

INRA

Institut National de la Recherche Agronomique

Domaine Saint-Paul
Unité Science du Sol
Site Agroparc
84917 AVIGNON Cedex9



institut
universitaire de
technologie 1
GRENOBLE 1

IUT1 GRENOBLE1
153, rue de la papeterie
BP
38400 Saint-Martin-d'Hères

**Stage DUT Mesures Physiques
Option : Matériaux et Contrôles physico-chimiques**

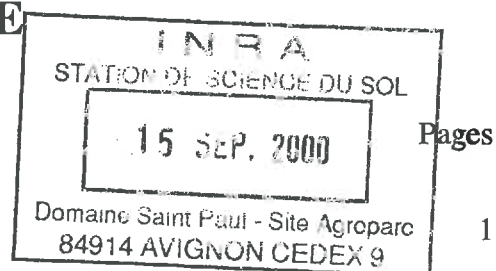
**CONCEPTION D'UNE CHAÎNE DE MESURE DE
TEMPERATURE POUR LA CARACTERISATION
THERMIQUE DES SOLS**

73

LESAGE SARAH

17 avril au 23 juin 2000

SOMMAIRE



| | Pages |
|--|-------|
| <u>INTRODUCTION</u> | 1 |
| <u>I Conception et réalisation de la chaîne de mesure</u> | 2 |
| <u>I.1 résistance platine</u> | 2 |
| <u>I.2 thermocouples</u> | 3 |
| <u>I.3 Conception des Circuits Intégrés(CI)</u> | 5 |
| <u>I.4 Assemblage des éléments dans les boîtiers</u> | 6 |
| <u>II Etalonnage des boîtiers thermocouples</u> | 6 |
| <u>II.1 Test préliminaire</u> | 6 |
| <u>II.2 Matériels Utilisés</u> | 7 |
| <u>II.3 Etalonnage de la sonde platine</u> | 8 |
| II.3.a protocole d'étalonnage | 8 |
| II.3.b programmation de la Campbell | 8 |
| <u>II.4 Etalonnage des thermocouples</u> | 9 |
| II.4.a protocole d'étalonnage | 9 |
| II.4.b programmation de la Campbell | 10 |
| <u>II.5 Mesures et résultats de l'étalonnage</u> | 10 |
| <u>III Tests et problèmes physiques rencontrés</u> | 14 |
| <u>III.1 Gradient thermique</u> | 14 |
| <u>III.2 Limitation du gradient thermique</u> | 16 |
| <u>CONCLUSION</u> | 21 |
| <u>BIBLIOGRAPHIE</u> | |

ANNEXES

- Annexe 1** : Certificat d'étalonnage du PJ6522
- Annexe 2** : CR10X
- Annexe 3** : AM416
- Annexe 4** : Programmes
- Annexe 5** : Fiche de protocole
- Annexe 6** : Résultat de l'étalonnage
- Annexe 7** : Courbes d'étalonnage
- Annexe 8** : Listes du matériel utilisé

Listes des figures

| | Pages |
|--|-------|
| <u>Schéma 1</u> : Montage demi-pont 4 fils | 3 |
| <u>Schéma 2</u> : Thermocouples | 4 |
| <u>Tableau 1</u> : Les différents types de thermocouples et leurs caractéristiques | 4 |
| <u>Tableau 2</u> : Les polynômes d'approximation | 5 |
| <u>Schéma 3</u> : Typon 10 thermocouples | 6 |
| <u>Schéma 4</u> : Typon 12 thermocouples | 6 |
| <u>Graphe 1</u> : Comparaison de la température d'un thermocouple relié ou non à la terre | 8 |
| <u>Schéma 5</u> : Montage pour l'étalonnage de la sonde platine | 9 |
| <u>Tableau 3</u> : Instruction pour la mesure de la température de la sonde platine | 10 |
| <u>Schéma 6</u> : Montage pour l'étalonnage des thermocouples | 11 |
| <u>Tableau 4</u> : Instruction pour la mesure de la température des thermocouples | 12 |
| <u>Graphe 2</u> : Courbe d'étalonnage de la sonde platine n°1 | 13 |
| <u>Graphe 3</u> : Courbe des résidus de la sonde platine | 13 |
| <u>Graphe 4</u> : Evolution de la température des thermocouples | 15 |
| <u>Graphe 5</u> : Quantification du gradient thermique | 16 |
| <u>Graphe 6</u> : Evolution de la température des thermocouples (mousse) | 17 |
| <u>Graphe 7</u> : Quantification du gradient thermique (mousse) | 18 |
| <u>Graphe 8</u> : Evolution de la température des thermocouples (mousse et laine de verre) | 18 |
| <u>Graphe 9</u> : Quantification du gradient thermique (mousse et laine de verre) | 19 |
| <u>Graphe 10</u> : Evolution de la température des thermocouples (carré de mousse sur sonde) | 19 |
| <u>Graphe 11</u> : Quantification du gradient thermique (carré de mousse sur sonde) | 20 |
| <u>Graphe 12</u> : Evolution de la température des thermocouples (nouveaux plots) | 20 |
| <u>Graphe 13</u> : Quantification du gradient thermique (nouveaux plots) | 21 |
| <u>Tableau 5</u> : Gradient thermique mesuré pour divers isolants | 21 |

REMERCIEMENTS

En premier, je tiens à faire part du plaisir que j'ai eu d'effectuer mon stage de fin d'étude à l'INRA d'Avignon dans la Station de Science du Sol.

Je remercie André CHANZY, directeur de l'unité, de m'avoir accueilli au sein de la station.

Je remercie Olivier MARTIN qui s'est beaucoup investi dans mon encadrement et qui s'est montré patient, Claude DOUSSAN qui m'a conseillée, Dalila MOHRATH qui m'a acceptée dans son bureau.

Je n'oublie pas Ghislain, Micheline, Dominique, Patrice... pour les bons moments passés ensemble et toutes les personnes de l'Unité de Science du Sol pour l'ambiance chaleureuse et accueillante.

RESUME

La station de Science du Sol a besoin de connaître les caractéristiques des sols pour ses études. Elle utilise divers capteurs tel que sondes de platine, thermocouples, Capteurs d'humidité... Pour la mesure de température, l'unité utilise des boîtiers de thermocouples. En cours d'utilisation de ces boîtiers, elle est mise face à un problème physique. En effet les mesures révélaient la présence d'un gradient thermique.

L'objectif premier de mon stage a été la réduction du gradient thermique entre la jonction froide des thermocouples et la température de référence.

La conception de nouveaux boîtiers semblait indispensable. L'utilisation de capteurs impose la mise en place d'un protocole d'étalonnage différent pour chaque éléments (thermocouples et résistances de platine).

Un essai est entrepris pour quantifier le gradient thermique. Puis diverses modifications sont apportées pour réduire l'importance de ce gradient.

INTRODUCTION

Ce stage de fin d'études s'est déroulé à l'INRA dans l'Unité de Science du Sol d'Avignon.

Le but de cette unité est d'améliorer les connaissances sur le processus de transport de masse et d'énergie tels que la chaleur dans les sols et les milieux poreux et le couplage entre les processus physiques et biogéochimiques déterminant la qualité de la solution du sol. Cette unité se divise en deux équipes :

- Couplage entre transport et processus biogéochimiques dans les sols.
- Processus de transport dans les milieux poreux.

Leurs applications se situent au niveau des problèmes d'environnement et aussi de l'optimisation des facteurs du milieu pour la croissance et le développement des couverts végétaux. Pour améliorer leurs recherches, les équipes utilisent des méthodes de modélisation, c'est pourquoi elles se doivent de connaître le plus grand nombre de caractéristiques sur divers sols notamment des caractéristiques de transfert de masse ou d'énergie. Pour caractériser les sols, il y a besoin de tout un ensemble de capteurs comme des thermocouples, des sondes de platine, des capteurs de flux thermique, des capteurs d'humidité, des tensiomètres... En conséquence, j'ai été chargée d'améliorer une chaîne de mesure de température par les thermocouples afin d'optimiser les mesures.

Dans une première partie, sont abordées la conception et la réalisation des boîtiers contenant 10 et 12 thermocouples avec résistance de platine comme référence, la méthode utilisée pour la mesure de température et le choix des divers capteurs.

Une deuxième partie traitera de l'étalonnage avec la mise au point d'un protocole d'étalonnage ainsi que d'un programme permettant l'acquisition et la transformation des données en température de même que les multiples opérations nécessaires aux traitements des données pour aboutir aux résultats d'étalonnages.

Enfin dans une troisième partie, des tests sont effectués sur les boîtiers, l'explication des problèmes physiques rencontrés et montré les moyens pour y remédier. En effet des mesures antérieures ont montré qu'il existe un gradient de température entre la température de référence et les jonctions froides des thermocouples. Ces tests ont pour but d'essayer diverses configurations d'isolants et de plots afin de limiter les problèmes de différence de température à l'intérieur du boîtier et ainsi obtenir des mesures plus justes.

I Conception et réalisation de la chaîne de mesure

I.1 résistance platine

La résistance de platine permet de connaître, de manière directe, la température en un point précis. La résistance de platine sert, par la suite, de référence pour les thermocouples. Cette sonde est placée, dans un boîtier où sont regroupées les jonctions froides, de façon à obtenir une température qui reflète au mieux celle des jonctions froides des thermocouples.

Il existe divers types de montage pour la sonde platine, permettant la mesure de la température. Le montage utilisé est le demi-pont 4 fils (**Schéma 1**) car il est plus précis parmi les nombreux montages ; il est basé sur le principe de la comparaison de deux tensions donc l'erreur est minimisée.

En effet, pour calculer la température, on compare la résistance platine à une résistance de référence qui varie très peu avec la température.

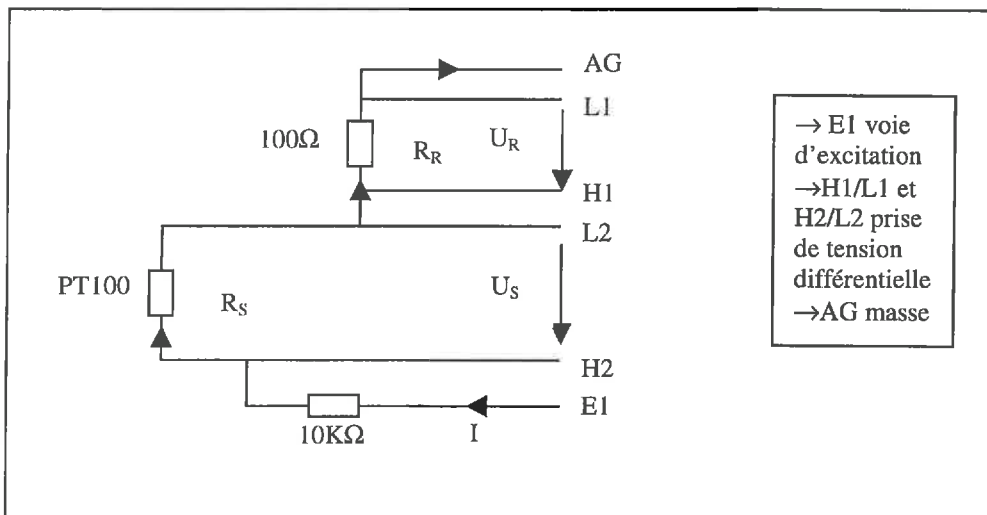


Schéma 1 : Montage demi-pont 4 fils

Le rôle de la résistance de $10\text{ k}\Omega$ est d'injecter une tension d'excitation importante ; ce qui permet de s'assurer que le bruit qui pourrait venir de la centrale d'acquisition n'intervient pas dans le signal.

AG représente la masse, E1 la voie d'excitation et H2/L2 et H1/L1 des prises de tension différentielle. R_S est la résistance de platine de $100\ \Omega$ qui varie en fonction de la température et R_R une résistance de référence de $100\ \Omega$ avec une précision de $0.01\ \%$ qui varie de l'ordre de $10\text{ ppm}/^\circ\text{C}$.

Ce qui est recherché, c'est la connaissance de la valeur de la résistance platine donc de la température.

Le courant est identique de E1 à AG, on obtient :

$$I = \frac{U_S}{R_S} = \frac{U_R}{R_R} = \frac{U_{SO}}{R_{SO}}$$

$$\frac{U_S}{U_R} = \frac{R_S}{R_R}$$

$$\frac{U_S}{U_{S0}} = \frac{R_S}{R_{S0}}$$

$$\frac{R_S}{R_{S0}} = \frac{R_S}{R_R} * \frac{R_R}{R_{S0}} = \frac{U_S}{U_R} * \frac{U_R}{U_{S0}}$$

R_{S0} correspond à la valeur de la résistance platine à $T = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Connaissant la valeur du rapport R_S/R_{S0} , la déduction de la température se fait grâce à la relation qui le lie à t : $R_S/R_{S0} = 1 + At + Bt^2$. La température est calculée par une opération d'exécution de la Campbell (centrale d'acquisition) (II.3.b).

I.2 thermocouples

Le thermocouple fonctionne selon le principe suivant : si un gradient de température est présent entre deux conducteurs de nature différente alors le flux de chaleur créé un mouvement d'électrons donc une FEM (force électromotrice), c'est l'effet seebeck. L'amplitude et la direction de cette FEM dépendent des matériaux utilisés et du gradient de température. Cette tension mesurée est directement proportionnelle à la différence de température (schéma 2).

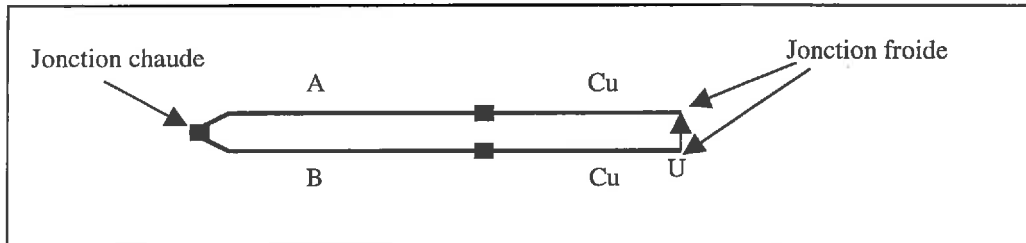


Schéma 2 : Thermocouple

Il existe huit types de thermocouples : type R, S, B, K, T, J, E et N

| Type | R | S | B | K |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| Matériau Utilisé | platine rhodié 13% platine | Platine rhodié 10% Platine | Platine rhodié 30% Platine rhodié 10% | Nickel-chrome Nickel-aluminium |
| Domaine De Température en °C | -50 à +1768 | -50 à +1768 | 0 à +1820 | -270 à +1372 |

| Type | T | J | E | N |
|------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|---|
| Matériau Utilisé | cuivre cuivre-nickel | Fer Cuivre-nickel | Nickel-chrome Cuivre-nickel | Nickel-chrome-silicium Nickel-silicium |
| Domaine De Température en °C | -270 à +400 | -210 à +1200 | -270 à +1000 | -270 à +1300 |

Tableau 1 : Les différents types de thermocouples et leurs caractéristiques

Le thermocouple de type K est choisi car c'est celui utilisé habituellement au laboratoire. Le thermocouple de type T aurait été plus approprié dans la gamme de mesure utilisée (- 5 °C à + 50 °C). Des boîtiers de sondes platine auraient pu être utilisés car ces capteurs sont plus précis que les thermocouples. Or, quand il y a nécessité de se servir de plusieurs capteurs les sondes platines occupent deux fois plus de voie de mesures (4 pour la sonde platine contre 2 pour les thermocouples).

Pour connaître la différence de température entre la jonction froide et la jonction chaude, il faut déterminer la FEM. Pour cela, un microvoltmètre est utilisé. En fait, c'est la centrale d'acquisition qui fait la mesure.

Une fois la tension mesurée, il faut convertir cette tension en température soit en regardant les tables de références correspondant au type de thermocouples utilisé soit en se servant des polynômes d'approximation à l'aide du programme Campbell sur PC208W (Tableau 2).

Polynômes d'approximation des courbes de thermocouples.

Pour application sur ordinateur.

Les erreurs résultant de leur utilisation seront inférieures au dernier chiffre significatif des tables des thermocouples.

| K | T | J | E | R | S | B |
|---|---|--|---|---|---|--|
| Plage de température -270 °C à +9 °C | Plage de température -270 °C à +9 °C | Plage de température +210 °C à +270 °C | Plage de température -270 °C à +0 °C | Plage de température -50 °C à +630 °C | Plage de température -50 °C à +630 °C | Plage de température -0 °C à +1600 °C |
| Degré 10 | Degré 14 | Degré 7 | Degré 13 | $E = \sum_{i=0}^7 a_i (t/50)^i \mu V$ | $E = \sum_{i=0}^6 a_i (t/50)^i \mu V$ | Degré 8 |
| Coefficients Puissance | Coefficients Puissance | Coefficients Puissance | Coefficients Puissance | Coefficients Puissance | Coefficients Puissance | Coefficients Puissance |
| 3,9475423139 × 10 ⁻¹¹ T | 3,8740773840 × 10 ⁻¹¹ T | 5,0372753027 × 10 ⁻¹¹ T | 5,8695857799 × 10 ⁻¹¹ T | 5,8695857799 × 10 ⁻¹¹ T | 5,8695857799 × 10 ⁻¹¹ T | -2,4874601620 × 10 ⁻¹¹ T |
| 2,7482251138 × 10 ⁻¹² T ² | 4,4123932482 × 10 ⁻¹² T ² | 3,0425481284 × 10 ⁻¹² T ² | 3,1667517705 × 10 ⁻¹² T ² | 3,1667517705 × 10 ⁻¹² T ² | 3,1667517705 × 10 ⁻¹² T ² | 5,9102111169 × 10 ⁻¹² T ² |
| -1,5555406715 × 10 ⁻¹³ T ³ | 1,1405238498 × 10 ⁻¹³ T ³ | -8,5699750454 × 10 ⁻¹³ T ³ | -4,4652683347 × 10 ⁻¹³ T ³ | -4,4652683347 × 10 ⁻¹³ T ³ | -4,4652683347 × 10 ⁻¹³ T ³ | -1,4307123430 × 10 ⁻¹² T ³ |
| -1,5190912032 × 10 ⁻¹⁴ T ⁴ | 1,9074405588 × 10 ⁻¹⁴ T ⁴ | 1,3348625735 × 10 ⁻¹⁴ T ⁴ | -1,7546270905 × 10 ⁻¹⁴ T ⁴ | -1,7546270905 × 10 ⁻¹⁴ T ⁴ | -1,7546270905 × 10 ⁻¹⁴ T ⁴ | 2,1509149750 × 10 ⁻¹⁴ T ⁴ |
| -2,4311670594 × 10 ⁻¹⁵ T ⁵ | 9,0485401187 × 10 ⁻¹⁵ T ⁵ | -1,7022405968 × 10 ⁻¹⁵ T ⁵ | -4,8718588427 × 10 ⁻¹⁵ T ⁵ | -4,8718588427 × 10 ⁻¹⁵ T ⁵ | -4,8718588427 × 10 ⁻¹⁵ T ⁵ | -3,1757600720 × 10 ⁻¹⁵ T ⁵ |
| -2,4757917215 × 10 ⁻¹⁶ T ⁶ | 2,2766918504 × 10 ⁻¹⁶ T ⁶ | 1,9416091001 × 10 ⁻¹⁶ T ⁶ | -8,8896550447 × 10 ⁻¹⁶ T ⁶ | -8,8896550447 × 10 ⁻¹⁶ T ⁶ | -8,8896550447 × 10 ⁻¹⁶ T ⁶ | 2,4010067459 × 10 ⁻¹⁶ T ⁶ |
| -1,5845276173 × 10 ⁻¹⁷ T ⁷ | 3,8247409380 × 10 ⁻¹⁷ T ⁷ | -9,9391844858 × 10 ⁻¹⁷ T ⁷ | -1,0900757375 × 10 ⁻¹⁷ T ⁷ | -1,0900757375 × 10 ⁻¹⁷ T ⁷ | -1,0900757375 × 10 ⁻¹⁷ T ⁷ | -9,0928148159 × 10 ⁻¹⁷ T ⁷ |
| -5,3779921255 × 10 ⁻¹⁸ T ⁸ | 3,8648924201 × 10 ⁻¹⁸ T ⁸ | +760 °C à +1200 °C | -9,1794535009 × 10 ⁻¹⁸ T ⁸ | -9,1794535009 × 10 ⁻¹⁸ T ⁸ | -9,1794535009 × 10 ⁻¹⁸ T ⁸ | 1,3299505137 × 10 ⁻¹⁸ T ⁸ |
| -1,2633801216 × 10 ⁻¹⁹ T ⁹ | 2,8298679518 × 10 ⁻¹⁹ T ⁹ | Degré 5 | -5,2575158521 × 10 ⁻¹⁹ T ⁹ | -5,2575158521 × 10 ⁻¹⁹ T ⁹ | -5,2575158521 × 10 ⁻¹⁹ T ⁹ | |
| -1,1382797374 × 10 ⁻²⁰ T ¹⁰ | 1,4281383949 × 10 ⁻²⁰ T ¹⁰ | 2,9721751778 × 10 ⁻¹¹ — | -2,0189601996 × 10 ⁻¹⁹ T ¹⁰ | -2,0189601996 × 10 ⁻¹⁹ T ¹⁰ | -2,0189601996 × 10 ⁻¹⁹ T ¹⁰ | |
| $t \text{ à } 1372 \text{ °C}$ | 4,8833254364 × 10 ⁻¹⁹ T ¹¹ | -1,5059832873 × 10 ⁻¹¹ T | -4,9502138782 × 10 ⁻¹⁹ T ¹¹ | -4,9502138782 × 10 ⁻¹⁹ T ¹¹ | -4,9502138782 × 10 ⁻¹⁹ T ¹¹ | |
| Degré 8 + exp. | 1,5933474683 × 10 ⁻²¹ T ¹¹ | 3,2651064215 × 10 ⁻¹¹ T ² | -7,0177986533 × 10 ⁻¹⁹ T ¹² | -7,0177986533 × 10 ⁻¹⁹ T ¹² | -7,0177986533 × 10 ⁻¹⁹ T ¹² | |
| -1,2533063273 × 10 ⁻¹¹ — | 1,5949291026 × 10 ⁻¹⁹ T ¹² | -3,2210174230 × 10 ⁻¹¹ T ³ | -4,9671808468 × 10 ⁻¹⁹ T ¹³ | -4,9671808468 × 10 ⁻¹⁹ T ¹³ | -4,9671808468 × 10 ⁻¹⁹ T ¹³ | |
| 3,8918344812 × 10 ⁻¹¹ T | 7,9795893156 × 10 ⁻¹⁹ T ¹³ | 1,5849998756 × 10 ⁻¹¹ T ⁴ | | | | |
| 1,8643154356 × 10 ⁻¹¹ T ² | | -3,1239901752 × 10 ⁻¹⁹ T ⁴ | | | | |
| -7,8702374448 × 10 ⁻¹¹ T ³ | | | | | | |
| 2,2835765557 × 10 ⁻¹¹ T ⁴ | | | | | | |
| -5,5700231258 × 10 ⁻¹¹ T ⁵ | | | | | | |
| 2,9032909135 × 10 ⁻¹¹ T ⁶ | | | | | | |
| -1,2843848798 × 10 ⁻¹¹ T ⁷ | | | | | | |
| 2,2239974336 × 10 ⁻¹¹ T ⁸ | | | | | | |
| $+ 125 \text{ exp} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{T-127}{65} \right)^2 \right]$ | | | | | | |
| | -3,0927581896 × 10 ⁻¹¹ T ⁹ | | | | | |
| | 4,583337165 × 10 ⁻¹¹ T ¹⁰ | | | | | |
| | -2,7616879040 × 10 ⁻¹¹ T ¹¹ | | | | | |

