



**HAL**  
open science

## Définition d'une procédure d'étalonnage de capteurs de température de type thermistance, à l'aide d'un calibrateur de température à bain sec

P. Thiébeau

### ► To cite this version:

P. Thiébeau. 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, 2003, 48, pp.7-16. <hal-02508169>

**HAL Id: hal-02508169**

**<https://hal.science/hal-02508169v1>**

Submitted on 13 Mar 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-SA 4.0 - Attribution - ShareAlike - International License

## **DEFINITION D'UNE PROCEDURE D'ETALONNAGE DE CAPTEURS DE TEMPERATURE DE TYPE THERMISTANCE, A L'AIDE D'UN CALIBRATEUR DE TEMPERATURE A BAIN SEC**

**Pascal Thiébeau**

Unité d'Agronomie de Laon-Reims-Mons, 2 esplanade R. Garros, 51 686 REIMS Cedex 2  
(thiebeau@reims.inra.fr)

### **Résumé**

L'objectif de ce travail est de définir la procédure permettant de calibrer des capteurs de température de type « thermistance » au moyen d'un calibrateur de température à bain sec de la société Techne. Les capteurs de température sont testés dans une gamme comprise entre  $-20^{\circ}\text{C}$  et  $+40^{\circ}\text{C}$ , proche de leurs conditions d'utilisation expérimentale. Les résultats montrent qu'il faut analyser les résultats en terme de différentiel de température par rapport à la température du capteur de référence. Les courbes d'étalonnage, réalisées par palier de  $5^{\circ}\text{C}$ , montrent qu'il faut réaliser les corrections à l'aide d'une droite d'ajustement. La définition préalable d'écarts maximum tolérés détermine les seuils à partir desquels la calibration des capteurs sera validée ou non. Ainsi, il a été retenu une erreur maximale d'estimation de la pente de 2%, et une erreur maximale de  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  concernant la valeur d'écart-type associée à l'estimation de l'ordonnée à l'origine.

Plusieurs hypothèses, pouvant avoir une incidence sur la qualité des mesures de température, sont testées. En adéquation avec les critères définis précédemment, il n'est pas observé d'effet du jour de la mesure, ni de la voie de connexion du capteur sur la centrale d'acquisition de donnée, ni de la centrale d'acquisition de donnée, ni du sens d'étalonnage. Toutefois, pour cet effet, il est recommandé de préférer un étalonnage dans le sens  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $+40^{\circ}\text{C}$ , qui produit des résultats avec une précision meilleure. Enfin, le test d'un effet du déplacement du capteur ne montre pas d'incidence sur la pente d'ajustement calculée pour corriger la température mesurée par le capteur, mais montre une incidence pour le calcul de l'ordonnée à l'origine. Pour avoir une estimation assez fiable de sa valeur, il faut réaliser au moins 4 étalonnages indépendants par capteur de température.

**Mots clés** : étalonnage, capteur de température, calibrateur, procédure, définition.

### **Introduction**

Depuis que l'unité est dotée de capteurs de température, elle a cherché constamment à vérifier la crédibilité des mesures réalisées par ces matériels. Le principe retenu jusqu'alors était un étalonnage en conditions réelles d'utilisation au champ, par la mise en place des capteurs en mini-abri météo, à côté de la station météorologique de Fagnières (51), dont les capteurs sont régulièrement contrôlés par l'unité d'Etude des Facteurs climatiques INRA de Montfavet (84). Mais l'engagement de l'INRA dans un projet Qualité (Vialle, 2000) a conduit l'unité d'Agronomie de Reims à s'équiper d'un calibrateur de température à bain sec, pour affiner la calibration de son parc de capteurs de température de type thermistance.

L'objectif de ce travail est de définir une méthode permettant de tester ces capteurs de température à l'aide du calibrateur, en testant les hypothèses qui peuvent avoir une influence

sur les mesures réalisées. La procédure retenue doit permettre d'obtenir des coefficients de correction des températures mesurées les plus fiables possibles, et par conséquent, garantir la qualité des mesures réalisées lors d'expérimentations.

