thermistance ». Cette méthode peut être affinée, en réduisant le seuil d'erreur maximum d'estimation de la pente de 2% à 1%, et en ajoutant un critère de décision supplémentaire en ce qui concerne l'étude de la constante : l'amplitude maximale observée, dont le seuil est fixé à 0,4°C.

Les capteurs dont les mesures sont considérées comme non répétitives à l'issue de ces critères peuvent voir leur emploi limité au contrôle de la température d'une chambre à température constante si une plage de température suffisamment large (au moins 10°C) a pu être déterminée ; sinon, ils doivent être définitivement retirés du service.

## **REFERENCE**

THIEBEAU P., 2003. Définition d'une procédure d'étalonnage de capteurs de température de type « thermistance », à l'aide d'un calibrateur de température à bain sec. Cahier des Techniques de l'INRA. 48, 7-16.