Tableau 2 : les polynômes d'approximation

La mesure de la différence de température entre les deux jonctions ne suffit pas pour connaître la température réelle. Une température de référence est nécessaire. Celle-ci est donnée par la résistance de platine.

De même pour la résistance platine, la Campbell permet grâce à une instruction de déterminer directement la température totale (I.4.b).

En effet, pour obtenir la température d'un thermocouple le calcul suivant est utilisé :

$$T_{\text{thermo}} = T_{\text{ref}} + \Delta T$$

Soit
$$T_{\text{thermo}} = T_{\text{ref}} + (T_{\text{jc}} - T_{\text{jf}})$$

Où T_{jc} est la température de jonction chaude, T_{jf} la température de jonction froide, T_{ref} la température de référence et T_{thermo} la température du thermocouple. D'où si T_{jc} est constant et que $T_{\text{jf}} < T_{\text{ref}}$, une température de thermocouple supérieur à T_{jc} est obtenue, ce qui pose problème, de même si $T_{\text{jf}} > T_{\text{ref}}$.

I.3 Conception des Circuits Intégrés (CI)

Deux types de montage sont réalisés pour les besoins de l'unité, l'un comportant 10 thermocouples (**Schéma 3**) et l'autre 12 thermocouples (**Schéma 4**). Le premier va servir dans le cadre d'un projet de recherches portant sur l'étude des effets de la structure du sol de la couche travaillée sur les émissions d'oxyde nitreux (N_2O). Le deuxième sera utile pour l'instrumentation d'un lysimètre.

Les circuits sont conçus de façon que la sonde platine soit le plus près possible des jonctions froides afin d'obtenir une température de référence reflétant au maximum la température aux bornes des jonctions froides ; d'où une disposition de ceux-ci autour de la sonde platine.

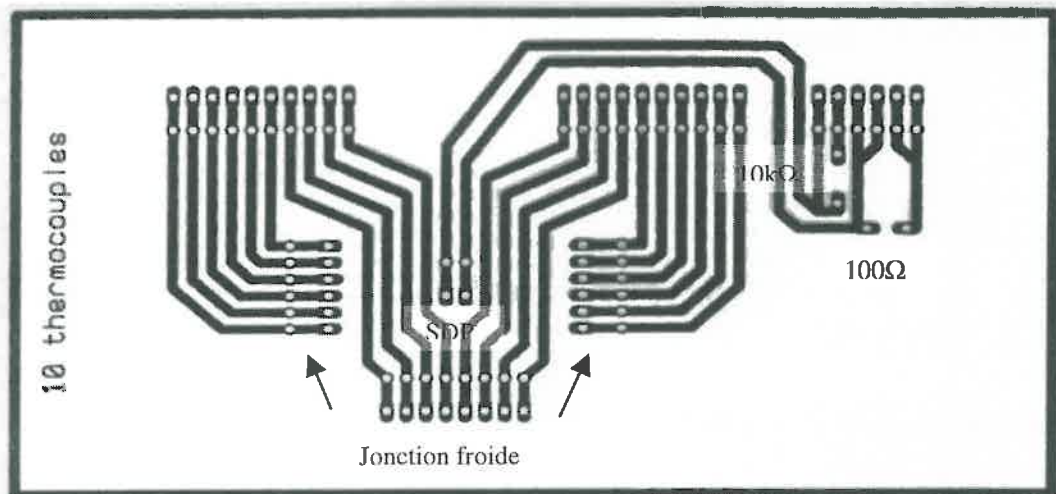


Schéma 3 : Typon 10 thermocouples

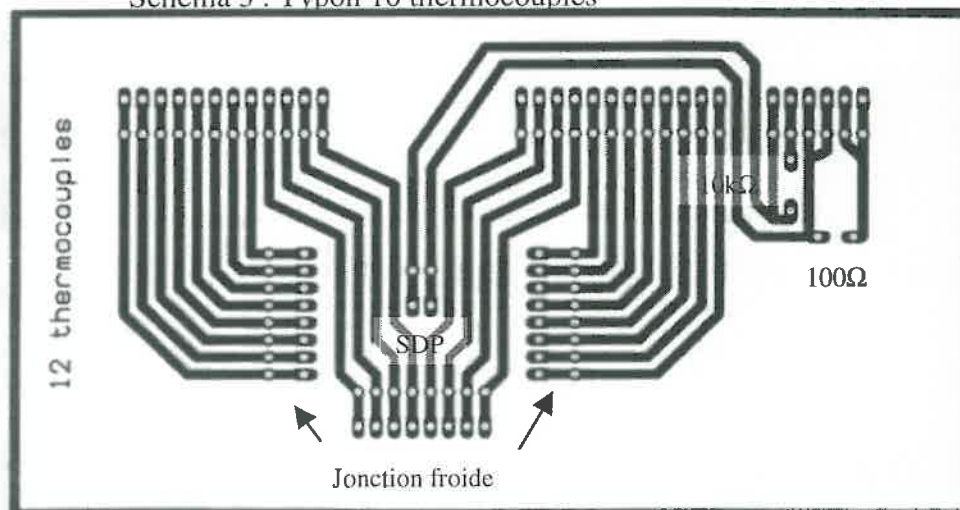


Schéma 4 : Typon 12 thermocouples

Les typons sont réalisés sur PC avec le logiciel Board Maker. Par la suite, les plaques de cuivre présensibilisées où les typons reposent, sont insolées à l'aide d'une lampe à UV, révélées avec le révélateur CI (Circuit Imprimé). Pour ôter le cuivre en excès, les plaques de cuivre traitées sont plongées dans le perchlorure de fer jusqu'à l'apparition des pistes.

I.4 Assemblage des éléments dans les boîtiers

Les circuits imprimés obtenus, des borniers de connexion (MPT0.5/10-2.54) sont installés à l'emplacement des jonctions froides, des câbles d'extension et de la sonde platine. La résistance de référence de 100 Ω connue à 0.01% près et la résistance de 10 k Ω sont soudées sur les plaques.

Les plaquettes sont mises dans des boîtiers en polycarbonate (230×140×90) d'indice IP67 (les éléments internes sont protégés de la poussière, de l'humidité et de l'eau sous pression) préalablement percés soit à l'aide d'une perceuse soit à l'aide d'un emporte-pièce et adjoints de presse étoupes permettant de faire passer des câbles ou gaines tout en maintenant une bonne étanchéité des boîtiers. Ces circuits sont fixés sur des planchettes de plastique tendre qui elles-mêmes sont vissées au fond des boîtiers.

Il y a deux diamètres différents de presse-étoupe : - \varnothing 6 mm pour les thermocouples.

- \varnothing 20 mm pour les câbles d'extension.

II Etalonnage des boîtiers thermocouples

Le choix d'un protocole d'étalonnage est réalisé parmi deux stratégies différentes:

- Etalonnage global de la chaîne.
- Etalonnage par éléments séparés.

L'étalonnage global de la chaîne de mesure est choisi car il permet d'obtenir directement l'incertitude globale, de plus il nécessite moins de temps pour l'effectuer ainsi que pour le traitement des données. Si l'étalonnage par éléments séparés avait été préféré, à la fin de l'étalonnage, la chaîne complète aurait dû être retestée et les calculs étaient compliqués pour obtenir l'incertitude globale.

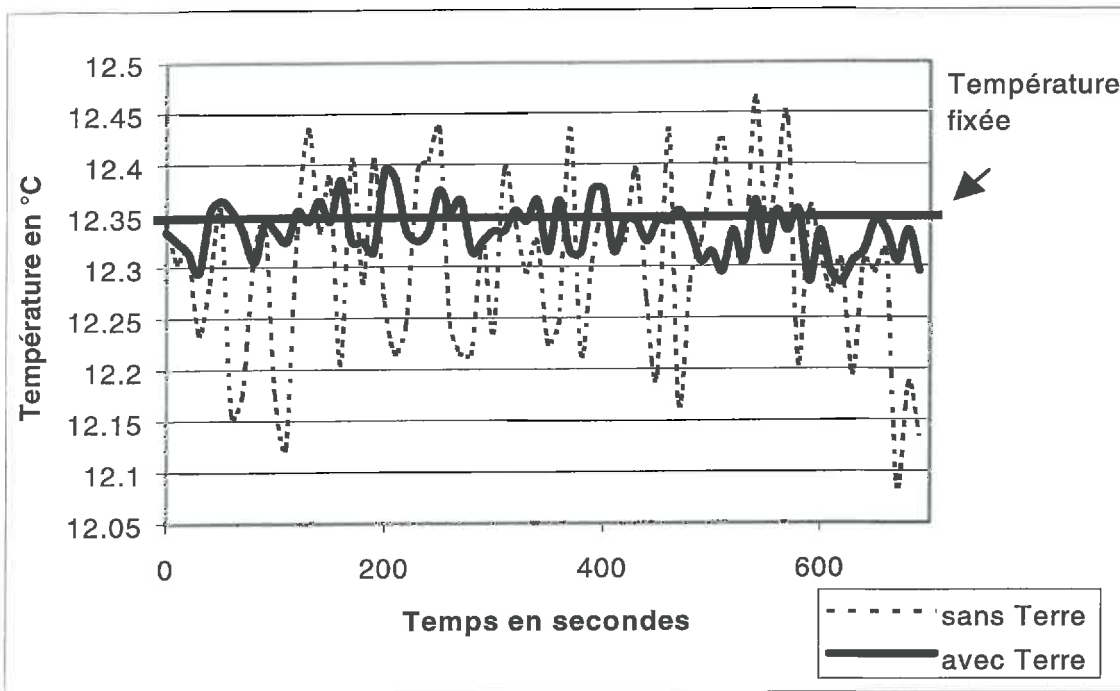
L'étalonnage a lieu dans une pièce climatisée pour obtenir une température constante durant toute la manipulation. L'étalonnage des boîtiers s'effectue en deux temps :

- 1- étalonnage de la résistance platine pour les 4 boîtiers
- 2- étalonnage des thermocouples

La centrale d'acquisition donne la possibilité de calculer directement la température des thermocouples en connaissant la température de référence (donnée par la résistance platine).

II.1 Test préliminaire

Avant de commencer les mesures d'étalonnage, une série de mesures est prise pour confirmer qu'il est important de relier la centrale d'acquisition à la Terre.



Graph 1 : Comparaison de la température d'un thermocouple relié ou non à la Terre

Une observation du graphe permet de voir l'importance de la mise à la Terre. En effet si la centrale n'est pas reliée à la Terre la température subit une fluctuation de l'ordre de 0,15 °C tandis que si elle est reliée cette fluctuation n'est plus que de 0,05 °C (**Graph 1**).

II.2 Matériels Utilisés

Pour l'étalonnage, de multiples matériels sont à disposition. L'enceinte climatique (armoire climatique MEMMERT type ICE700 ± 0.2 °C en régulation et 1.5 °C en homogénéité) est utilisée lors de l'étalonnage des résistances de platine. Un bain thermostaté sert pour l'étalonnage des thermocouples. Un thermomètre de précision (PJ 6522) est utilisé pour prendre la température qui servira de référence lors du traitement des données. Il mesure des températures grâce à une sonde de platine. Il possède une résolution de 0.1 °C et est utilisable entre - 100 °C et + 300 °C avec une incertitude de ± 0.11 °C (**Annexe 1**). Pour l'acquisition des diverses données, une centrale d'acquisition de type Campbell CR10X (**Annexe 2**) est utilisée et deux multiplexeurs AM416 (**Annexe 3**) sont rajoutés pour câbler les 44 thermocouples issus des 4 boîtiers (2 de 10 thermocouples et 2 de 12 thermocouples).

L'alimentation de la centrale d'acquisition est assurée par une batterie de 12 V. C'est la configuration des manipulations sur le terrain

L'utilisation de l'ordinateur est nécessaire pour charger le programme d'acquisition et collecter les données. Ce transfert à lieu avec l'aide d'une liaison série RS232. Le programme est élaboré à l'aide du logiciel PC208W. Ce langage est propre à la Campbell où chaque instruction est représentée par un code numérique.

II.3 Etalonnage de la sonde platine

II.3.a protocole d'étalonnage

Les quatre boîtiers couverts enlevés sont placés dans l'enceinte climatique dont la température varie de 5 °C en 5 °C pour des températures comprises entre 5 °C et 45 °C. Comme la température interne de l'enceinte n'est pas précise, un thermomètre de précision (PJ 6522) est rajouté.

Le montage de la sonde platine est relié au multiplexeur (AM416) qui lui-même est relié à la CR10X puis à l'ordinateur par une liaison série de type RS232 (schéma 5). Le but de cette manipulation est de déterminer les coefficients d'étalonnage de la résistance de platine a et b utilisés dans l'équation $\theta = a T_{SDP} + b$.

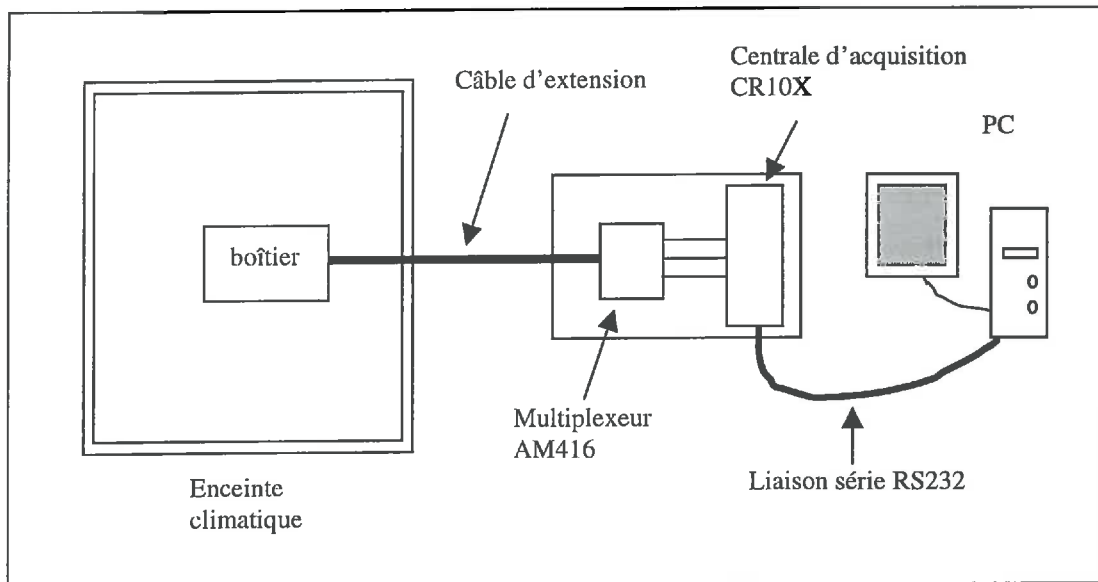


Schéma 5 : Montage pour l'étalonnage de la sonde platine

II.3.b programmation de la Campbell

Pour utiliser la centrale d'acquisition, un programme est réalisé. Il a pour but la lecture des tensions aux bornes du montage demi-pont 4 fils et la transformation de celles-ci en températures. Deux instructions suffisent pour l'obtention de la température. Il faut rajouter les instructions de lecture, de paramétrage des ports de contrôle et de sauvegarde (tableau 3 et Annexe 4).

| | |
|--|--|
| <p>2 : Volt(Diff) (P2)</p> <p>1 :1 Reps</p> <p>2 :34 250 mV 50Hz Rejection Range</p> <p>3 :6 DIFF Channel</p> <p>4 :1 Loc [tempref]</p> <p>5 :1 Mult</p> <p>6 :0 Offset</p> | <p>Permet de mesurer la température de référence car le thermomètre génère une tension de 0.1mV/°C.</p> |
| <p>3 :Full Bridge w/mv Excit (P9)</p> <p>1 :1 Reps</p> <p>2 :33 25mV 50Hz Rejection Ex Range</p> <p>3 :33 25mV 50Hz Rejection Br Range</p> <p>4 :1 Diff Channel</p> <p>5 :2 Excite all reps w/Exchan 2</p> <p>6 :2100 mV Excitation</p> <p>7 :2 Loc [Rs_Ro1]</p> <p>8 :1 Mult</p> <p>9 :0 Offset</p> | <p>Cette instruction permet de calculer le rapport R_S/R_{S0} en envoyant une tension d'excitation de 2100mV.</p> |
| <p>4 :Temperature RTD (P16)</p> <p>1 :1 Reps</p> <p>2 :2 R/R0 Loc [Rs_Ro1]</p> <p>3 :3 Loc [tempSDP1]</p> <p>4 :1 Mult</p> <p>5 :0 Offset</p> | <p>Cette instruction permet de transformer le rapport mesuré précédemment en température à l'aide d'un polynôme.</p> |

Tableau 3 : instruction pour la mesure de la température de la sonde platine

II.4 Etalonnage des thermocouples

II.4.a protocole d'étalonnage

Les boîtiers sont placés dans l'enceinte climatique sans couvercle, à une température constante de 20 °C. Les thermocouples sont plongés dans un bain thermostaté contenant un liquide antigel (de l'éthanol). La température de ce bain varie de 0 °C à 45 °C par pas de 5 °C.