## Matériels et méthodes

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

### Calibrateur : Tecal 140S (Techne)<sup>1</sup>

Gamme de température : -40 à +140°C (résolution  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ) ;  
Précision :  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  ;  
Température stabilisée après 10 minutes (selon constructeur) ;  
Travailler en température ambiante stable (selon constructeur) ;  
Remarque : appareil neuf en début de manipulation.

### Ensemble « température de référence » : Dostmann T855 + capteur Pt100 4 fils<sup>2</sup>

Gamme de température : -200°C à +200°C (résolution  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ ) ;  
Précision :  $\pm 0,03^\circ\text{C}$  de -50°C à +150°C,  $\pm 0,05$  en dehors ;  
Remarque : appareil neuf en début de manipulation, livré avec son certificat d'étalonnage.

### Capteurs à étalonner : thermistance de type U (Grant)<sup>3</sup>

Gamme de température : -50°C à +150°C (résolution  $\pm 0,05^\circ\text{C}$ )  
Précision :  $\pm 0,2^\circ\text{C}$   
Connexion : prise Léo

### Centrale de mesure : Squirrel 1252 (Grant)

Conditions d'utilisation : -30°C à +65°C (résolution  $\pm 0.05^\circ\text{C}$ )  
Précision :  $\pm 0,2\%$

Le calibrateur dispose d'une chambre de 114 mm de hauteur x 40 mm de diamètre, à l'intérieure de laquelle on glisse un cylindre ajusté à ces dimensions. Ce cylindre comprend 5 emplacements (1 par capteur). Le métal qui le constitue, l'aluminium, assure un maintien de chaque emplacement à la température programmée, de manière homogène, en bain sec. Le diamètre de chaque emplacement de capteur est de 5 mm, ce qui correspond au diamètre des sondes de température. La chambre centrale du cylindre est occupée par le capteur de référence : il reste donc 4 chambres pour tester les capteurs de température. Les manipulations

---

<sup>1</sup> Techne Ltd, Duxford, Cambridge, CB2 4PZ England

<sup>2</sup> Dostmann electronic GmbH, 97877 Wertheim-Reicholzheim, Germany

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

sont réalisées en relevant la valeur de chaque capteur de température 20 mn au minimum après chaque changement de plage de température : ceci correspond à deux fois le temps nécessaire préconisé par le constructeur pour la montée en température homogène du cylindre dans lequel les capteurs sont placés. Un contrôle de cette montée en température réalisé *a posteriori* montre que la température est stabilisée au bout de 7mn et 20s ( $\pm 48s$ ) pour des élévations de température par pas de 5°C ou de 10°C ; ce qui signifie que le délai de 10 mn, annoncé par le constructeur, est suffisant. Le travail est réalisé en salle climatisée à 21°C pour respecter la consigne du constructeur de travailler en ambiance stable.

Le travail est réalisé avec un même lot de 4 capteurs. Chaque capteur est identifié d'un code à 5 chiffres (exemple : 20012) : les deux premiers chiffres indiquent la longueur du câble associé au capteur (ici : 20 m), et les 3 suivants, identifient le capteur (ici, il s'agit du n° 12). La longueur des câbles varie de 20 à 35 m. On fait l'hypothèse qu'ils n'ont pas d'incidence sur la mesure de température des capteurs, et/ou que la perte de précision de la mesure de température qu'ils sont susceptibles d'induire fait partie de la mesure réalisée, donc du coefficient de correction qui sera appliqué au capteur. Les capteurs sont testés dans une gamme de température qu'ils sont amenés à mesurer au champ, c'est-à-dire entre -20°C et +40°C. Le test étant réalisé par paliers de 5°C, 13 mesures élémentaires sont réalisées par capteur pour leur étalonnage. Compte tenu du nombre de mesures et du délais entre chaque mesure retenu lors de cette étude (> 20 mn), on ne peut réaliser plus d'une courbe étalon par jour et par capteur. Le calibrateur n'étant pas programmable, l'opérateur doit intervenir pour réaliser chaque changement de température de travail.