Pour connaître la température exacte du bain, un thermomètre étalon est rajouté. Les sorties des multiplexeurs sont câblées sur la centrale CR10X. Celle-ci, via un logiciel, enregistre et restitue les données mesurées (**Schéma 6**). Le but de cette manipulation est de déterminer les coefficients d'étalonnage des thermocouples a et b qui seront essentiels à l'utilisation des boîtiers.

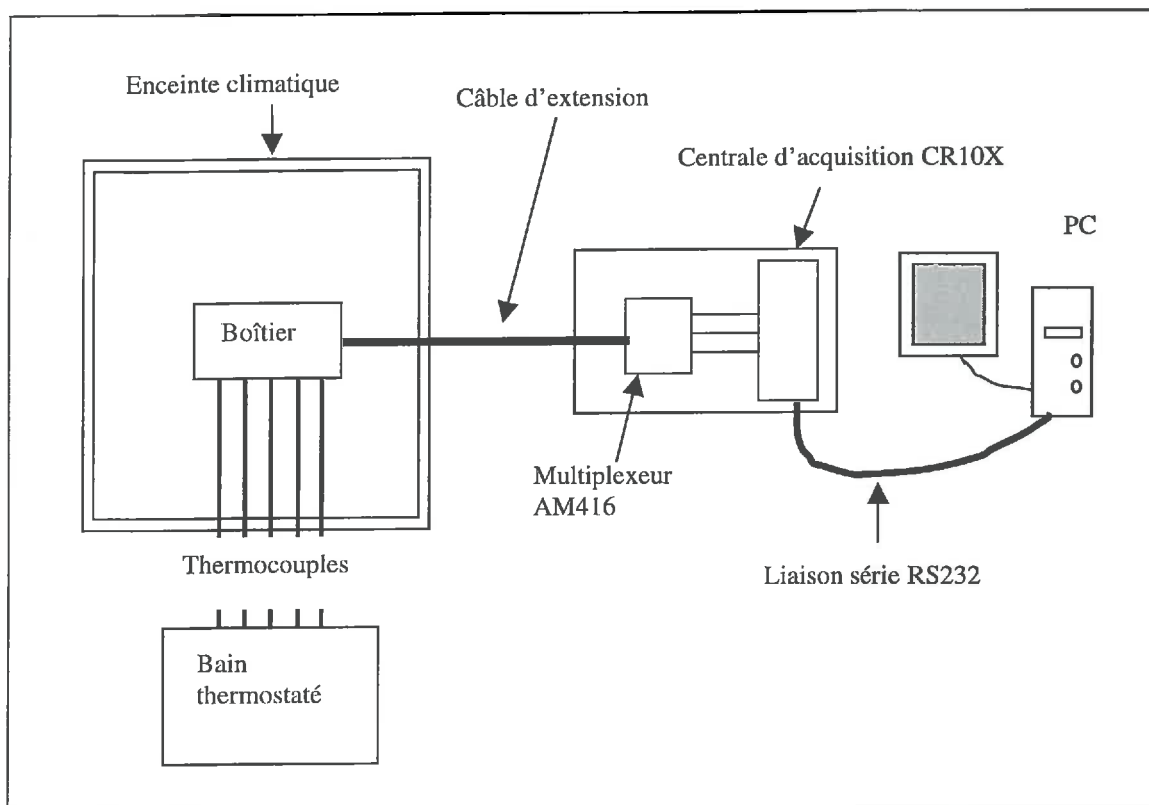


Schéma 6 : Montages pour l'étalonnage des thermocouples

II.3.b programmation de la Campbell

La programmation de la CR10X est nécessaire pour l'acquisition des tensions aux bornes des thermocouples. Celles-ci sont directement transformables à l'aide de l'instruction P14. Il convient de programmer la mesure de la température de référence en ajoutant les coefficients d'étalonnage obtenus pour les sondes platines. Naturellement, des instructions de paramétrage de ports et de sauvegarde sont requises pour la bonne exécution du programme (**tableau 4 et Annexe 4**).

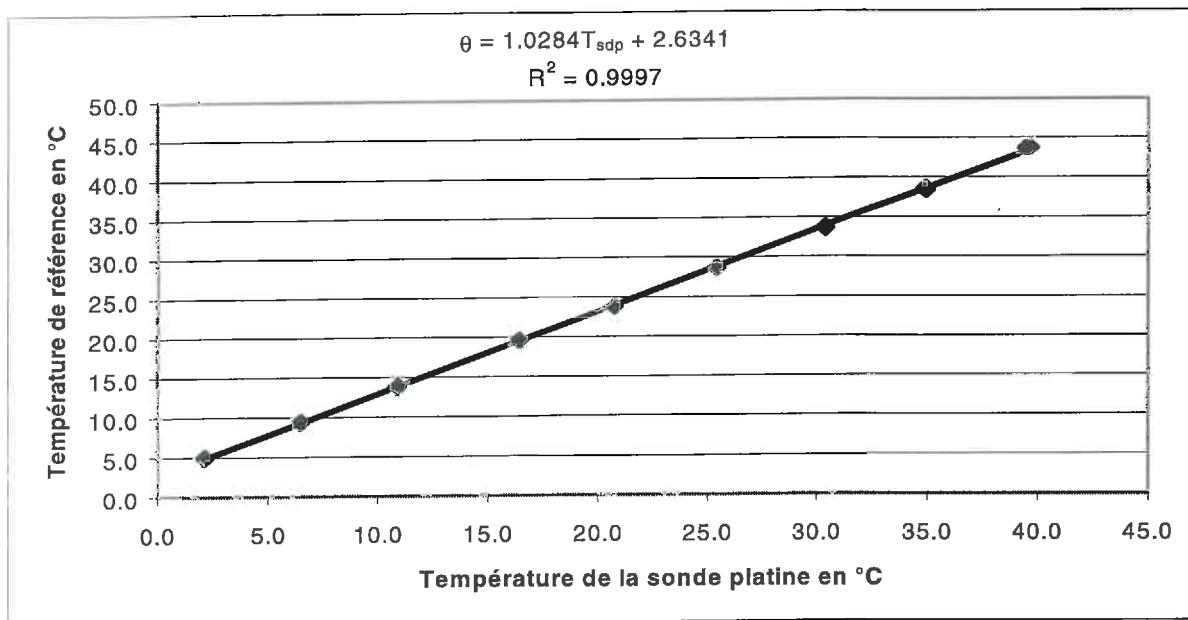
II.5 Mesures et résultats de l'étalonnage

L'étalonnage des sondes platines est effectué en premier. Une fois les coefficients d'étalonnage calculés, il faut les reporter dans le programme pour pouvoir calculer ceux des thermocouples. A chaque température de l'enceinte climatique ou du bain thermostaté, 30 mesures sont effectuées de façon que l'effectif de l'échantillon (ici nombre de points de mesures) devienne grand, soit quand $n \geq 30$.

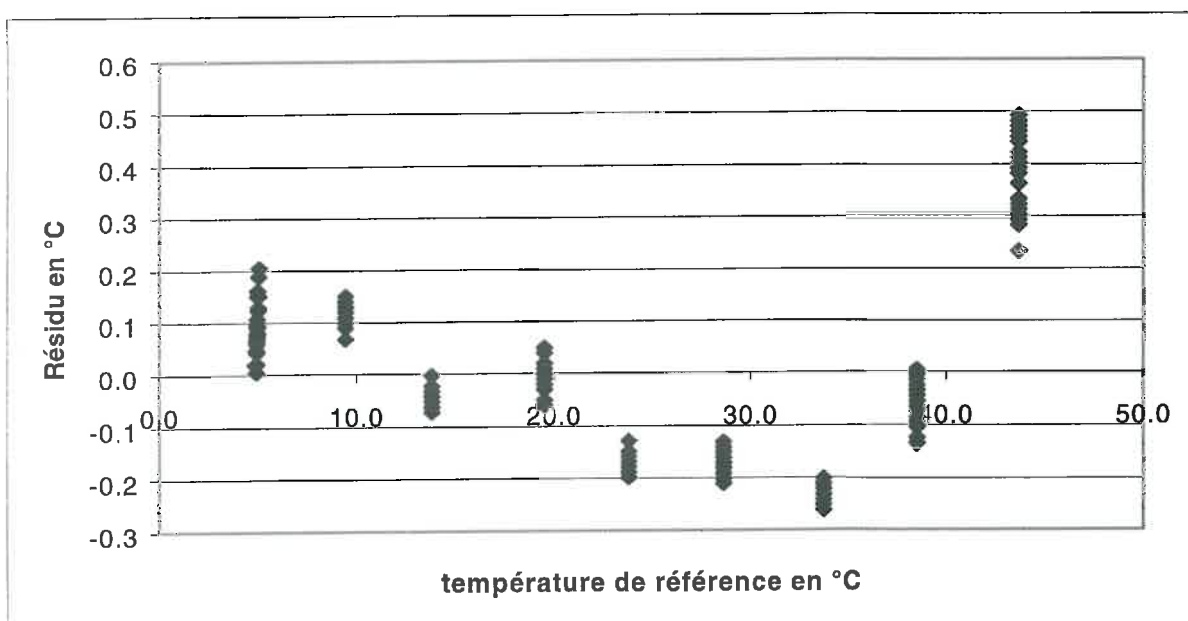
| | |
|--|--|
| <p>1 : Full Bridge w/mv Excit (P9)</p> <p>1 : 1 Reps</p> <p>2 : 33 25mV 50Hz Rejection Ex Range</p> <p>3 : 33 25mV 50Hz Rejection Br Range</p> <p>4 : 1 Diff Channel</p> <p>5 : 2 Excite all reps w/Exchan 2</p> <p>6 : 2100 mV Excitation</p> <p>7 : 2 Loc [Rs_Ro1]</p> <p>8 : 1 Mult</p> <p>9 : 0 Offset</p> | <p>Cette instruction permet de calculer le rapport R_S/R_{S0} en envoyant une tension d'excitation de 2100mV.</p> |
| <p>2 : Temperature RTD (P16)</p> <p>1 : 1 Reps</p> <p>2 : 2 R/R0 Loc [Rs_Ro1]</p> <p>3 : 3 Loc [tempSDP1]</p> <p>4 : 1.0284 Mult</p> <p>5 : 2.6341 Offset</p> | <p>Cette instruction permet de transformer le rapport mesurer précédemment en température.</p> |
| <p>3 : Beginning of Loop(P87)</p> <p>1 : 0 Delay</p> <p>2 : 5 Loop Count</p> | <p>Paramétrage de la boucle</p> |
| <p>4 : Thermocouple Temp(DIFF)(P14)</p> <p>1 : 1 Reps</p> <p>2 : 31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range</p> <p>3 : 1 DIFF Channel</p> <p>4 : 3 Type K(Chromel-Alumel)</p> <p>5 : 3 Ref Temp (Deg.C) Loc [tempSDP1]</p> <p>6 : 4 --Loc [Th11]</p> <p>7 : 1 Mult</p> <p>8 : 0 Offset</p> | <p>Cette instruction permet de calculer la température du thermocouple en utilisant la température de référence mesurée avant et la mesure de ΔT. Elle est utilisée pour les numéros 1 des voies du multiplexeur (Annexe 3).</p> |
| <p>4 : Thermocouple Temp(DIFF)(P14)</p> <p>1 : 1 Reps</p> <p>2 : 31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range</p> <p>3 : 1 DIFF Channel</p> <p>4 : 3 Type K(Chromel-Alumel)</p> <p>5 : 3 Ref Temp (Deg.C) Loc [tempSDP1]</p> <p>6 : 4 --Loc [Th12]</p> <p>7 : 1 Mult</p> <p>8 : 0 Offset</p> | <p>Cette instruction permet de calculer la température du thermocouple en utilisant la température de référence mesurée avant et la mesure de ΔT. Elle est utilisée pour les numéros 2 des voies du multiplexeur (Annexe 3).</p> |
| <p>5 : End (P95)</p> | <p>Fin de la boucle.</p> |

Tableau 4 : instruction pour la mesure de la température par les thermocouples

Le traitement des données est réalisée sous Excel. Pour cela, des graphes sont dessinés avec sur l'axe des abscisses la température donnée par les capteurs thermométriques (résistance de platine et thermocouples) et sur l'axe des ordonnées la température de référence donnée par le thermomètre de précision (**graphe 2**). Pour chaque capteur, un graphe des résidus est dessiné (**graphe 3**). Un résidu correspond à l'écart entre la température estimée, à l'aide de la courbe d'étalonnage, et la température réelle, donnée par le thermomètre.



Grappe 2 : courbe d'étalonnage de la sonde platine n°1



Grappe 3 : courbe des résidus de la sonde platine

La méthode des moindres carrés est utilisée pour déterminer ces coefficients (a et b).

$$a = \frac{n \sum (XY) - \sum (X) \sum (Y)}{n \sum (X^2) - (\sum (X))^2}$$

$$b = \frac{\sum (Y) \sum (X^2) - \sum (X) \sum (XY)}{n \sum (X^2) - (\sum (X))^2}$$

n représente le nombre de points de mesure.

On peut aussi calculer le coefficient de détermination qui permet de savoir si le modèle utilisé est le bon.

$$r^2 = \left(\frac{\sum ((X - \bar{X}) \cdot (Y - \bar{Y}))}{\sqrt{\sum ((X - \bar{X})^2) \sum ((Y - \bar{Y})^2)}} \right)^2$$

X et Y correspondent aux tableaux de mesures.

L'écart-type résiduel (ou écart-type expérimental) est calculé. Il correspond à la moyenne quadratique des écarts entre la température estimée à l'aide de la courbe d'étalonnage et la température réelle.

$$\sigma_{\text{résiduel}} = \sqrt{\frac{\sum (Y' - Y)^2}{n}}$$

Avec $Y' = aX + b$

L'incertitude-type composée ($U_C(\theta)$) peut être calculée. L'incertitude du thermomètre de précision donnée par le certificat d'étalonnage et la résolution de celui-ci ainsi que l'écart-type résiduel de chaque élément sont utilisés pour la calculée. Les incertitudes peuvent être évaluées selon deux classes :

- méthode du type A (incertitude évaluée statistiquement)
- méthode du type B (évaluation sur des données scientifiques : certificat d'étalonnage...)

$$U_C(\theta) = \sqrt{U_A^2(\theta) + \sum U_{\text{Bnoncorrélées}}^2(\theta) + \left(\sum U_{\text{Bcorrélées}}(\theta) \right)^2}$$

La méthode du type A (écart-type résiduel) et du type B (certificat d'étalonnage) ont servi au calcul de l'incertitude-type composée. Pour calculer l'incertitude des thermocouples, l'écart-type résiduel de la sonde platine a servi.

L'incertitude élargie est ensuite calculée, c'est à dire fournir un intervalle à l'intérieur duquel on puisse espérer voir se situer le résultat. Elle est obtenue en multipliant l'incertitude-type composée par un facteur d'élargissement k. Cette incertitude sera donnée avec k=2 soit avec un niveau de confiance de 95.45%.

$$U = kU_C(\theta)$$

Les résultats obtenus pour les divers boîtiers sont résumés dans des tableaux (**Annexe 4**). On peut voir que la résistance platine du boîtier 3 n'est pas très bonne par rapport aux autres car elle possède un écart-type résiduel d'environ $\pm 0.76^\circ\text{C}$ ce qui entraîne donc de plus mauvais résultats pour les thermocouples de ce boîtier.

De même, on peut dire que le thermocouple 4 du deuxième boîtier possède un dysfonctionnement car son écart type résiduel est supérieur à $\pm 1^\circ\text{C}$ alors que pour les autres, il est centré sur $\pm 0.06^\circ\text{C}$.

Mais en général, les résultats obtenus sont satisfaisants car en élargissant l'incertitude, celle-ci est égale à 0.2°C .

III Tests et problèmes physiques rencontrés

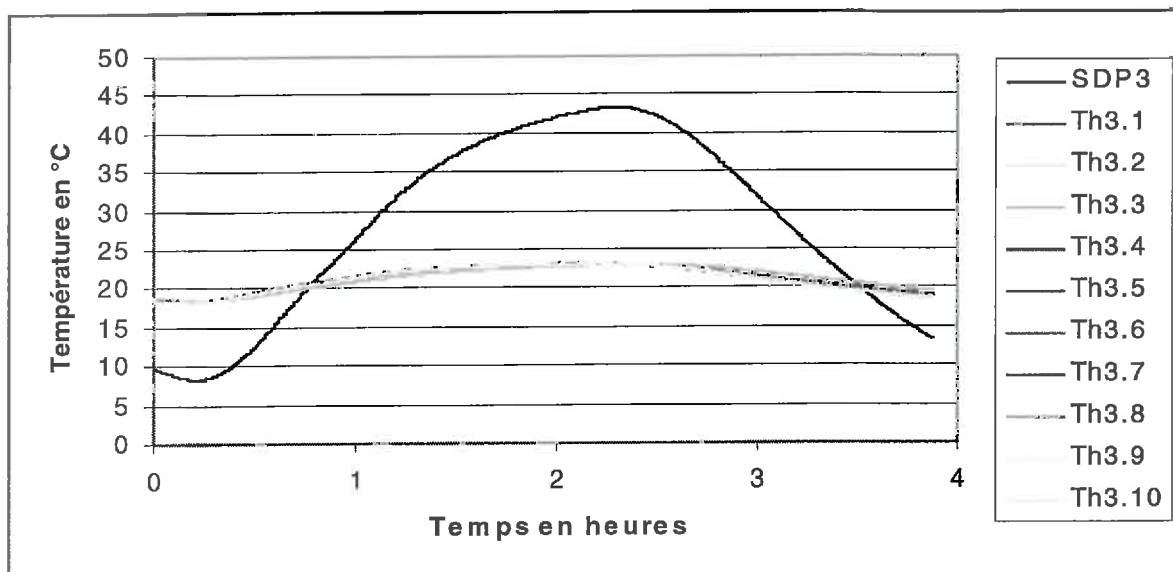
Jusqu'à présent l'unité de science du sol utilisait, pour ces manipulations employant des thermocouples, des boîtiers d'une ancienne configuration. Les résultats obtenus n'étaient pas ceux escomptés. En relevant les températures, elle obtenait des résultats peu réalistes, un gradient thermique entre la résistance de platine qui sert de référence et les jonctions froides des thermocouples était présent.

Des modifications et des tests sont réalisés d'abord pour quantifier la valeur de ce gradient thermique puis pour le limiter.

III.1 quantification du gradient thermique

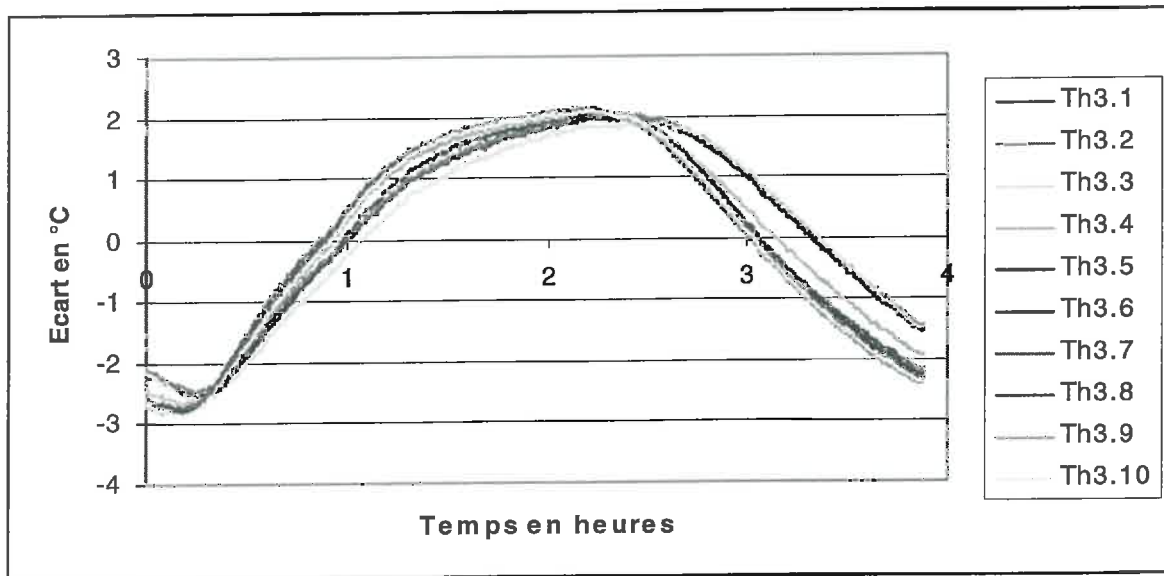
Pour quantifier le gradient thermique, un test est effectué avec un boîtier configuré avec l'ancienne version. Cette dernière consiste à mettre les jonctions froides des thermocouples dans des plots avec une majorité de plastique, le contact électrique est réalisé avec deux plaques métalliques qui sont maintenues l'une contre l'autre grâce à un ressort.

Le boîtier est placé dans l'enceinte climatique et les jonctions chaudes dans un bain thermostaté stabilisé à 21°C . L'environnement de l'armoire climatique subit une brutale variation de température. Celle-ci passe de 5°C à 45°C puis de 45°C à 5°C en environ quatre heures. La température des thermocouples est suivie durant tout ce temps. Les données récoltées, deux graphes sont tracés sous Excel : Le premier représentant la variation de la



Graph 4 : Evolution de la température des thermocouples

température des thermocouples au cours du temps en suivant l'évolution de la température de référence (**Graph 4**), le deuxième évalue l'écart qui existe entre la température du bain thermostaté et celle indiquée par les thermocouples (**Graph 5**).



Graph 5 : Quantification du gradient thermique

L'écart mesuré représente le gradient thermique qu'il existe entre les jonctions froides et la sonde de platine. Ce gradient thermique prend une valeur comprise entre $\pm 2^\circ\text{C}$.

Ce gradient thermique est dû à la forte inertie des borniers de thermocouples comparée à celle de la résistance platine. En effet si l'équation du calcul des thermocouples est regardée plus en détail, on s'aperçoit que:

$$\Delta T = T_{\text{réf}} + T_{\text{JC}} - T_{\text{JF}} - T_{\text{BT}}$$

$$T_{\text{JC}} = T_{\text{BT}}$$

$$\Delta T = T_{\text{réf}} - T_{\text{JF}}$$

si $\Delta T < 0$ alors $T_{\text{réf}} < T_{\text{JF}}$

si $\Delta T > 0$ alors $T_{\text{réf}} > T_{\text{JF}}$

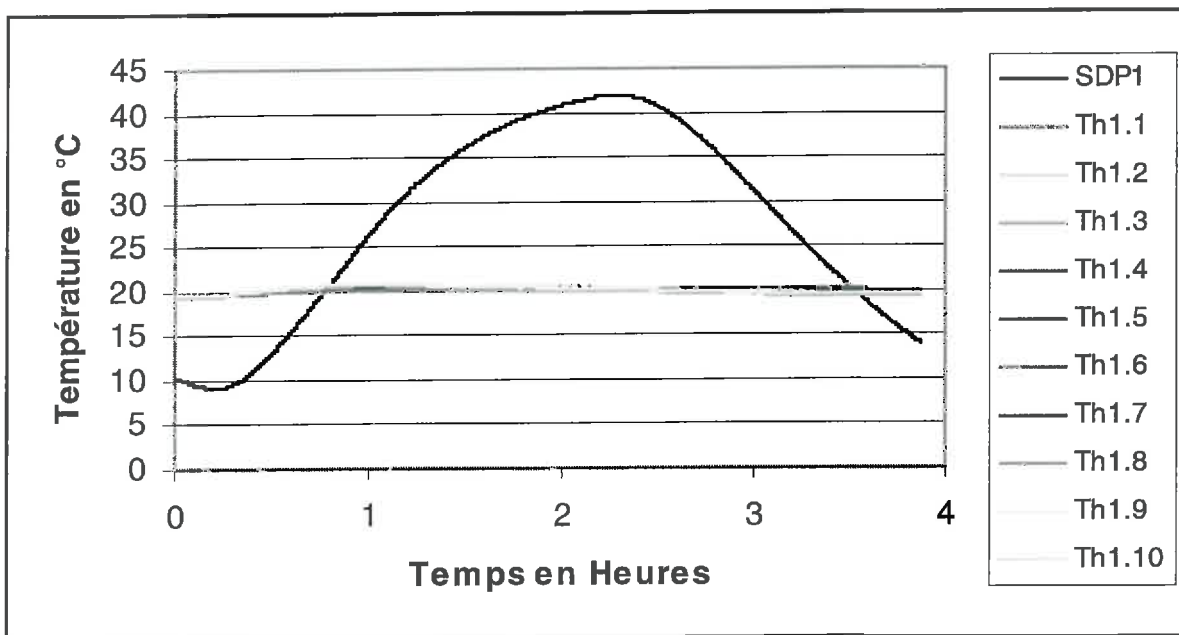
La température de l'enceinte climatique augmente, la température des borniers et de la sonde platine augmente aussi. Celle de la sonde platine est plus basse que celle des borniers car la température de l'enceinte climatique n'est pas stabilisée depuis longtemps d'où la température des jonctions froides n'a pas eu le temps de se stabiliser à 5°C . Puis la température de la sonde platine dépasse celle des plots, le gradient thermique devient positif. Quand la température de l'enceinte diminue, la température des jonctions froides est inférieure à celle de la résistance platine mais ces deux températures diminuent. Enfin la température de

la sonde platine devient plus basse que les jonctions froides, le gradient thermique redevient négatif.

III.2 Limitation du gradient thermique

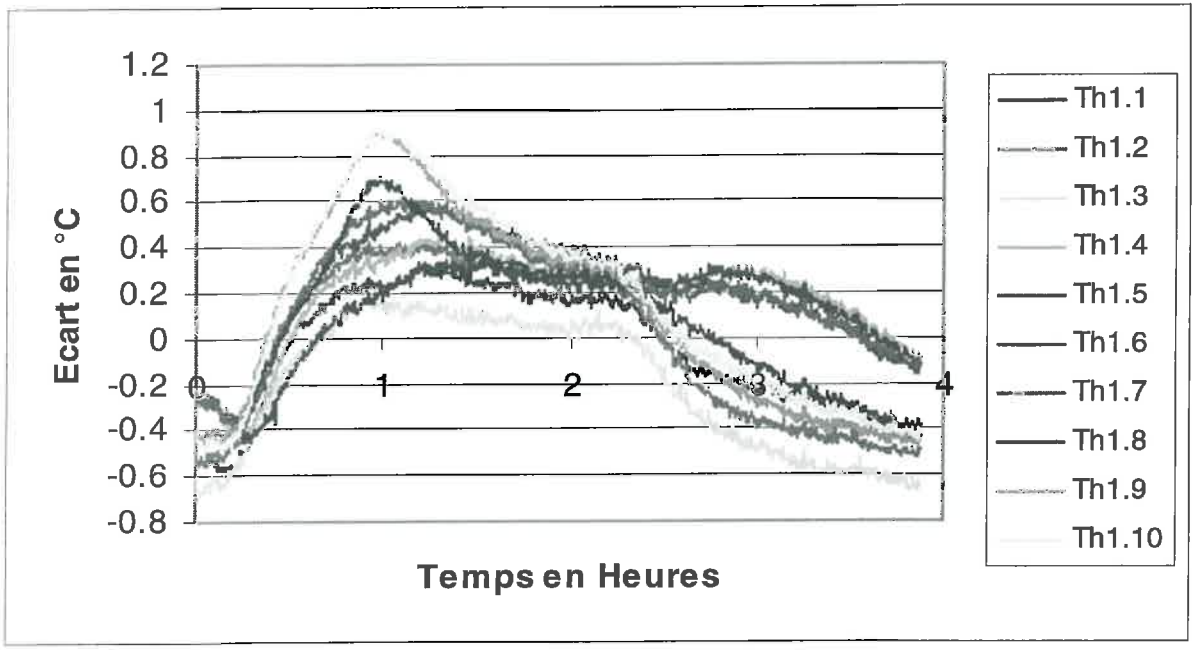
Diverses configurations de boîtiers sont réalisées afin de limiter le gradient thermique quantifié précédemment. Les boîtiers ont été remplis de plusieurs sortes d'isolants ou les plots de jonctions froides sont changés au profit de borniers plus conducteurs de chaleur. Comme précédemment, chaque boîtier a subi une rapide variation de température dans l'enceinte climatique.

La première configuration essayée est celle réalisée avec de la mousse compacte. Elle est répartie sur les côtés et le dessus de la boîte. Le dépouillement des résultats est fait comme antérieurement, c'est-à-dire : deux graphes sont dessinés l'un représentant le suivi de la température des thermocouples quand la température de référence varie (**graphe 6**) et le deuxième la quantification de la différence thermique (**graphe 7**).



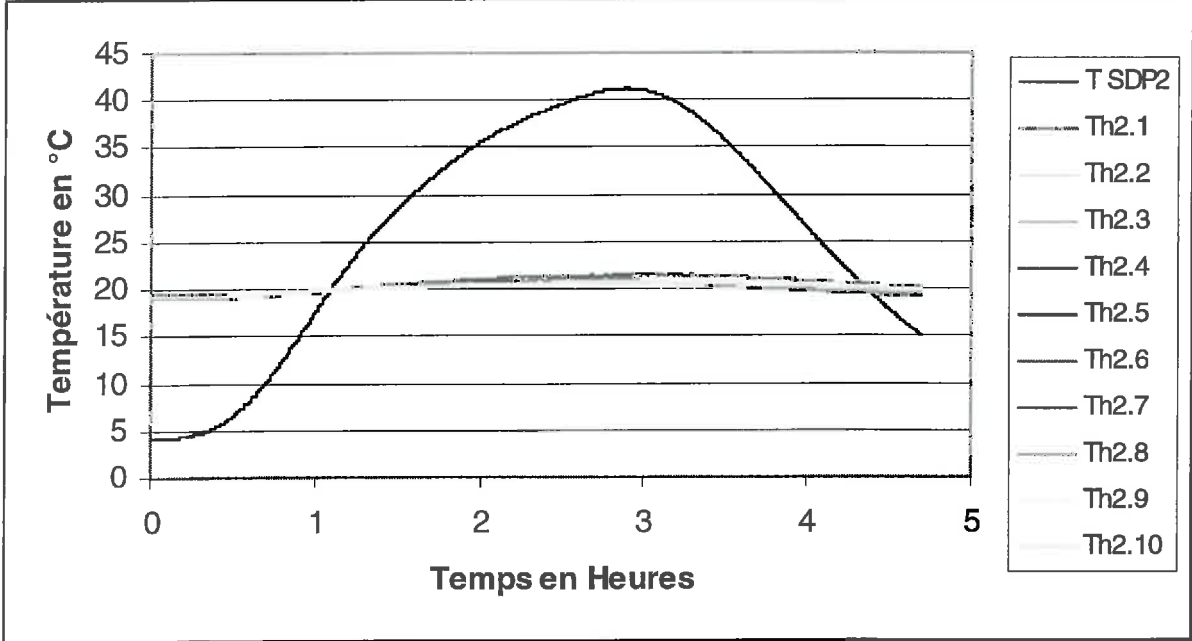
Grphe 6 : Evolution de la température des thermocouples (mousse)

Le graphe 7 donne l'évaluation du gradient thermique. Celui-ci est compris entre $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$. Une remarque peut-être faite, car la courbe ne possède pas de zone stable à 0°C . Cette zone est caractéristique de la stabilité du boîtier lorsque les borniers et la résistance ont la même température. L'expérience a commencé avant la stabilisation de la température de l'enceinte climatique.

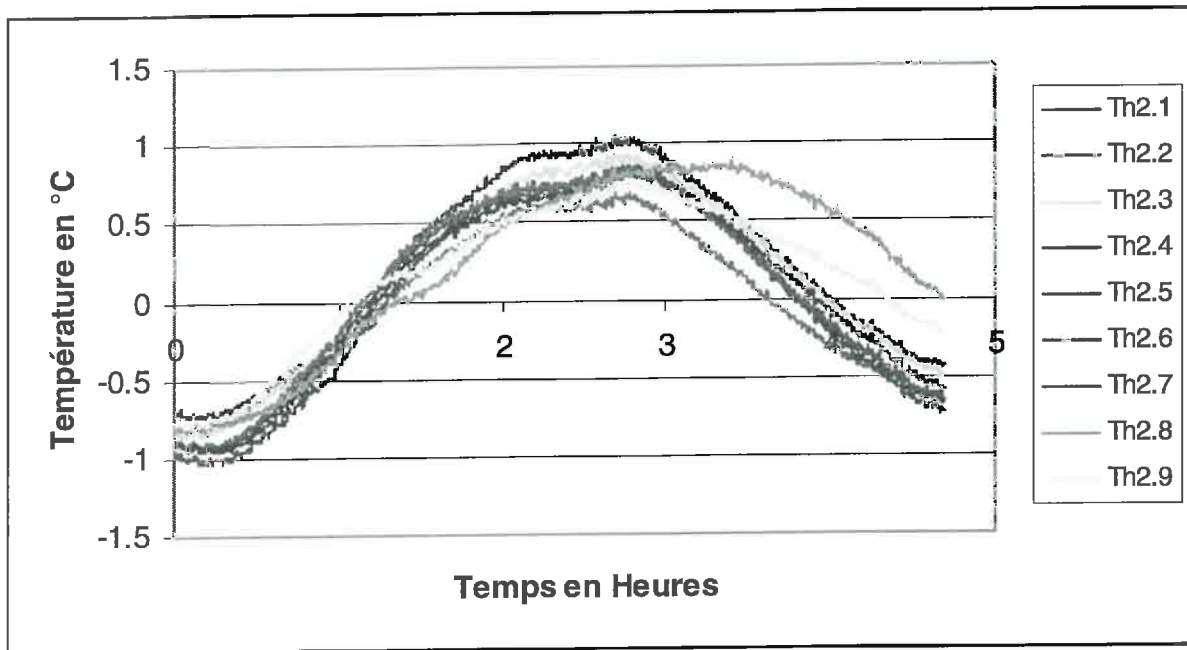


Graph 7 :Quantification du gradient thermique (mousse).

La configuration qui suit consiste à intercaler de la laine de verre entre la mousse et le circuit imprimé. Le boîtier subit toujours une brutale variation de température.



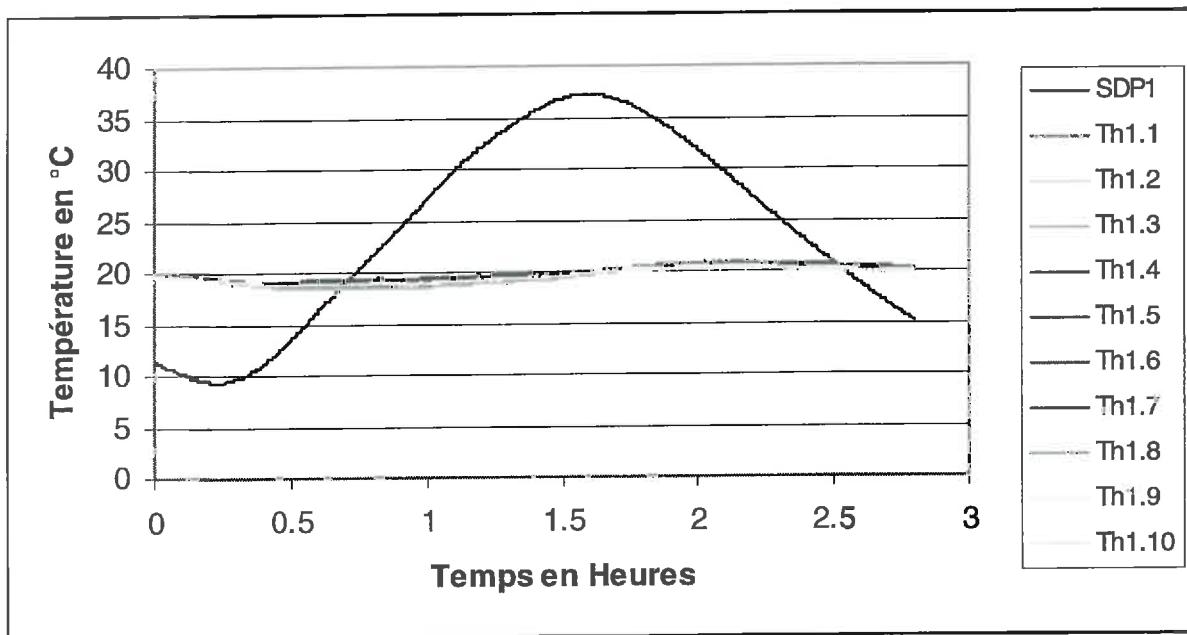
Graph 8 : Evolution de la température des thermocouples (mousse et laine de verre)



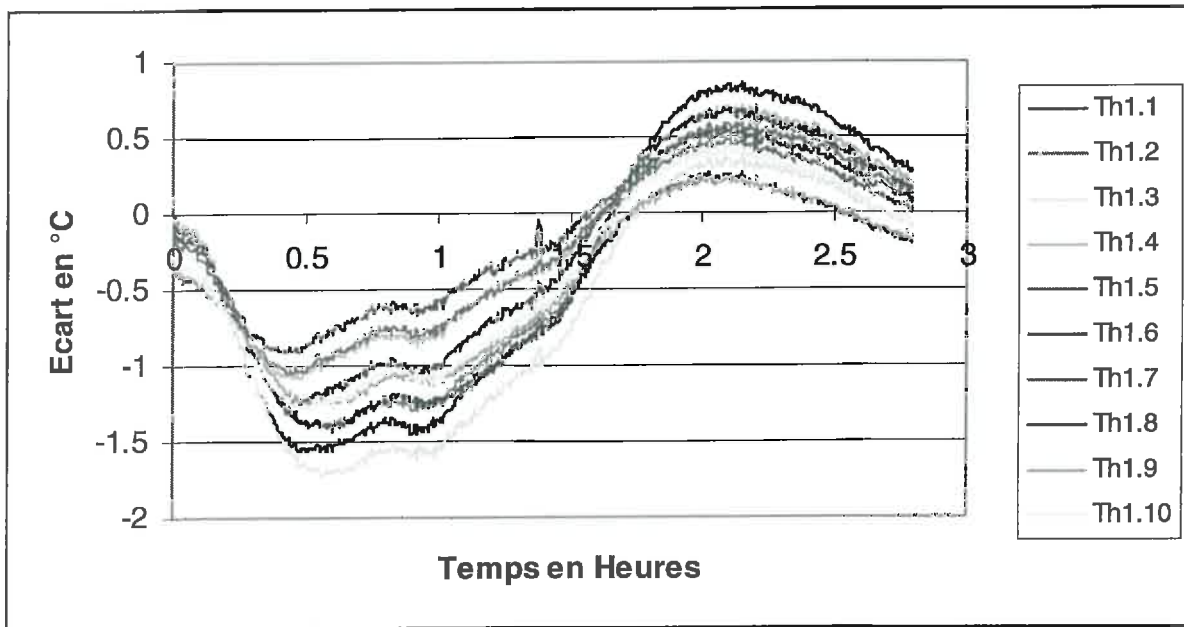
Graph 9 : Quantification du gradient thermique (mousse et laine de verre)

Avec cette configuration, la différence de température n'est pas diminuée ; au contraire, elle augmente. Cette différence est comprise entre ± 1 °C.