Afin de s'affranchir d'interactions dans l'interprétation des données recueillies, plusieurs hypothèses vont être testées, dont l'objectif finalisé définira la procédure à respecter pour l'étalonnage de ces capteurs.

Les hypothèses testées sont les suivantes :

- 1/ effet « jour de mesure » ;
- 2/ effet « voie de connexion » sur la centrale de mesure ;
- 3/ effet « centrale de mesure » ;
- 4/ effet « sens d'étalonnage » : de -20°C à +40°C ou de +40°C à -20°C ;
- 5/ effet « déplacement du capteur dans la chambre du cylindre ».

Chaque hypothèse est testée toutes choses étant égales par ailleurs, c'est-à-dire que seul l'effet testé est modifié par rapport au jour de mesure précédent et/ou suivant.

### Traitement statistique

Après une analyse graphique des données, 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 de 3 données au moins, desquelles sont calculés les écarts-types et coefficients de variations : nous interpréterons avec prudence ces critères, puisque le coefficient de variation n'est qu'une expression, en pourcentage, de l'écart-type par rapport à la moyenne.

### Écarts maximum tolérés

La définition d'écarts maximum tolérés doit être réalisée à l'esprit de l'utilisation qui sera faite des données recueillies. Dans la situation qui nous concerne, les données servent, entre-autre, à calculer des paramètres de croissance de plantes, à calculer l'évapotranspiration-potentielle pour piloter des irrigations, etc. En conséquence, nous choisissons de fixer l'erreur maximale d'estimation de la pente à 2% (coefficient de variation), ce qui représente une

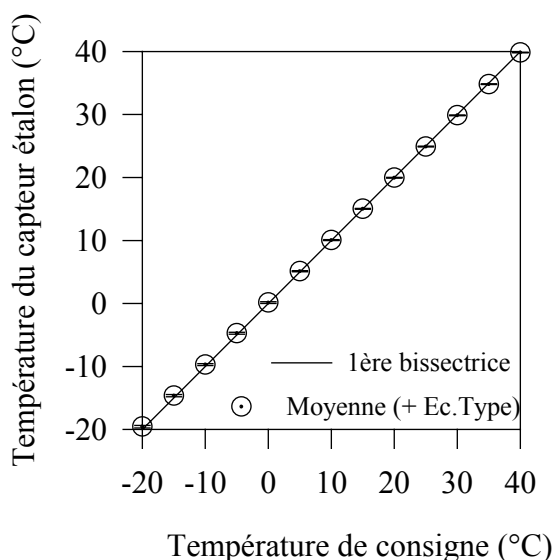
erreur de  $0,4^{\circ}\text{C}$  pour une température de l'air de  $20^{\circ}\text{C}$  réel, et nous conservons la valeur de précision du capteur de  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , annoncée par le constructeur, comme valeur d'écart-type maximale associée à l'estimation de l'ordonnée à l'origine.

## Résultats et Discussion

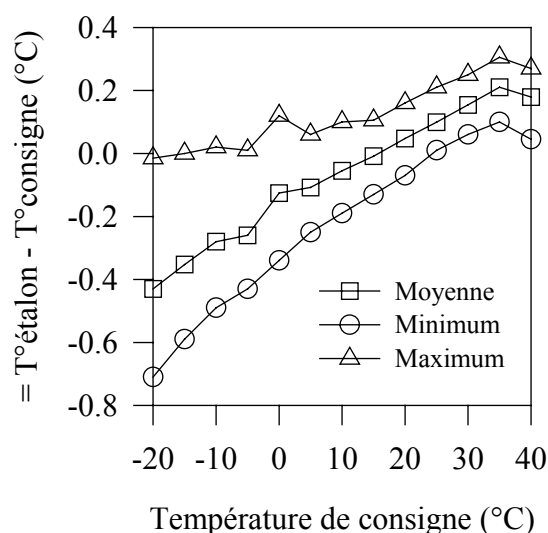
### Evolution de la température de consigne par rapport à la température du capteur étalon