Un essai est effectué, cette fois-ci, le boîtier n'est pas complètement isolé. Seule la sonde platine l'est. La sonde est placée dans un carré de mousse compacte.



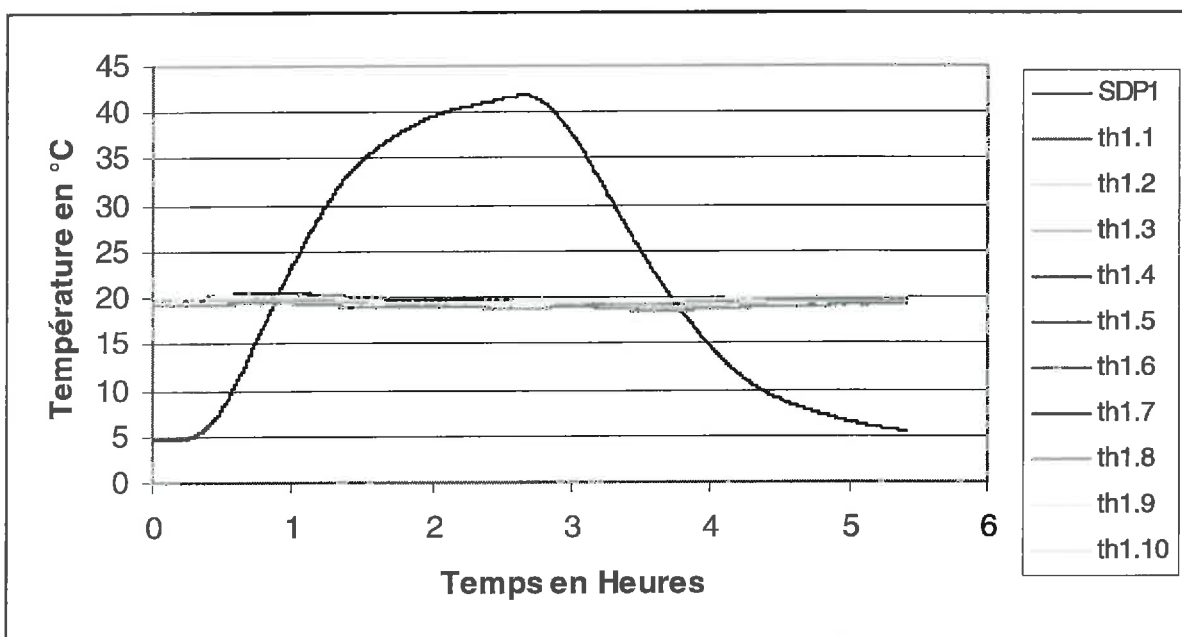
Graph 10 : Evolution de la température des thermocouples (carré de mousse sur sonde)



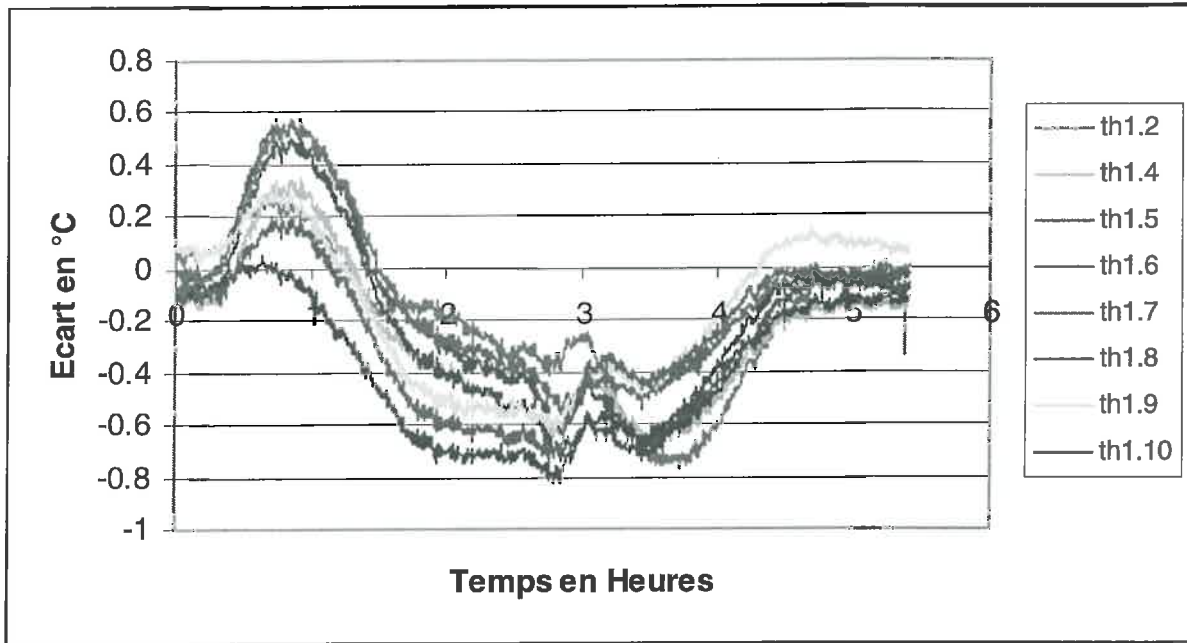
Graph 11 : Quantification du gradient thermique (carré de mousse sur la sonde)

Les résultats de cet essai montrent que le gradient thermique est encore trop élevé, de plus il n'est pas compris dans une gamme symétrique puisqu'un écart comprenant -1.5 °C et $+0.5\text{ °C}$ est trouvé. L'allure du graph 11 montre qu'avec cette configuration, la sonde platine est trop isolée. Son inertie est plus grande que celle des borniers.

Au lieu de confiner le boîtier ou la sonde platine, ce nouvel essai aura pour but de réduire l'inertie des borniers. Pour cela de nouveaux plots remplaceront les anciens, qui étaient majoritairement constitués de plastique. Les nouveaux plots sont plus métalliques donc meilleurs conducteurs de la chaleur.



Graph 12 : Evolution de la température des thermocouples (nouveaux plots)



Graphe 13 : quantification du gradient thermique (nouveaux plots)

Le graphe 13 permet d'évaluer le gradient thermique qui est de $\pm 0.6 \text{ °C}$. Ce graphe possède deux zones de stabilité : - une en début de manipulation
- l'autre en fin

Les borniers et la résistance de platine sont à la même température en début et en fin d'expérience.

D'autres tests sont réalisés, le gradient thermique est plus ou moins identique aux tests présentés ci-dessus (**tableau 5**).

| Isolants | Plots | Gradient thermique |
|------------------------------------|--------|---------------------|
| Aucun | Orange | - 2 °C à + 3 °C |
| Mousse au dessus du circuit | Orange | - 0.7 °C à + 0.7 °C |
| Laine de verre sur SDP | Orange | - 2.5 °C à + 1.5 °C |
| Bulles packs et mousse sur circuit | Orange | - 1 °C à 1 °C |
| Pâte thermo-isolante sur SDP | Orange | - 1.5 °C à + 1.5 °C |
| Carré de mousse sur SDP | Orange | - 1.5 °C à + 0.5 °C |
| Petit carré de mousse sur SDP | Orange | - 1.2 °C à + 0.2 °C |
| Aucun | Vert | - 0.6 °C à + 0.6 °C |
| | Vert | - 1 °C à + 0.9 °C |

Tableau 5 : Gradient thermique mesuré pour divers isolants

CONCLUSION

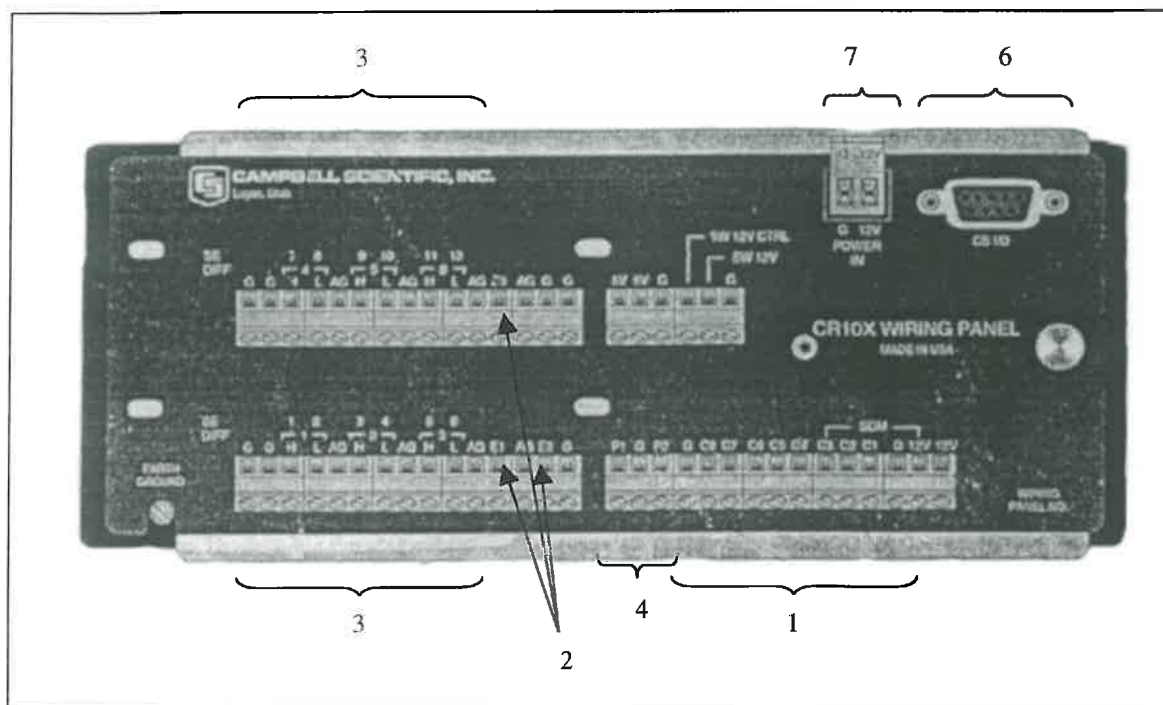
L'objectif premier de ce stage était la réduction du gradient thermique entre les jonctions froides des thermocouples et la résistance de platine. D'anciennes mesures avaient montré ce problème mais il n'était pas quantifié.

L'élaboration et l'étalonnage des boîtiers sont les premières opérations effectuées. Pour cela des protocoles sont réalisés.

Avant de pouvoir réduire la différence de température, il fallait mesurer sa valeur. Un premier boîtier configuré comme les anciens modèles fut testé dans une enceinte climatique dont la température varie très rapidement. Le gradient obtenu est compris entre -2 °C et $+2\text{ °C}$. Ce résultat comparé à la courbe du gradient thermique fait dire que cet écart est dû aux différentes inerties de la sonde platine et des plots. La chaleur est mieux conduite à travers la résistance de platine. Diverses modifications et tests sont réalisés dans le but de réduire cet écart. Un des tests accomplis donne un gradient de $\pm 1\text{ °C}$, le boîtier était colmaté avec de la laine de verre recouverte de mousse. Le boîtier installé dans l'enceinte avec un carré donne des résultats compris entre -1.5 °C et 0.5 °C . De plus cette configuration prouve qu'en essayant d'isoler la résistance de platine n'est pas un bon moyen car trop isoler la sonde amène au fait que l'inertie de celle-ci est plus faible que celle des borniers. Au lieu d'isoler, il faut donc réduire l'inertie des borniers. Pour cela les plots sont changés par des borniers plus conducteurs de chaleur. Les résultats obtenus sont les meilleurs puisque le gradient obtenu est de $\pm 0.5\text{ °C}$.

Tous ces résultats sont trouvés avec des conditions extrêmes. Sur le terrain, une variation de la température aussi rapide ne se rencontrera pas. Néanmoins pour limiter au maximum les variations thermiques des boîtiers, il peut être important de les enfouir à quarante centimètres de profondeur. De cette manière, la variation thermique n'est plus que de quelques degrés.

ANNEXE 2 : La CR10X



La CR10X se compose de :

- 8 ports de contrôle (C1 à C8) {1}
- 3 sorties d'excitation (E1 à E3) {2}
- 6 entrées analogiques (1 à 6) {3}
- 2 entrées impulsions (P1 et P2) {4}
- 1 entrée d'alimentation {5}
- 1 port série 9 broches {6}

Les voies d'excitation sont utilisées pour la mesure du rapport R_s/R_{s0} . Elles fournissent des tensions comprises entre 2500mV et -2500mV(Continu ou alternatif).

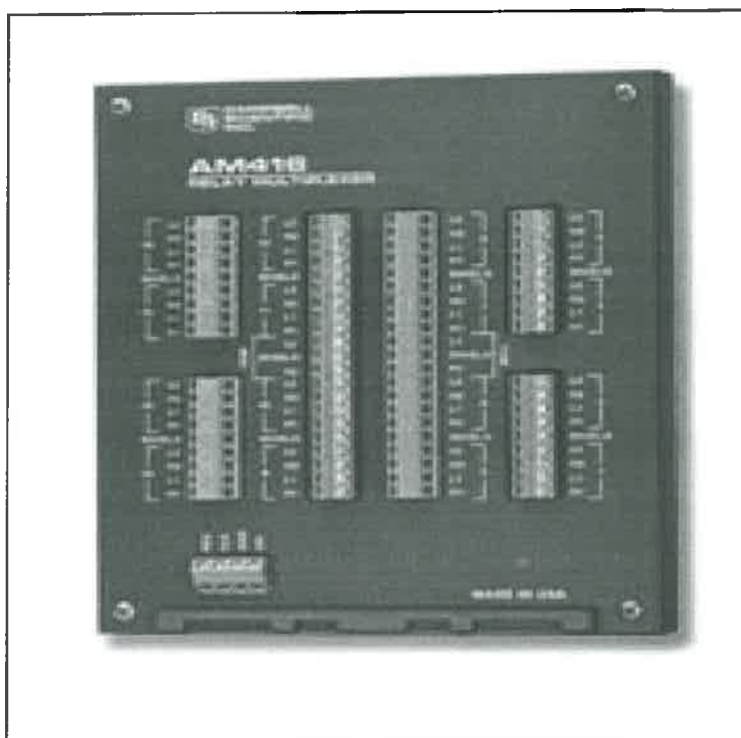
Les entrées analogiques peuvent être utilisées soit comme voie différentielle soit comme voie unipolaire, dans ce cas la tension mesurée se fait par rapport à une masse analogique(AG) de la centrale.

Les ports numériques ou de contrôles sont utilisés pour contrôler d'autres appareils externe tel que le multiplexeur, dans ce cas ces voies permettent de basculer les interrupteurs.

La CR10X peut être connecter à un ordinateur pour récupérer les données sauvegardées, les visualiser au cours du temps ou pour envoyer le programme conçu. Cette communication à lieu à l'aide d'une liaison série et d'un logiciel PC208W.

L'alimentation est réalisé à l'aide d'une batterie de 12 V.

ANNEXE 3 : L'AM416



Le multiplexeur se compose de :

- 16 ports de mesures comprenant chacun de voies
- 2 fiches d'alimentation
- 1 fiche horloge CLK
- 1 fiche mise à zéro RES

Le multiplexeur est relié à deux entrées analogiques de la centrale par ces ports COM ce qui permettra de lire deux voies à la fois. Son horloge (CLK) et sa mise à zéro (RES) sont reliés respectivement à un des ports de commande dont on demande de changer d'état quand on le souhaite. L'alimentation est effectuée comme pour la centrale par une batterie de 12 V.

BIBLIOGRAPHIE

DAGNELIE, P., Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques.1.

Campbell Scientific LTD, AM416 4×16 relay multiplexer. Instruction manual.1990.

Campbell Scientific LTD, CR10X Manuel d'instruction.

TC SA, Traité de thermométrie par thermocouple et résistance version 5.

TC SA, Traité de thermométrie par thermocouple et résistance version 6.



AOIP INSTRUMENTATION
Z. I. de Saint-Guénault
6 rue Maryse Bastié
B.P. 182 - 91006 Evry Cedex
Tél. : 01 69 36 50 50
Télécopie : 01 60 79 08 37

CHAÎNE NATIONALE D'ÉTALONNAGE BNM-COFRAC
TEMPERATURE

HABILITATION N° 2.1332

ANNEXE 1

CERTIFICAT D'ÉTALONNAGE

N° E-3714/9901147t

CLIENT : INRA
AGROPARC
Saint-Paul
AVIGNON (Vaucluse)

OBJET : ÉTALONNAGE

Chaîne de température

ÉMETTEUR : AOIP

Matériel : PJ 6522 et S102

N° de série : 99135 3 C9 et 990776 B9

N° d'identification :

Le certificat comprend 3 pages

Date d'émission : 14 AVR. 1999

LE RESPONSABLE DU SMH
Radomir SOUCEK



DATE DE L'ETALONNAGE : 29 mars 1999

MILIEU AMBIANT DU LABORATOIRE

Température : (23 ± 3) °C

Humidité relative : (50 ± 20) %

Les mesurages avaient pour but de déterminer la correction du thermomètre lorsque celui-ci a été porté à la température d'étalonnage. Le tableau de la page suivante contient pour chaque point de température, la profondeur d'insertion du capteur, la valeur moyenne des températures lues sur l'appareil, les corrections a et les incertitudes d'étalonnage élargies. La valeur moyenne des températures lues sur l'appareil représente une moyenne d'au moins 3 séries de mesures d'une durée de 1 minute chacune.

Au moment de l'utilisation de l'appareil, la valeur vraie de la température t peut être obtenue à partir de la valeur lue t_{lue} et de la correction a :

$$t = t_{lue} + a$$

Les moyens et les procédures mis en oeuvre sont repérés dans les tableaux de résultats avec la correspondance donnée ci-après :

| n° | Moyen | Méthode | Procédure | Position | Etendue |
|----|---|--------------------------------|-------------------|-------------|--------------|
| 1 | Bain d'alcool muni d'un bloc d'égalisation et multimètre | Comparaison à un étalon Pt 100 | PMTA 100/4-6.3.3T | Verticale | -60 à 15 °C |
| 2 | Bain d'alcool et multimètre | Comparaison à un étalon Pt 100 | PMTA 100/4-6.3.4T | Verticale | -60 à 15 °C |
| 3 | Bain de glace fondante | Etalonnage au point fixe | PMTA 100/4-6.1.2T | Verticale | 0 °C |
| 4 | Point triple de l'eau | Etalonnage au point fixe | PMTA 100/4-6.2T | Verticale | 0,01 °C |
| 5 | Bain d'huile à débordement muni d'un bloc d'égalisation et multimètre | Comparaison à un étalon Pt 100 | PMTA 100/4-6.4.3T | Verticale | -30 à 130 °C |
| 6 | Bain d'huile à débordement et multimètre | Comparaison à un étalon Pt 100 | PMTA 100/4-6.4.4T | Verticale | -30 à 130 °C |
| 7 | Bain d'eau et multimètre | Comparaison à un étalon Pt 100 | PMTA 100/4-6.4.4T | Verticale | 0 à 100 °C |
| 8 | Bain d'huile muni d'un bloc d'égalisation et multimètre | Comparaison à un étalon Pt 100 | PMTA 100/4-6.5.3T | Verticale | 80 à 250 °C |
| 9 | Bain d'huile et multimètre | Comparaison à un étalon Pt 100 | PMTA 100/4-6.5.4T | Verticale | 80 à 250 °C |
| 10 | Four à 3 zones muni d'un bloc d'égalisation et multimètre | Comparaison à un étalon Pt 100 | PMTA 100/4-6.6.4T | Horizontale | 250 à 420 °C |
| 11 | Four à 3 zones muni d'un bloc d'égalisation et multimètre | Comparaison à un étalon Pt 100 | PMTA 100/4-6.7.4T | Horizontale | 420 à 500 °C |

.../...

1. Tableaux de résultats.

| Moyen | Température d'étalonnage (°C) | Profondeur d'immersion (mm) | Valeur moyenne des lectures (°C) | Correction "a" (°C) | Incertitude ($\pm 2\sigma$) (°C) |
|-------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 3 | 0,00 | 200 | -0,08 | 0,08 | $\pm 0,11$ |
| 6 | 19,89 | 175 | 19,89 | 0,00 | $\pm 0,11$ |

2. Traçabilité, équivalences et incertitudes d'étalonnage.

La désignation des étalons, le numéro d'identification de la procédure ayant été utilisés pour cet étalonnage et les résultats bruts sont consignés sur une feuille de mesure archivée pendant 10 ans avec une copie de ce certificat.