*A priori*, la moyenne établie pour les différents points de consigne après 30 jours de mesures montre (*figure 1*) que la température du capteur étalon évolue de manière symétrique par rapport à la température de consigne, puisqu'elle trace une ligne qui suit une 1<sup>ère</sup> bissectrice. Néanmoins, l'amplitude de l'échelle,  $60^{\circ}\text{C}$ , masque des disparités que l'on met en évidence lorsqu'on examine les différentiels de température (*figure 2*). Ainsi, on constate un différentiel croissant de  $-20$  à  $+40^{\circ}\text{C}$ , dont l'amplitude décroît dans le même sens de  $0,7^{\circ}\text{C}$  à  $0,2^{\circ}\text{C}$ . La précision de  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  du calibrateur, annoncée par le constructeur, ne s'avère effective que dans la gamme de température variant de  $+5^{\circ}\text{C}$  à  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Il est donc important, lors d'une opération de calibration de capteurs de température, de travailler avec un capteur étalon de référence et non avec la température de consigne du calibrateur. D'autre part, il s'avère plus intéressant d'analyser les différentiels de température si l'on souhaite déceler des problèmes de fonctionnement de capteurs que de travailler avec la donnée brute, car l'amplitude de la gamme de température de travail risque de masquer des écarts qui seraient alors imperceptibles.



**Figure 1 :** Relation entre la température du capteur étalon et la température de consigne



**Figure 2 :** Différentiel de température calculé entre le capteur étalon et la température de consigne

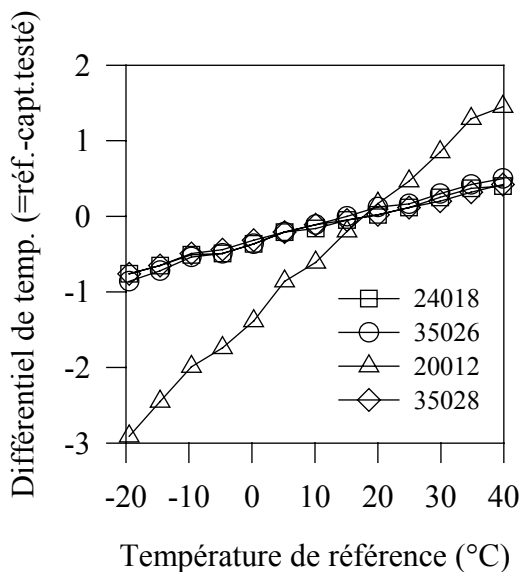
## Test des hypothèses

Pour tester chacun de ces effets, les capteurs ne sont pas déplacés durant deux jours consécutifs au moins.

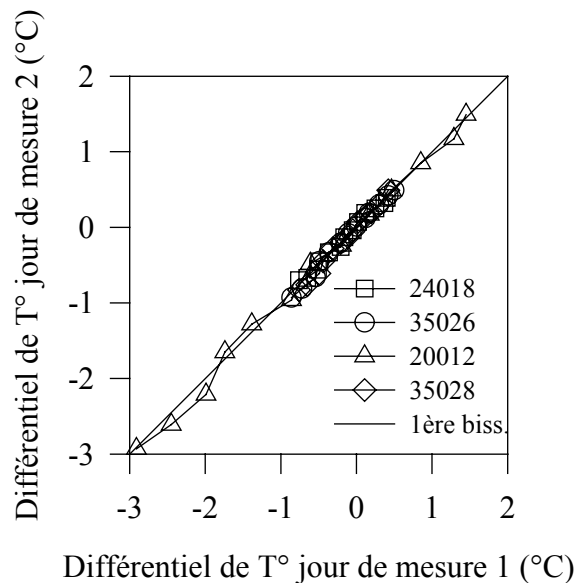
### 1/ Effet « jour de mesure »

L'analyse du différentiel de température de chaque capteur se fait par rapport à la température du capteur étalon. Les résultats produits montrent (*figure 3*) que l'on peut avoir des écarts de mesure de température importants de certains capteurs, ce qui justifie un étalonnage préalable à leur utilisation. Chaque capteur ne peut être corrigé par l'application d'un coefficient unique parce qu'aucune courbe n'est parallèle à la température du capteur de référence. Elles doivent donc faire l'objet d'un ajustement. Comme l'allure générale de chaque courbe étalon est une droite, l'ajustement retenu est de type linéaire.

Lorsque l'on compare les différentiels de mesures d'une journée à ceux d'une autre (*figure 4*), on constate que globalement, les mesures réalisées par chaque capteur suivent la première bissectrice ; ce qui est le gage de leur répétitivité.



**Figure 3** : Evolution du différentiel de température avec le capteur de référence



**Figure 4** : Comparaison du différentiel de température entre 2 jours de mesures

Après 3 jours de mesures répétition, et le calcul de chaque ajustement linéaire, on calcule les coefficients d'ajustements moyens, ainsi que leurs écarts-types et coefficients de variations (*tableau 1*). Pour le lot de capteurs considéré, 3 ont une pente de correction moyenne de 2%, et un de 8%. Les erreurs sur pente constatées sont très faibles, ce qui témoigne que les points d'étalonnage sont proches de l'alignement d'une droite ; d'où les faibles coefficients de variation constatés (< 1%). L'étude des ordonnées à l'origine montre, quant à elle, des

variations qui oscillent entre 1 et plus de 15%. Il faut cependant accepter ces résultats puisque l'écart-type le plus élevé est de 0,063, ce qui reste dans la limite de précision d'affichage de la centrale de mesure Grant (0,05°C), et inférieur à l'écart maximal toléré (0,2°C). Il faut donc conclure ici à l'absence d'effet « jour de mesure ».

Capteur n°	Etude de la pente moyenne			Etude de l'ordonnée moyenne		
	Pente	Ec. Type	C.V.(%)	Ordonnée	Ec. Type	C.V.(%)
24018	1,019	0,002	0,22	-0,339	0,036	10,60
35026	1,024	0,000	0,08	-0,392	0,014	3,48
20012	1,082	0,002	0,19	-1,495	0,023	1,51
35028	1,022	0,003	0,31	-0,403	0,063	15,76

*Tableau 1 : « Effet jour de mesure ». Paramètres des courbes d'étalonnage des capteurs de température utilisés pour le test (n = 3).*

### 2/ Effet « voie de connexion »

Pour rendre ce document plus concis, et comme la procédure est la même pour l'ensemble des hypothèses testées que celle développée dans le test de l'effet « jour de mesure », seuls les résultats des calculs seront présentés. Le capteur 24018 est remplacé par le 15010 pour des raisons techniques.

L'effet « voie de connexion » est testé en modifiant l'emplacement de connexion des capteurs sur la centrale de mesure, toutes choses étant égales par ailleurs. Les résultats montrent (*tableau 2*) que le capteur 15010 produit des données similaires au capteur de référence puisque sa pente est pratiquement égale à 1 et que l'ordonnée à l'origine est très faible. Le coefficient de variation associé à son ordonnée est important, mais présente peu de signification compte tenu du très petit écart-type. Pour les autres capteurs, les données sont similaires à la première série de test : les pentes oscillent entre 2 et 8%, les ordonnées à l'origine ont légèrement évoluées, mais varient dans la limite de 0.15°C, en présentant des écarts-types d'estimation autour de 5%.