La Section Etalonnage du COFRAC est l'un des signataires de l'accord multilatéral de EAL (European Cooperation for Accreditation of Laboratories) de reconnaissance de l'équivalence des certificats d'étalonnage.

Les incertitudes élargies mentionnées sont celles correspondant à deux incertitudes types. Les incertitudes types ont été calculées en tenant compte des différentes composantes d'incertitudes, étalons de référence, moyens d'étalonnage, conditions d'environnement, contribution de l'instrument étalonné, répétabilité...

La délivrance d'un certificat d'étalonnage COFRAC garantit la traçabilité des résultats d'étalonnage aux étalons nationaux.

| |
|-------------------|
| Fin du certificat |
|-------------------|

Mesure de température avec des thermocouples (temperature using thermocouples)

Le fonctionnement du thermocouple est basé sur un phénomène physique, à savoir la variation de la tension électrique entre deux soudures en fonction de la température. Les lois de la variation étant très régulières, il est possible de les utiliser pour repérer les températures par des mesures de tensions.

Grandeur Mesurée

Le thermocouple est un instrument mesurant la température dans une gamme comprise entre -250°C et $>2000^{\circ}\text{C}$

Le type de thermocouple que l'on utilise est du type K, son étendue de mesure est comprise entre -40°C et 1000°C avec une erreur de $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$.

Principe de la méthode

La différence de potentiel entre les deux conducteurs croît avec la température. Cette variation est parfaitement réversible. On peut déterminer la température en connaissant la différence de tension à l'aide de tables de correspondance tension - température, spécifiques à chaque type de thermocouple ainsi qu'en connaissant la température de référence obtenue grâce à une sonde platine.

Etalonnage

L'étalonnage de la sonde platine qui sert de référence est fait dans une enceinte climatique. On fait varier sa température par pas de 5°C , de 5°C à 45°C .

L'étalonnage est effectué à l'aide d'un bain thermostaté pour les thermocouples dont l'on fait varier la température par pas de 5°C , de 0°C à 45°C .

La température du bain et de l'enceinte climatique sont contrôlées avec un thermomètre de précision ayant une incertitude de $0,1^{\circ}\text{C}$.

Cette étalonnage tient compte de l'ensemble de la chaîne de mesure et suit une relation de la forme : $y = a x + b$ où a et b sont les coefficients d'étalonnage.

Description de la mesure

Dans un même coffret sont associées 10 ou 12 thermocouples ainsi qu'une sonde de platine. Lors de la mesure, il est important de relier la chaîne de mesure à la terre. Ces thermocouples peuvent être mis soit horizontalement soit verticalement selon le besoin.

Traitement des données

Le traitement des données se fait à l'aide d'un programme. Il permet la détermination des coefficients d'étalonnage ainsi que le calcul des écarts types résiduels.

10 thermocouples

| thermocoupl | n° des fils | états | n° thermocoupl | n° des fils | états |
|-------------|-------------|-------|----------------|-------------|-------|
| 1 | 24 | High | 6 | 14 | High |
| | 23 | Low | | 13 | Low |
| 2 | 22 | High | 7 | 12 | High |
| | 21 | Low | | 11 | Low |
| 3 | 20 | High | 8 | 10 | High |
| | 19 | Low | | 9 | Low |
| 4 | 18 | High | 9 | 8 | High |
| | 17 | Low | | 7 | Low |
| 5 | 16 | High | 10 | 6 | High |
| | 15 | Low | | 5 | Low |

| sonde platine | n° des fils |
|---------------|-------------|
| H2 | 1 |
| L2/H1 | 2 |
| E1 | 3 |
| L1/AG | 4 |

12 thermocouples

| thermocoupl | couleur | états | n° thermocoupl | couleur | états |
|-------------|------------|-------|----------------|------------|-------|
| 1 | Marron | High | 7 | Blanc | High |
| | Gris | Low | | Bleu Clair | Low |
| 2 | Noir | High | 8 | Jaune | High |
| | Gris | Low | | Bleu Clair | Low |
| 3 | Blanc | High | 9 | Marron | High |
| | Gris | Low | | Bleu Clair | Low |
| 4 | Bleu | High | 10 | Rouge | High |
| | Gris | Low | | Bleu Clair | Low |
| 5 | Vert | High | 11 | Gris | High |
| | Gris | Low | | Bleu Clair | Low |
| 6 | Orange | High | 12 | Vert | High |
| | Bleu Clair | Low | | Bleu Clair | Low |

| sonde platine | Couleur |
|---------------|---------|
| H2 | Jaune |
| L2 | Rouge |
| H1 | Gris |
| L1 | Bleu |
| E1 | Noir |
| AG | Blanc |

R10X}

Program

20 Execution Interval (seconds)

Set Port(s) (P20)

4444 C8..C5 = 10ms/10ms/10ms/10ms

4141 C4..C1 = 10ms/high/10ms/high

Mesure de la tension de la batterie

Batt Voltage (P10)

1 Loc [batterie]

Temperature de reference

Volt (Diff) (P2)

1 Reps

34 250 mV 50 Hz Rejection Range

6 DIFF Channel

54 Loc [tempref]

1.0 Mult

0.0 Offset

Mesure de la sonde platine 1

Do (P86)

72 Pulse Port 2

Full Bridge w/mv Excit (P9)

1 Reps

33 25 mV 50 Hz Rejection Ex Range

33 25 mV 50 Hz Rejection Br Range

1 DIFF Channel

2 Excite all reps w/Exchan 2

2100 mV Excitation

7: 2 Loc [Rs_Ro1]

3: 1.0 Mult

9: 0.0 Offset

Temperature RTD (P16)

1: 1 Reps

2: 2 R/R0 Loc [Rs_Ro1]

3: 3 Loc [tempSDP1]

4: 1.0004 Mult

5: 3.3457 Offset

7: Do (P86)

1: 72 Pulse Port 2

MO.CSI

ermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP1]
Loc [Th11]
Mult
Offset

ermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP1]
Loc [Th12]
Mult
Offset

o (P86)

Pulse Port 2

ermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP1]
Loc [Th13]
Mult
3 Offset

ermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP1]
Loc [Th14]
Mult
2 Offset

o (P86)

Pulse Port 2

ermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP1]
Loc [Th15]
Mult
2 Offset

10.CSI

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP1]
Loc [Th16]
Mult
Offset

(P86)

Pulse Port 2

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP1]
Loc [Th17]
Mult
Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP1]
Loc [Th18]
Mult
Offset

(P86)

Pulse Port 2

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP1]
Loc [Th19]
Mult
Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP1]
Loc [Th110]
Mult
Offset

mesure de la sonde platine 2

22: Do (P86)

1: 72 Pulse Port 2

23: Full Bridge w/mv Excit (P9)

1: 1 Reps

2: 33 25 mV 50 Hz Rejection Ex Range

3: 33 25 mV 50 Hz Rejection Br Range

4: 1 DIFF Channel

5: 1 Excite all reps w/Exchan 1

6: 2100 mV Excitation

7: 14 Loc [Rs_Ro2]

8: 1.0 Mult

9: 0.0 Offset

24: Temperature RTD (P16)

1: 1 Reps

2: 14 R/R0 Loc [Rs_Ro2]

3: 15 Loc [tempSDP2]

4: 1.0174 Mult

5: -0.8555 Offset

25: Do (P86)

1: 72 Pulse Port 2

26: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

1: 1 Reps

2: 31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range

3: 1 DIFF Channel

4: 3 Type K (Chromel-Alumel)

5: 15 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]

6: 16 Loc [Th21]

7: 1 Mult

8: -0.3 Offset

27: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

1: 1 Reps

2: 31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range

3: 2 DIFF Channel

4: 3 Type K (Chromel-Alumel)

5: 15 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]

6: 17 Loc [Th22]

7: 1 Mult

8: -0.4 Offset

28: Do (P86)

1: 72 Pulse Port 2

MO.CSI

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]
Loc [Th23]
Mult
4 Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]
Loc [Th24]
Mult
0.3 Offset

Do (P86)
2 Pulse Port 2

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]
Loc [Th25]
Mult
0.3 Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]
Loc [Th26]
Mult
0.3 Offset

Do (P86)
2 Pulse Port 2

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]
Loc [Th27]
Mult
0.2 Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
1 Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
2 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
15 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]
23 Loc [Th28]
1 Mult
-0.4 Offset

Do (P86)
72 Pulse Port 2

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
1 Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
1 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
15 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]
24 Loc [Th29]
1 Mult
-0.3 Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
1 Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
2 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
15 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]
25 Loc [Th210]
1 Mult
-0.3 Offset

Do (P86)
72 Pulse Port 2

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
1 Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
2 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
15 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]
26 Loc [Th211]
1 Mult
-0.2 Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
1 Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
2 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
15 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP2]
27 Loc [Th212]
1 Mult
-0.2 Offset

mesure de la sonde platine 3

Do (P86)
74 Pulse Port 4

Full Bridge w/mv Excit (P9)
1 Reps
33 25 mV 50 Hz Rejection Ex Range
33 25 mV 50 Hz Rejection Br Range
3 DIFF Channel
3 Excite all reps w/Exchan 3
2100 mV Excitation
28 Loc [Rs_Ro3]
1.0 Mult
0.0 Offset

Temperature RTD (P16)

1 Reps
28 R/R0 Loc [Rs_Ro3]
29 Loc [tempSDP3]
1.1813 Mult
2.172 Offset

Do (P86)
74 Pulse Port 4

7: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

1 Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
3 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
29 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP3]
30 Loc [Th31]
1 Mult
-0.4 Offset

8: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

1 Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
4 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
29 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP3]
31 Loc [Th32]
1 Mult
-0.3 Offset

Do (P86)
74 Pulse Port 4

10: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

1 Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
3 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
29 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP3]
6: 32 Loc [Th33]
7: 1 Mult
8: -0.4 Offset

1: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
 1 Reps
 2: 31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
 3: 4 DIFF Channel
 4: 3 Type K (Chromel-Alumel)
 5: 29 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP3]
 6: 33 Loc [Th34]
 7: 1 Mult
 8: -0.4 Offset

2: Do (P86)
 1: 74 Pulse Port 4

3: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
 1 Reps
 2: 31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
 3: 3 DIFF Channel
 4: 3 Type K (Chromel-Alumel)
 5: 29 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP3]
 6: 34 Loc [Th35]
 7: 1 Mult
 8: -0.4 Offset

4: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
 1 Reps
 2: 31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
 3: 4 DIFF Channel
 4: 3 Type K (Chromel-Alumel)
 5: 29 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP3]
 6: 35 Loc [Th36]
 7: 1 Mult
 8: -0.5 Offset

5: Do (P86)
 1: 74 Pulse Port 4

6: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
 1: 1 Reps
 2: 31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
 3: 3 DIFF Channel
 4: 3 Type K (Chromel-Alumel)
 5: 29 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP3]
 6: 36 Loc [Th37]
 7: 1 Mult
 8: -0.4 Offset

7: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
 1: 1 Reps
 2: 31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
 3: 4 DIFF Channel
 4: 3 Type K (Chromel-Alumel)
 5: 29 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP3]
 6: 37 Loc [Th38]
 7: 1 Mult
 8: -0.4 Offset

8: Do (P86)
 1: 74 Pulse Port 4

MO.CSI

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP3]
Loc [Th39]
Mult
4 Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP3]
Loc [Th310]
Mult
5 Offset

Le BOITIER

ure de la sonde platine 4

Do (P86)

4 Pulse Port 4

Full Bridge w/mv Excit (P9)

Reps
3 25 mV 50 Hz Rejection Ex Range
3 25 mV 50 Hz Rejection Br Range
DIFF Channel
Excite all reps w/Exchan 1
100 mV Excitation
0 Loc [Rs_Ro4]
0 Mult
0 Offset

Temperature RTD (P16)

Reps
0 R/R0 Loc [Rs_Ro4]
1 Loc [tempSDP4]
.0542 Mult
1.7021 Offset

ures des thermocouples(12)

Do (P86)

4 Pulse Port 4

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
1 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
1 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
2 Loc [Th41]
99923 Mult
04627 Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
1 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
1 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
3 Loc [Th42]
00394 Mult
0.0678 Offset

Do (P86)
74 Pulse Port 4

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
3 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
41 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
44 Loc [Th43]
1.00145 Mult
0.00487 Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
4 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
41 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
45 Loc [Th44]
1.0075 Mult
-0.06957 Offset

Do (P86)
74 Pulse Port 4

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
31 2.5 mV 50 Hz Rejection Range
3 DIFF Channel
3 Type K (Chromel-Alumel)
41 Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
46 Loc [Th45]
0.99947 Mult
0.08219 Offset

SI

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
Loc [Th46]
Mult
Offset

(P86)
Pulse Port 4

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
Loc [Th47]
Mult
Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
Loc [Th48]
Mult
Offset

(P86)
Pulse Port 4

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
Loc [Th49]
Mult
Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
Loc [Th410]
Mult
Offset

(P86)
Pulse Port 4

10.CSI

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
Loc [Th411]
Mult
Offset

Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

Reps
2.5 mV 50 Hz Rejection Range
DIFF Channel
Type K (Chromel-Alumel)
Ref Temp (Deg. C) Loc [tempSDP4]
Loc [Th412]
025 Mult
0071 Offset

Set Port(s) (P20)

00 C8,C7,C6,C5 Options
00 C4,C3,C2,C1 Options

IO (P86)

Set Output Flag High (Flag 0)

Sample (P70)

Reps
Loc [batterie]

Sample (P70)

Reps
Loc [tempref]

Sample (P70)

Reps
Loc [tempSDP1]

Sample (P70)

Reps
Loc [tempref]

Sample (P70)

Reps
Loc [tempSDP2]

Sample (P70)

Reps
Loc [_tempref_]

0.CSI

mple (P70)
Reps
Loc [tempSDP3]

mple (P70)
Reps
Loc [tempref]

mple (P70)
Reps
Loc [tempSDP4]

2 Program
0000 Execution Interval (seconds)

3 Subroutines

rogram

ANNEXE 6 : Les résultats de l'étalonnage

Tableau des résultats de l'étalonnage pour le boîtier 1

| | pençe | point à l'origine | R ² | écart type résiduel(°C) | Incertitude composée(°C) | Incertitude élargie(2σ)(°C) |
|--------------------|-------|-------------------|----------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| résistance platine | 1.028 | 2.634 | 0.99974 | 0.20 | 0.21 | 0.42 |
| Thermo 1 | 1.028 | -0.984 | 0.99996 | 0.09 | 0.23 | 0.45 |
| Thermo 2 | 0.996 | -0.130 | 0.99998 | 0.06 | 0.22 | 0.44 |
| Thermo 3 | 0.997 | -0.239 | 0.99998 | 0.06 | 0.22 | 0.44 |
| Thermo 4 | 0.995 | -0.132 | 0.99998 | 0.06 | 0.22 | 0.44 |
| Thermo 5 | 0.997 | -0.190 | 0.99998 | 0.06 | 0.22 | 0.44 |
| Thermo 6 | 0.994 | -0.105 | 0.99998 | 0.06 | 0.22 | 0.44 |
| Thermo 7 | 0.993 | -0.067 | 0.99998 | 0.06 | 0.22 | 0.44 |
| Thermo 8 | 0.998 | -0.160 | 0.99998 | 0.06 | 0.22 | 0.44 |
| Thermo 9 | 1.000 | -0.216 | 0.99998 | 0.06 | 0.22 | 0.44 |
| Thermo 10 | 0.997 | -0.146 | 0.99998 | 0.06 | 0.22 | 0.44 |

Tableau des résultats de l'étalonnage pour le boîtier 2

| | pençe | point à l'origine | R ² | écart type résiduel(°C) | Incertitude composée(°C) | Incertitude élargie(2σ)(°C) |
|--------------------|---------|-------------------|----------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| résistance platine | 1.03994 | -1.03538 | 0.99945 | 0.296 | 0.30 | 0.60 |
| Thermo 1 | 1.00111 | -0.07473 | 0.99998 | 0.059 | 0.31 | 0.62 |
| Thermo 2 | 1.00412 | -0.18197 | 0.99998 | 0.060 | 0.31 | 0.62 |
| Thermo 3 | 1.00742 | -0.18759 | 0.99998 | 0.059 | 0.31 | 0.62 |
| Thermo 4 | 1.17970 | -3.16576 | 0.99181 | 1.283 | 1.32 | 2.64 |
| Thermo 5 | 1.00482 | -0.19380 | 0.99998 | 0.060 | 0.31 | 0.62 |
| Thermo 6 | 1.00464 | -0.15433 | 0.99998 | 0.060 | 0.31 | 0.62 |
| Thermo 7 | 0.99619 | -0.00467 | 0.99998 | 0.060 | 0.31 | 0.62 |
| Thermo 8 | 1.00435 | -0.16594 | 0.99998 | 0.059 | 0.31 | 0.62 |
| Thermo 9 | 1.00441 | -0.13918 | 0.99998 | 0.061 | 0.31 | 0.62 |
| Thermo 10 | 1.00454 | -0.13566 | 0.99998 | 0.058 | 0.31 | 0.62 |
| Thermo 11 | 1.00192 | -0.09971 | 0.99998 | 0.060 | 0.31 | 0.62 |
| Thermo 12 | 1.00412 | -0.13224 | 0.99998 | 0.059 | 0.31 | 0.62 |