Capteur n°	Etude de la pente moyenne			Etude de l'ordonnée moyenne		
	Pente	Ec. Type	C.V.(%)	Ordonnée	Ec. Type	C.V.(%)
15010	0,997	0,001	0,08	-0,002	0,012	654,3
35026	1,027	0,002	0,22	-0,474	0,024	5,18
20012	1,085	0,003	0,32	-1,595	0,064	4,04
35028	1,028	0,002	0,21	-0,548	0,023	4,19

*Tableau 2 : « Effet voie de connexion ». Paramètres des courbes d'étalonnage des capteurs de température utilisés pour le test (n = 3).*

Il faut donc conclure à l'absence d'effet « voie de connexion » des capteurs de température sur la centrale de mesure.

### 3/ Effet « centrale de mesure »

La centrale servant au test est remplacée par une autre de même type, puis remise la journée suivante. Les résultats montrent (*tableau 3*) que l'on obtient des données similaires

aux tests des effets précédents. La centrale de mesure n'a donc pas d'incidence sur les mesures de température réalisées.

Capteur n°	Etude de la pente moyenne			Etude de l'ordonnée moyenne		
	Pente	Ec. Type	C.V.(%)	Ordonnée	Ec. Type	C.V.(%)
15010	0,997	0,001	0,07	0,016	0,018	119,9
35026	1,028	0,001	0,11	-0,472	0,026	5,59
20012	1,084	0,003	0,30	-1,557	0,024	1,54
35028	1,029	0,001	0,11	-0,549	0,022	4,03

*Tableau 3 : « Effet centrale de mesure ». Paramètres des courbes d'étalonnage des capteurs de température utilisés pour le test (n = 4).*

#### 4/ Effet « sens d'étalonnage »

Les tests sont réalisés systématiquement dans le sens  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $+40^{\circ}\text{C}$ . C'est pourquoi l'hypothèse d'un effet « sens d'étalonnage » est étudié en travaillant dans le sens  $+40^{\circ}\text{C}$  à  $-20^{\circ}\text{C}$ . Les résultats ne montrent pas d'effet sur les pentes calculées (*tableau 4*) : les valeurs d'écart-types et les coefficients de variations restent très faibles. Il en va de même pour les valeurs d'ordonnées à l'origine, bien que les coefficients de variations soient tous supérieurs à 5%, et qu'un écart-type apparaisse supérieur à 0,1 pour la première fois.

C'est pourquoi, malgré la conclusion de l'absence d'effet du sens d'étalonnage, il faut recommander de préférer d'étalonner dans le sens  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $+40^{\circ}\text{C}$ , qui produit des résultats avec une précision meilleure.

Capteur n°	Etude de la pente moyenne			Etude de l'ordonnée moyenne		
	Pente	Ec. Type	C.V.(%)	Ordonnée	Ec. Type	C.V.(%)
15010	0,995	0,001	0,07	0,037	0,015	42,58
35026	1,026	0,001	0,07	-0,415	0,021	5,18
20012	1,086	0,003	0,33	-1,545	0,112	7,28
35028	1,029	0,002	0,20	-0,495	0,032	6,50

*Tableau 4 : « Effet sens d'étalonnage ». Paramètres des courbes d'étalonnage des capteurs de température utilisés pour le test (n = 4).*

#### 5/ Effet « déplacement du capteur »

Cet effet est testé en retirant le capteur de la chambre pour le replacer immédiatement dans la même chambre et/ou le changer de chambre. Les résultats montrent que l'effet sur les pentes reste acceptable. La pente du capteur 15010 est celle qui évolue le plus (+2,41%) par rapport aux moyennes des mesures précédentes, tandis que l'évolution de la pente des autres capteurs reste stable, avec une variation inférieure à 1% vis-à-vis des mesures précédentes. Les erreurs d'estimation des pentes sont également faibles, ce qui justifie les faibles coefficients de variations. Vis-à-vis des ordonnées, les capteurs 15010 et 35026 présentent des valeurs qui ont évolué, et globalement, les écarts-types de ces ordonnées atteignent et/ou dépassent l'écart maximal toléré ( $0,2^{\circ}\text{C}$ ) ; ceci explique que l'on observe des coefficients de variation beaucoup plus importants que lors des tests précédents. Une alternative se pose donc à nous, concernant ces deux capteurs dont l'écart maximal toléré est atteint : soit on les évince