Tableau des résultats de l'étalonnage pour le boîtier 3

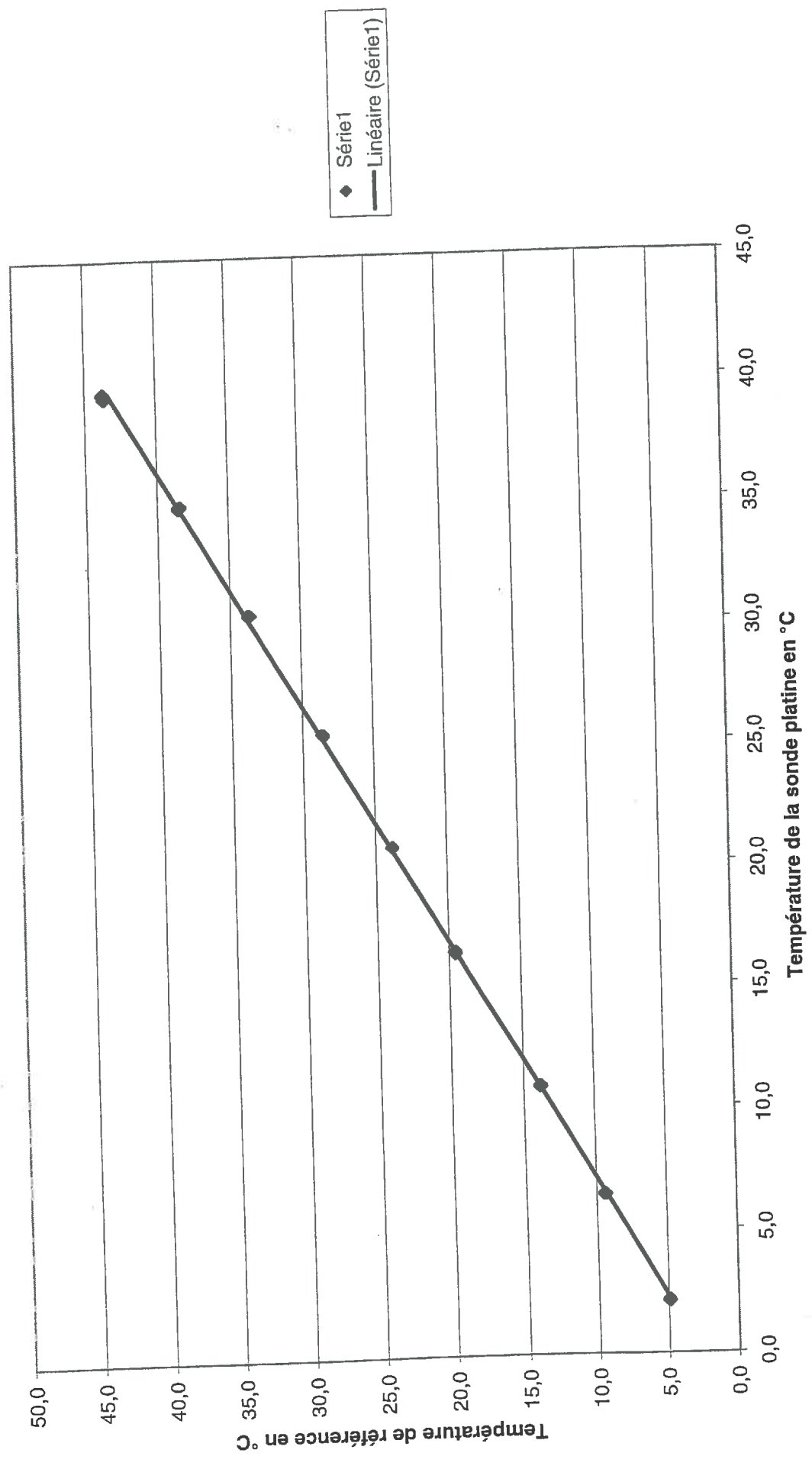
| | penste | point à l'origine | R ² | écart type résiduel(°C) | Incertitude composée(°C) | Incertitude élargie(2σ)(°C) |
|--------------------|--------|-------------------|----------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| résistance platine | 1.1813 | 2.1720 | 0.9964 | 0.76 | 0.76 | 1.52 |
| Thermo 1 | 0.9900 | 0.2304 | 1.0000 | 0.09 | 0.77 | 1.53 |
| Thermo 2 | 0.9914 | 0.2612 | 1.0000 | 0.09 | 0.77 | 1.53 |
| Thermo 3 | 0.9933 | 0.1712 | 1.0000 | 0.09 | 0.77 | 1.53 |
| Thermo 4 | 0.9953 | 0.1233 | 1.0000 | 0.09 | 0.77 | 1.53 |
| Thermo 5 | 0.9948 | 0.1279 | 1.0000 | 0.09 | 0.77 | 1.53 |
| Thermo 6 | 0.9962 | 0.0706 | 1.0000 | 0.09 | 0.77 | 1.53 |
| Thermo 7 | 0.9910 | 0.2199 | 1.0000 | 0.09 | 0.77 | 1.53 |
| Thermo 8 | 0.9953 | 0.1326 | 1.0000 | 0.09 | 0.77 | 1.53 |
| Thermo 9 | 0.9946 | 0.1219 | 1.0000 | 0.09 | 0.77 | 1.53 |
| Thermo 10 | 0.9961 | 0.0930 | 0.9996 | 0.09 | 0.77 | 1.53 |

Tableau des résultats de l'étalonnage pour le boîtier 4

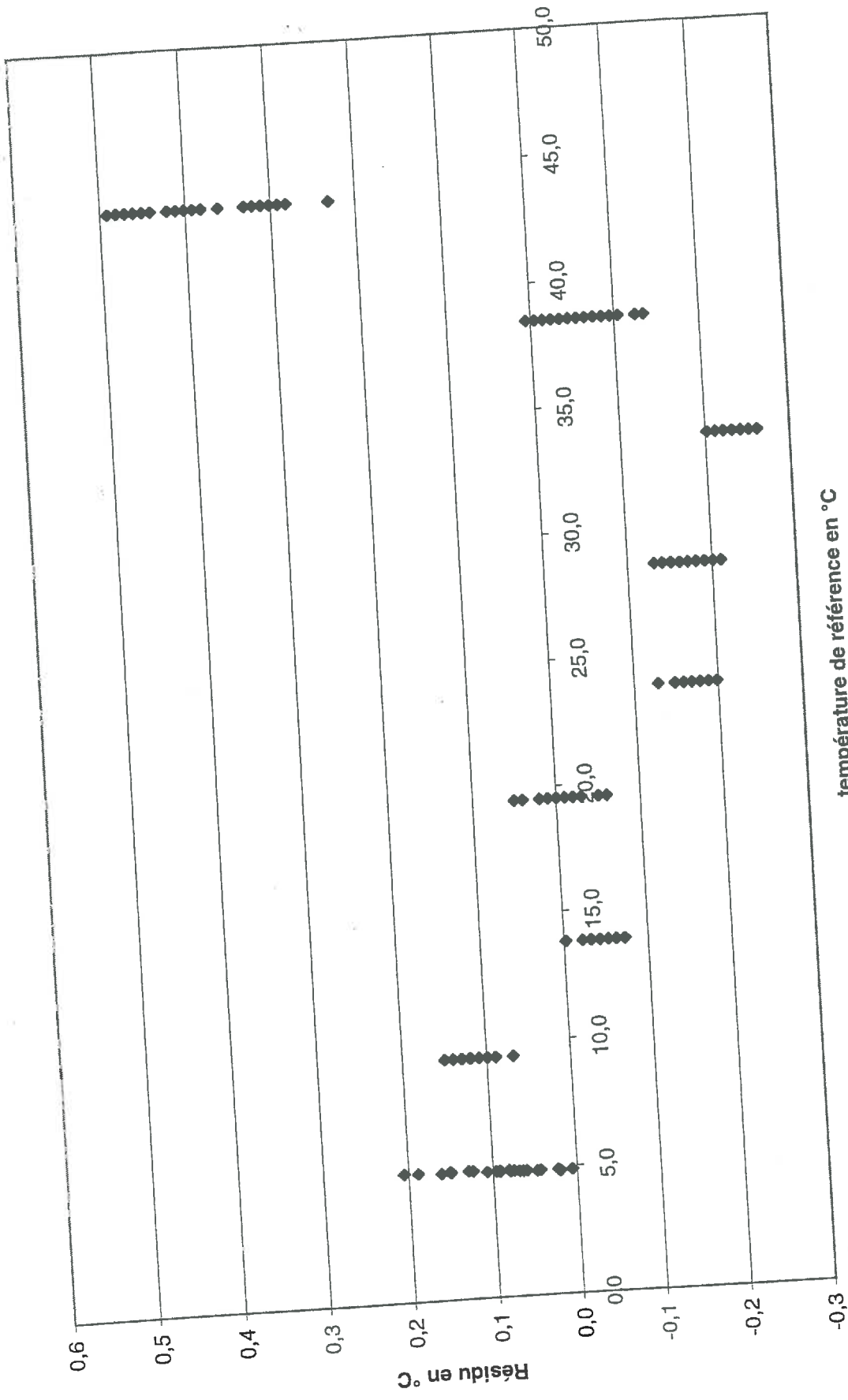
| | penste | point à l'origine | R ² | écart type résiduel(°C) | Incertitude composée(°C) | Incertitude élargie(2σ)(°C) |
|--------------------|--------|-------------------|----------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| résistance platine | 1.0542 | -1.7021 | 0.9998 | 0.17 | 0.18 | 0.35 |
| Thermo 1 | 0.9965 | 0.2270 | 1.0000 | 0.07 | 0.19 | 0.38 |
| Thermo 2 | 1.0012 | 0.1292 | 1.0000 | 0.07 | 0.19 | 0.38 |
| Thermo 3 | 0.9990 | 0.1963 | 1.0000 | 0.07 | 0.19 | 0.38 |
| Thermo 4 | 1.0051 | 0.0945 | 1.0000 | 0.07 | 0.19 | 0.38 |
| Thermo 5 | 0.9965 | 0.2446 | 1.0000 | 0.07 | 0.19 | 0.38 |
| Thermo 6 | 0.9968 | 0.2441 | 1.0000 | 0.07 | 0.19 | 0.38 |
| Thermo 7 | 1.0023 | 0.0987 | 1.0000 | 0.07 | 0.19 | 0.38 |
| Thermo 8 | 1.0003 | 0.1378 | 0.9998 | 0.07 | 0.19 | 0.38 |
| Thermo 9 | 1.0249 | -0.5274 | 0.9988 | 0.49 | 0.52 | 1.03 |
| Thermo 10 | 0.9962 | 0.2352 | 1.0000 | 0.06 | 0.19 | 0.38 |
| Thermo 10 | 0.9963 | 0.2460 | 0.9998 | 0.07 | 0.19 | 0.38 |
| Thermo 11 | 1.0013 | 0.1349 | 1.0000 | 0.07 | 0.19 | 0.38 |