du parc de matériels de mesure, soit on poursuit des séries de mesures jusqu'à l'estimation d'une ordonnée à l'origine meilleure : cette solution sera retenue dans le cas présent parce que l'on dispose, dans le même intervalle de mesure, d'une bonne estimation de leur pente (coefficient de variation inférieur à l'écart maximum toléré de 2%).

Capteur n°	Etude de la pente moyenne			Etude de l'ordonnée moyenne		
	Pente	Ec. Type	C.V.(%)	Ordonnée	Ec. Type	C.V.(%)
15010	1,019	0,014	1,36	-0,436	0,269	61,58
35026	1,018	0,005	0,58	-0,254	0,119	46,90
20012	1,086	0,006	0,60	-1,583	0,147	9,28
35028	1,027	0,009	0,89	-0,439	0,222	50,50

*Tableau 5 : « Effet déplacement du capteur ». Paramètres des courbes d'étalonnage des capteurs de température utilisés pour le test (n = 5).*

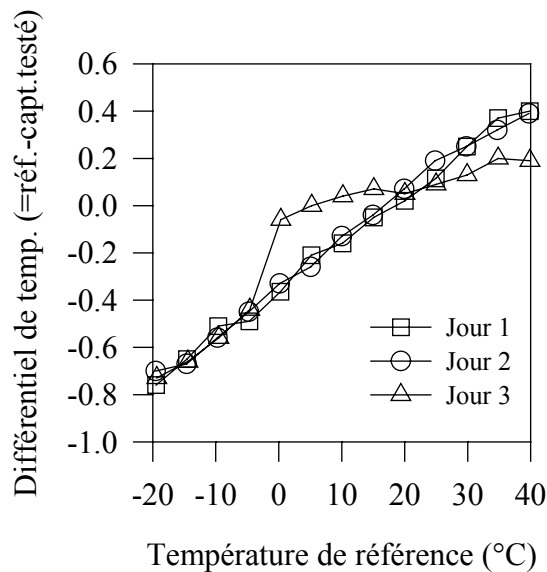
Le fait de déplacer le capteur de température n'a donc pas d'incidence significative sur la pente de l'ajustement calculé pour corriger la température mesurée par le capteur. En revanche, il semble avoir une incidence, approchant le seuil maximal toléré, pour le calcul de l'ordonnée à l'origine. Compte tenu de la nature du métal avec lequel les chambres des capteurs sont faites, un effet « changement de chambre » ne peut être retenu : la température est homogène entre elles. Ce problème d'estimation de l'ordonnée à l'origine est donc particulièrement important puisque après l'opération d'étalonnage, chaque capteur est systématiquement amené à être déplacé pour être utilisé dans une expérimentation, que ce soit au champ ou au laboratoire. Il est donc nécessaire d'avoir une idée précise de la stabilité de l'ordonnée à l'origine de chaque capteur avant de l'utiliser.

Après avoir réitéré ce test à l'aide d'un autre jeu de 4 capteurs durant 7 jours (ou 7 séries si l'on respecte un délai de 10 mn entre chaque palier de température), en déplaçant systématiquement les capteurs entre chaque jour de mesure (résultats non montrés), il s'avère qu'une estimation assez fiable de l'ordonnée à l'origine est obtenue à partir du 4<sup>ème</sup> jour de mesure. Le coefficient de variation reste dans une plage de 20 à 40% autour de cette moyenne, mais la valeur de l'écart-type n'a jamais atteint 0,1°C.

Dans la pratique expérimentale, les utilisateurs de ces capteurs savent, par expérience, qu'il est préférable de doubler chaque capteur pour la mesure d'un paramètre donné, de manière à considérer la situation où un capteur viendrait à être défectueux. Cette précaution trouve également son sens en terme de qualité de mesure puisqu'à défaut de pouvoir être très précis sur l'évaluation de l'ordonnée à l'origine de chaque capteur de température, on peut calculer la moyenne des 2 mesures répétitions, après les corrections résultant de leur étalonnage, ce qui limite le risque d'une mauvaise évaluation de l'ordonnée à l'origine d'un capteur.

#### Incident repéré en cours d'étalonnage

La réalisation de ce travail, sur plusieurs jours, a permis de mettre en évidence un problème « technique » sur l'un des capteurs de température constituant le lot initial : il s'agit d'un problème de dérive de la température lue par rapport à la température du capteur de référence (*figure 5*).



**Figure 5** : Evolution du différentiel de température d'un capteur qui se révèle défectueux après 3 jours de mesures

Ce problème aurait difficilement pu être mis en évidence si l'on se contentait d'analyser les données brutes comme nous l'avons fait à la figure 1. Par ailleurs, le fait d'étalonner les capteurs sur au moins 4 séries consécutives lors d'une première mise en service, offre davantage de chance de mettre en évidence ce genre d'incident de fonctionnement. Vouloir réaliser l'étalonnage d'un parc de capteur en établissant qu'une seule série de mesures par capteur semble donc risqué.

La question qui peut alors être posée est de savoir quel comportement avoir lors des étalonnages suivants ?

L'opérateur doit, s'il analyse régulièrement les données produites par ses matériels au cours des expérimentations, savoir si des incidents de mesures se sont produits ou pas pour un ou des capteurs de température qu'il aurait alors repéré. Dans le cas où les capteurs n'ont pas eu d'incident de mesure entre deux périodes d'étalonnage, une journée d'étalonnage peut être considérée comme suffisante si les résultats obtenus sont proches des données enregistrées lors des étalonnages précédents. Dans tous les autres cas, et pour tenir compte des résultats précédent, il est préférable de réaliser au moins 4 séries de mesures ; davantage si l'estimation de l'ordonnée à l'origine ne s'avère pas satisfaisante.

## Conclusion

Chaque capteur de température doit faire l'objet d'un étalonnage et d'une correction individualisée. Le calibrateur Técal permet de réaliser ce travail, mais doit impérativement être accompagné d'un capteur de température de précision. La courbe d'étalonnage de

température mesurée par chaque capteur impose le calcul d'une droite d'ajustement. Après avoir testé plusieurs hypothèses comme l'effet du jour de la mesure, la voie de connexion du capteur sur la centrale de mesure, la centrale de mesure elle-même, le sens d'étalonnage, cette étude montre que seul le fait de déplacer le capteur a une incidence sur l'ordonnée à l'origine de la droite d'ajustement calculée ; la pente étant stable entre plusieurs séries de mesures.

Avant de mettre en service un capteur de température sur une expérimentation, il s'avère nécessaire de réaliser au moins 4 séries d'étalonnage indépendantes pour chaque capteur de température, afin d'avoir une estimation assez fiable de l'ordonnée à l'origine.

Par ailleurs, doubler la mesure de température, pour un paramètre donné, se révèle être une précaution à respecter au cours d'une expérimentation pour pallier le défaut éventuel d'une mauvaise estimation de l'ordonnée d'un capteur de température, ou la défaillance de l'un d'entre-eux en cours de mesures.

## **Références**

DOSTMANN electronic, 2001. Precision measuring instrument T805/T815/T855. Operation manual. 14 p.

GRANT, 1994. Squirrel Série 1250, Manuel d'instruction. 28 p.

TECHNE, 1998. Instruction manual. 16 p.

VIALLE P., 2000. Un projet Qualité, une ambition pour l'INRA. *Déclaration d'engagement de la Direction Générale*. 16 mars. 1 p.