Etalonnage de la sonde platine n°1

$\theta = 1.0284T_{\text{sep}} + 2.6341$
 $R^2 = 0.9997$



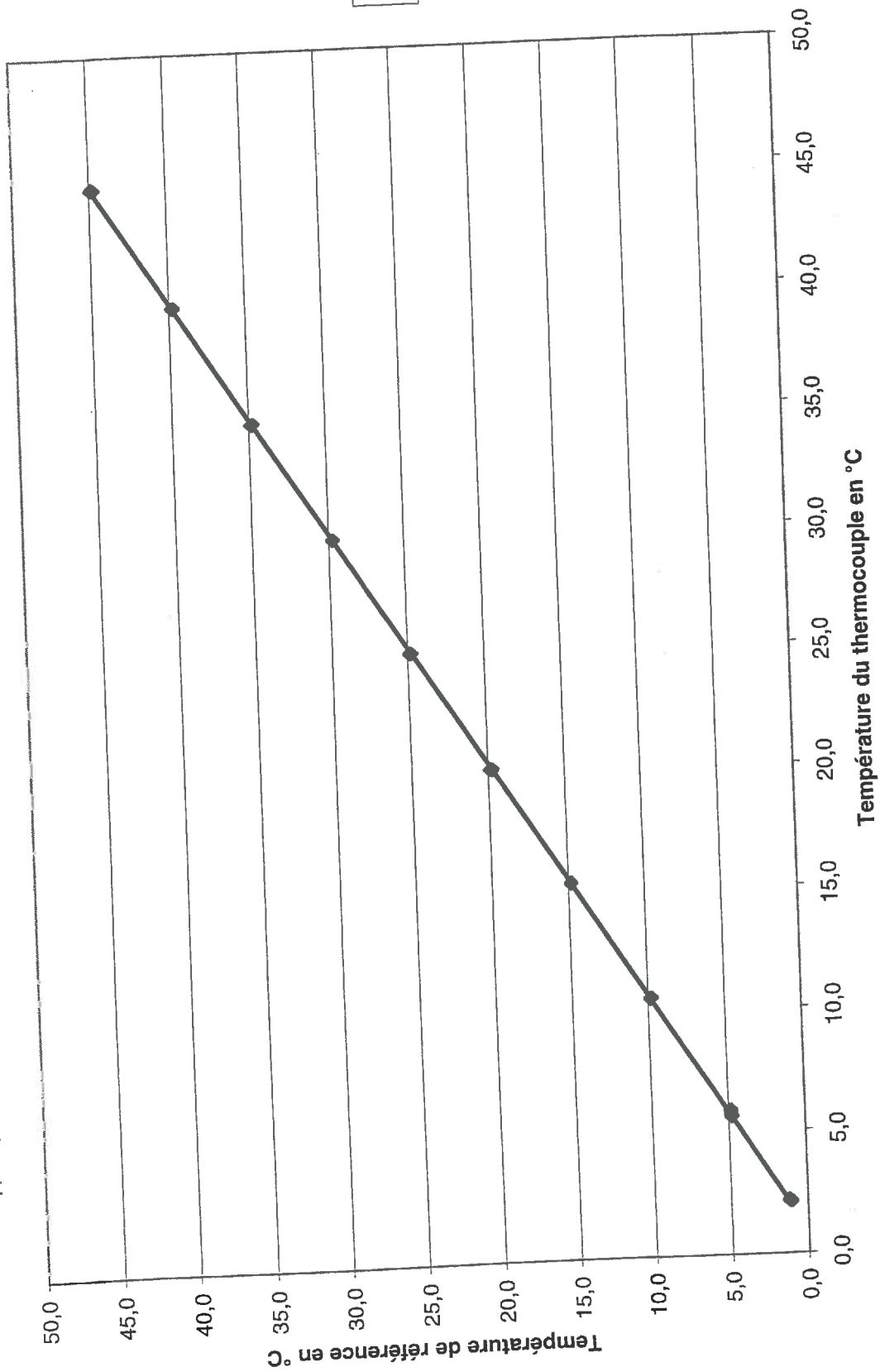
Résidu de la sonde platine n°1



température de référence en °C

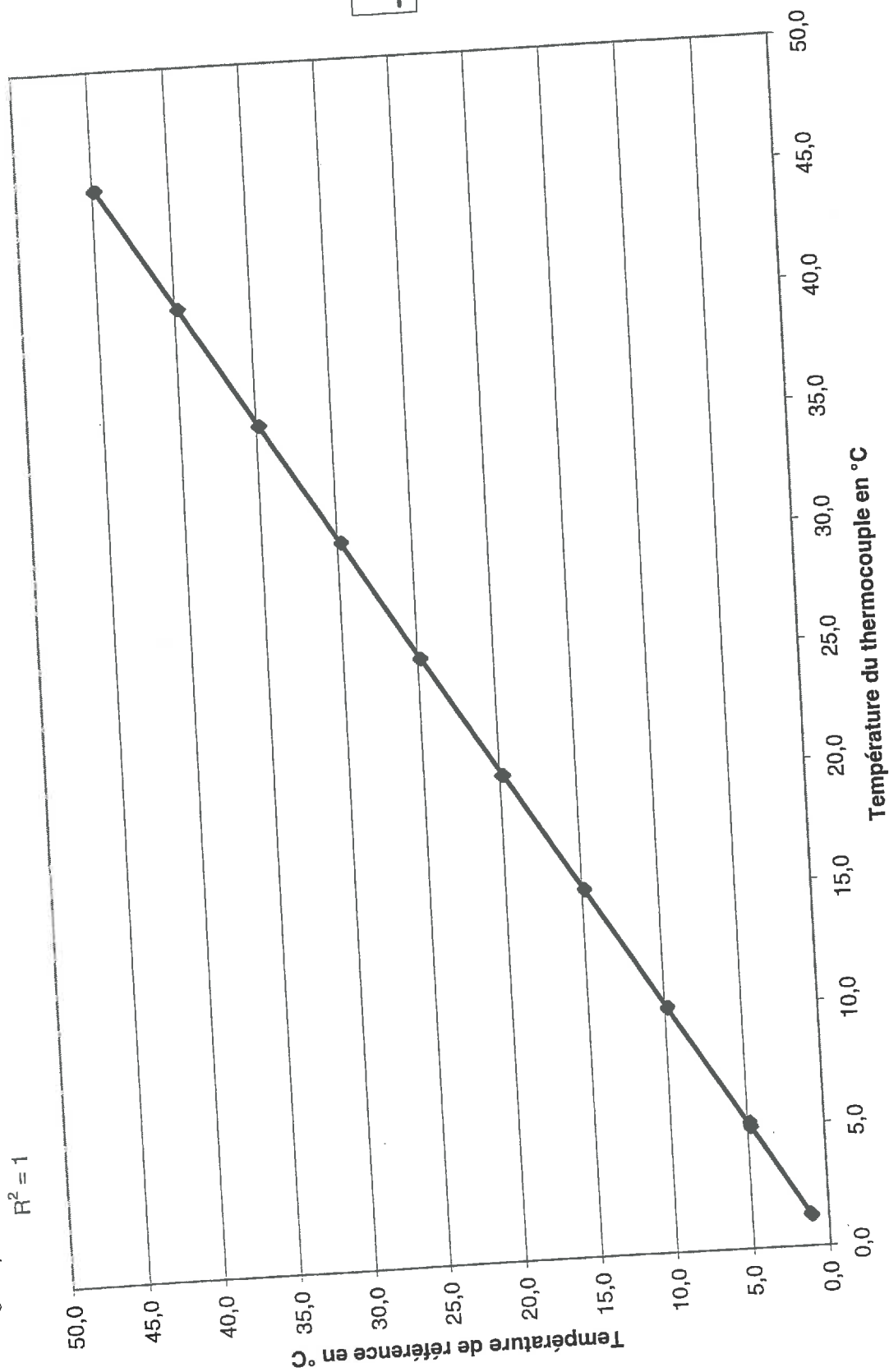
étalonnage du thermocouple Th1.1

$$\theta = 1,0283T_{\text{thermo}} - 0,9839$$
$$R^2 = 1$$



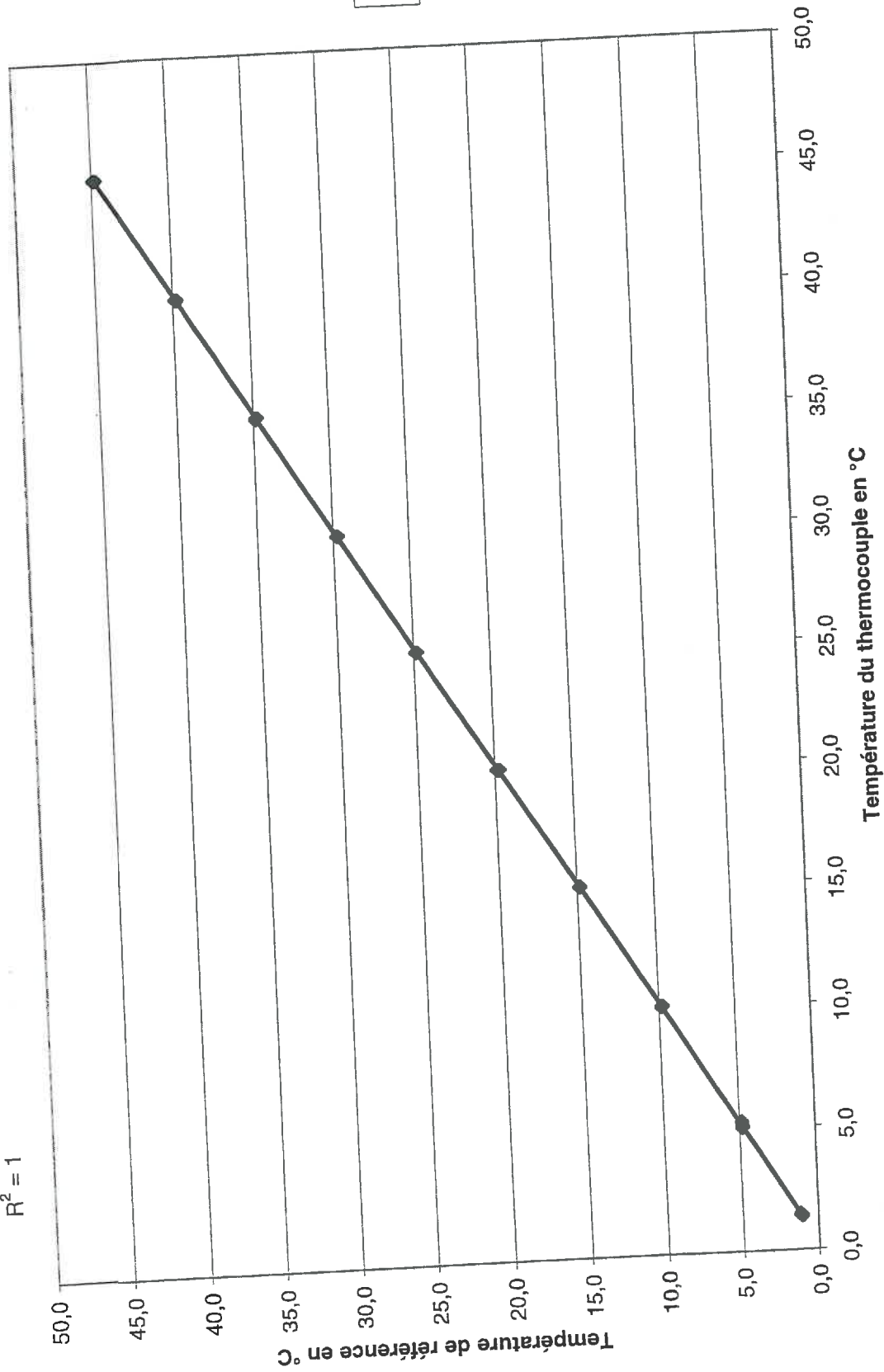
étalonnage du thermocouple Th1.2

$$\theta = 0,9964T_{\text{thermo}} - 0,1304$$
$$R^2 = 1$$



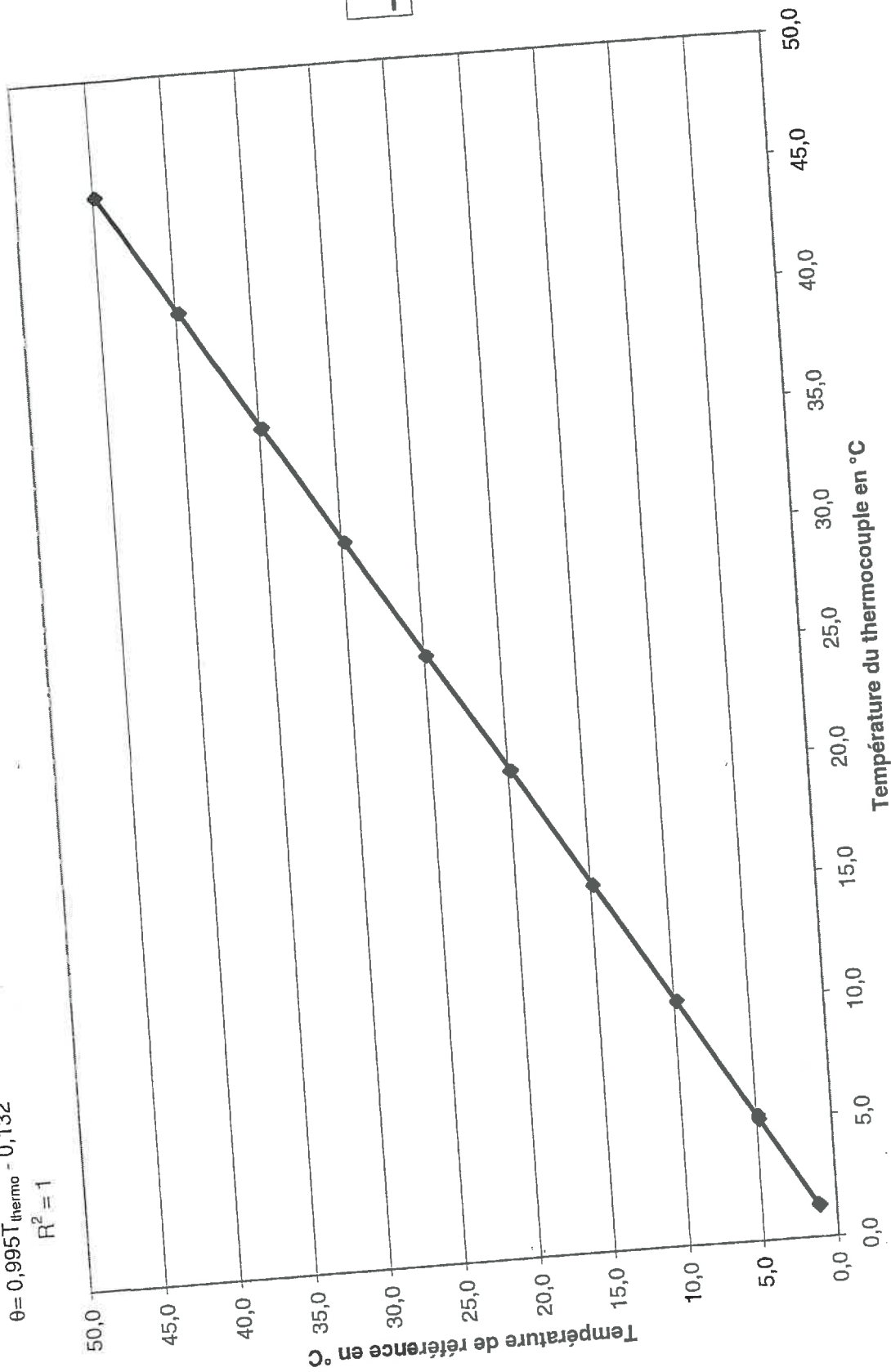
Etalonnage du thermocouple Th1.3

$$\theta = 0,9974T_{\text{thermo}} - 0,2387$$
$$R^2 = 1$$



Etalonnage du thermocouple Th1.4

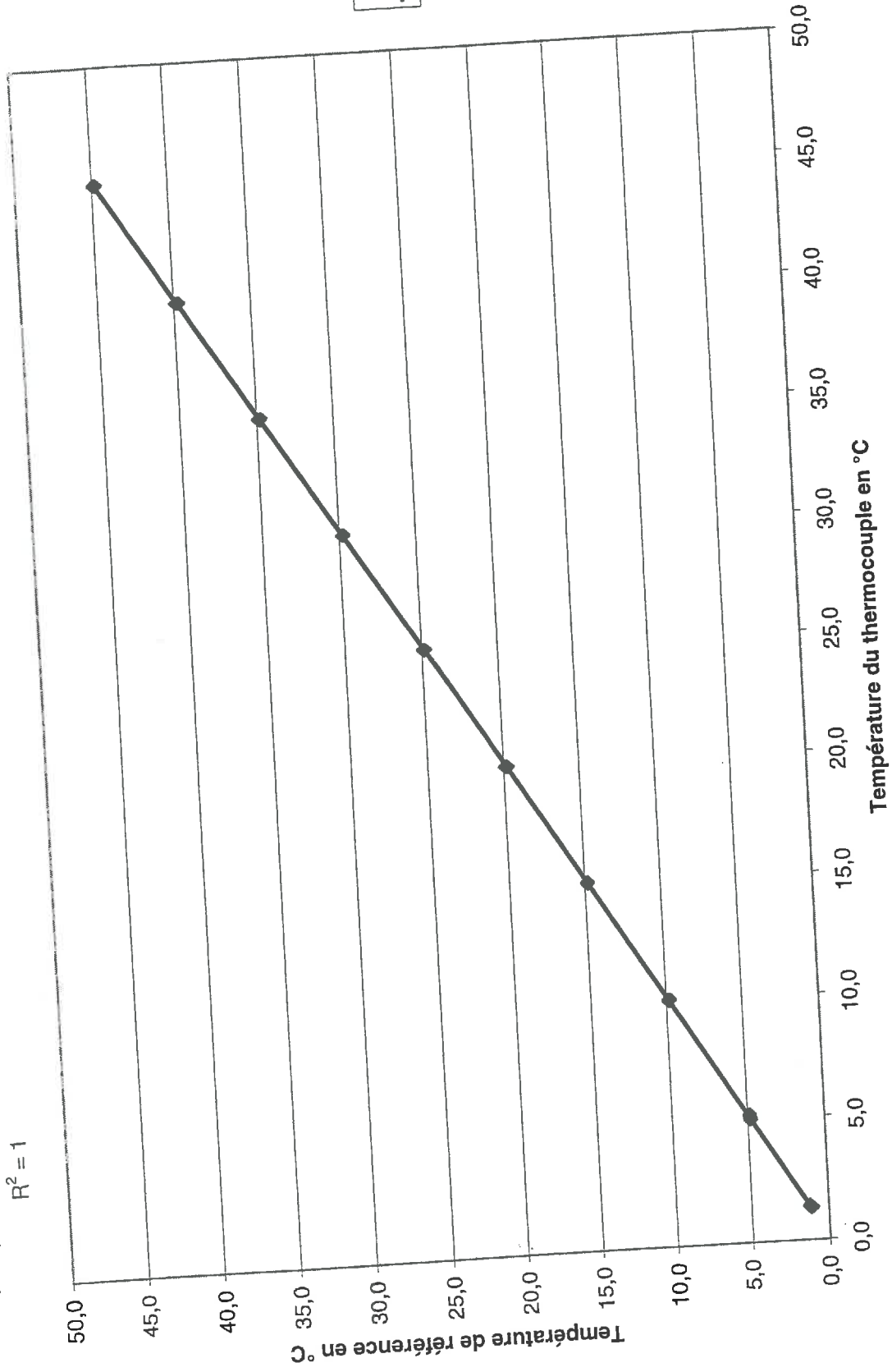
$$\theta = 0,995T_{\text{thermo}} - 0,132$$
$$R^2 \approx 1$$



◆ Tref
— Linéaire (Tref)

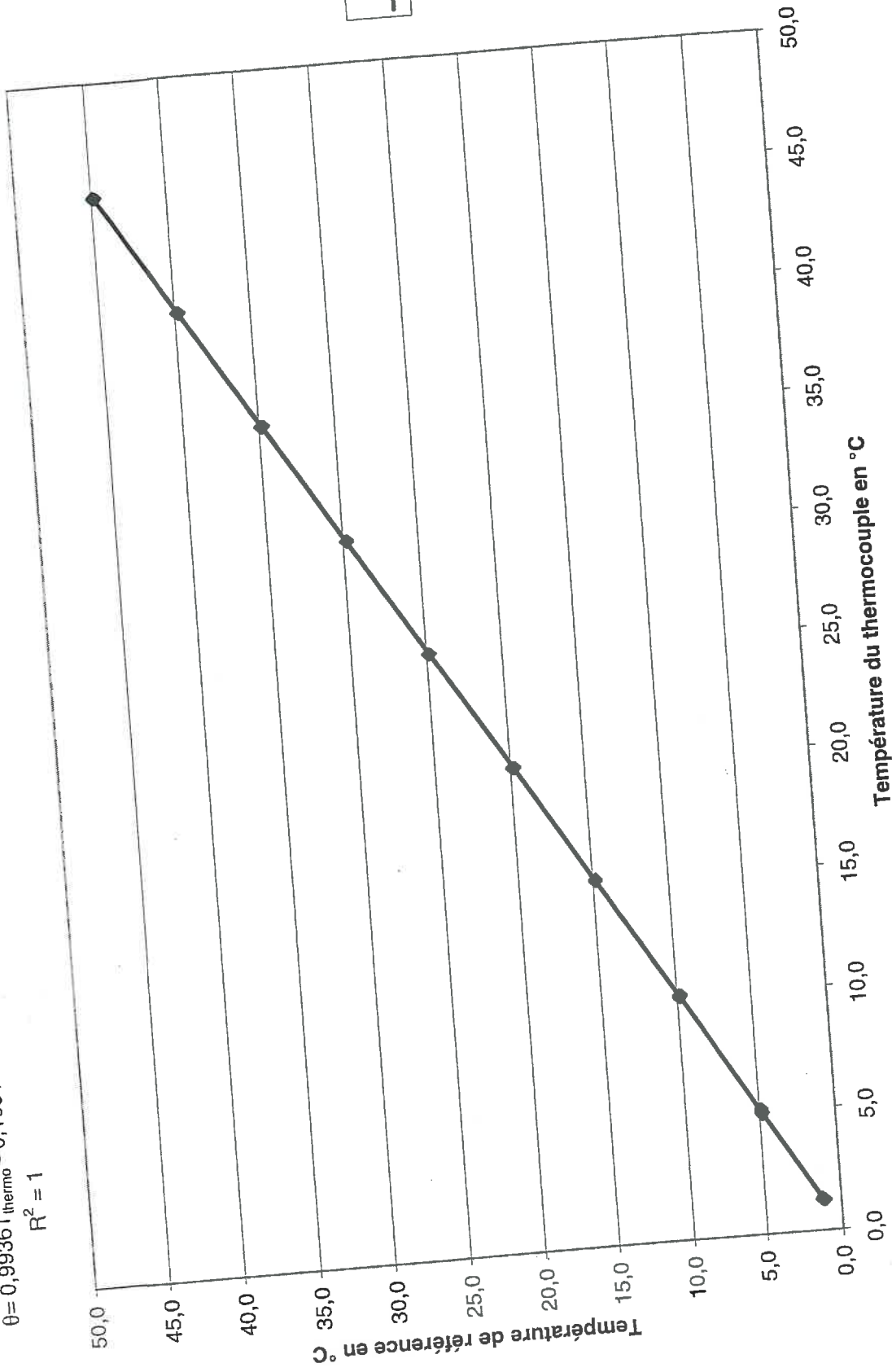
Etalonnage du thermocouple Th1.5

$$\theta = 0,9974T_{\text{thermo}} - 0,1904$$
$$R^2 = 1$$



Etalonnage du thermocouple Th1.6

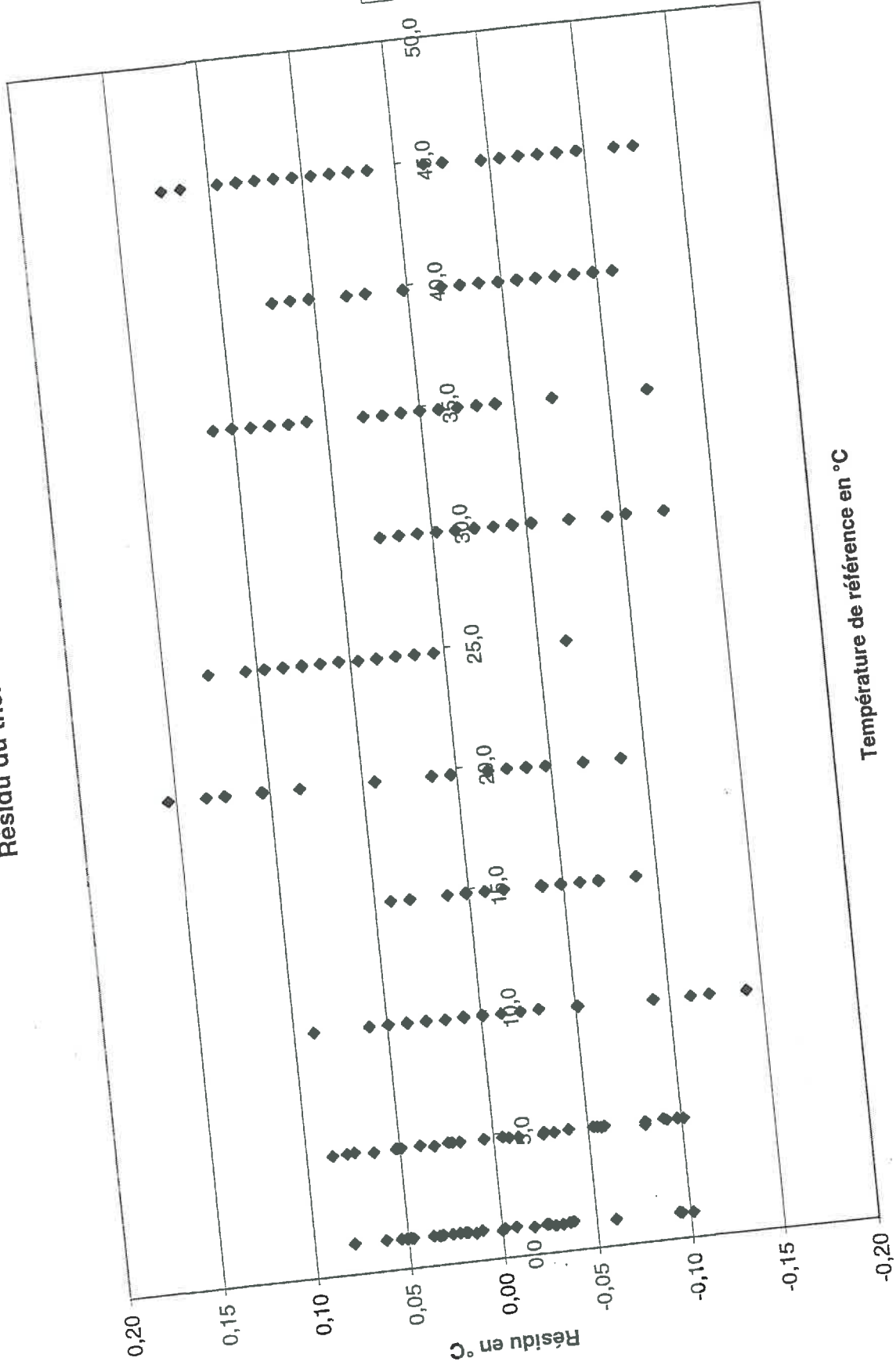
$$\theta = 0,9936T_{\text{thermo}} - 0,1051$$
$$R^2 = 1$$



◆ Tref
— Linéaire (Tref)

Résidu du thermocouple Th1.6

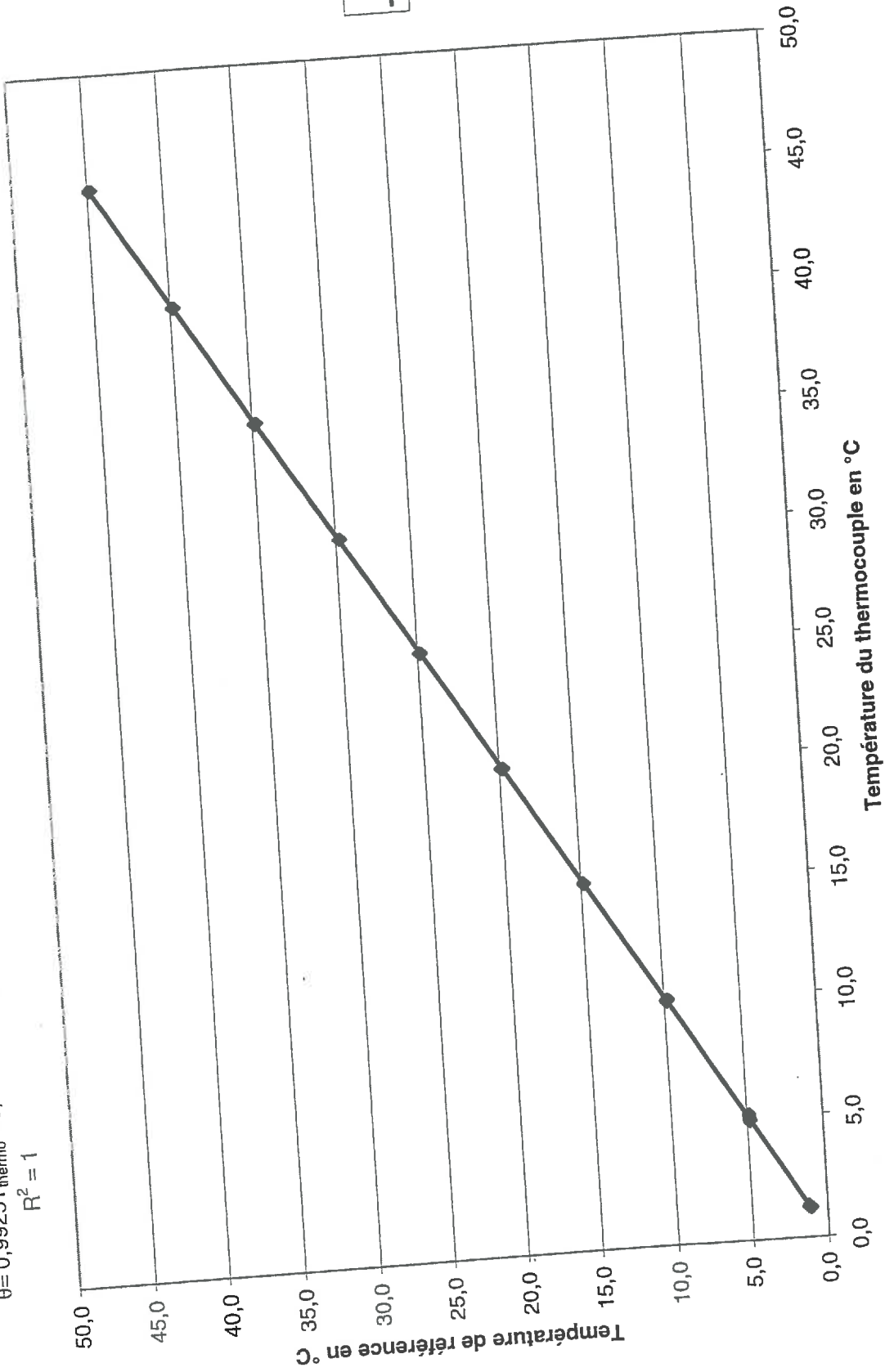
◆ Résidu 6



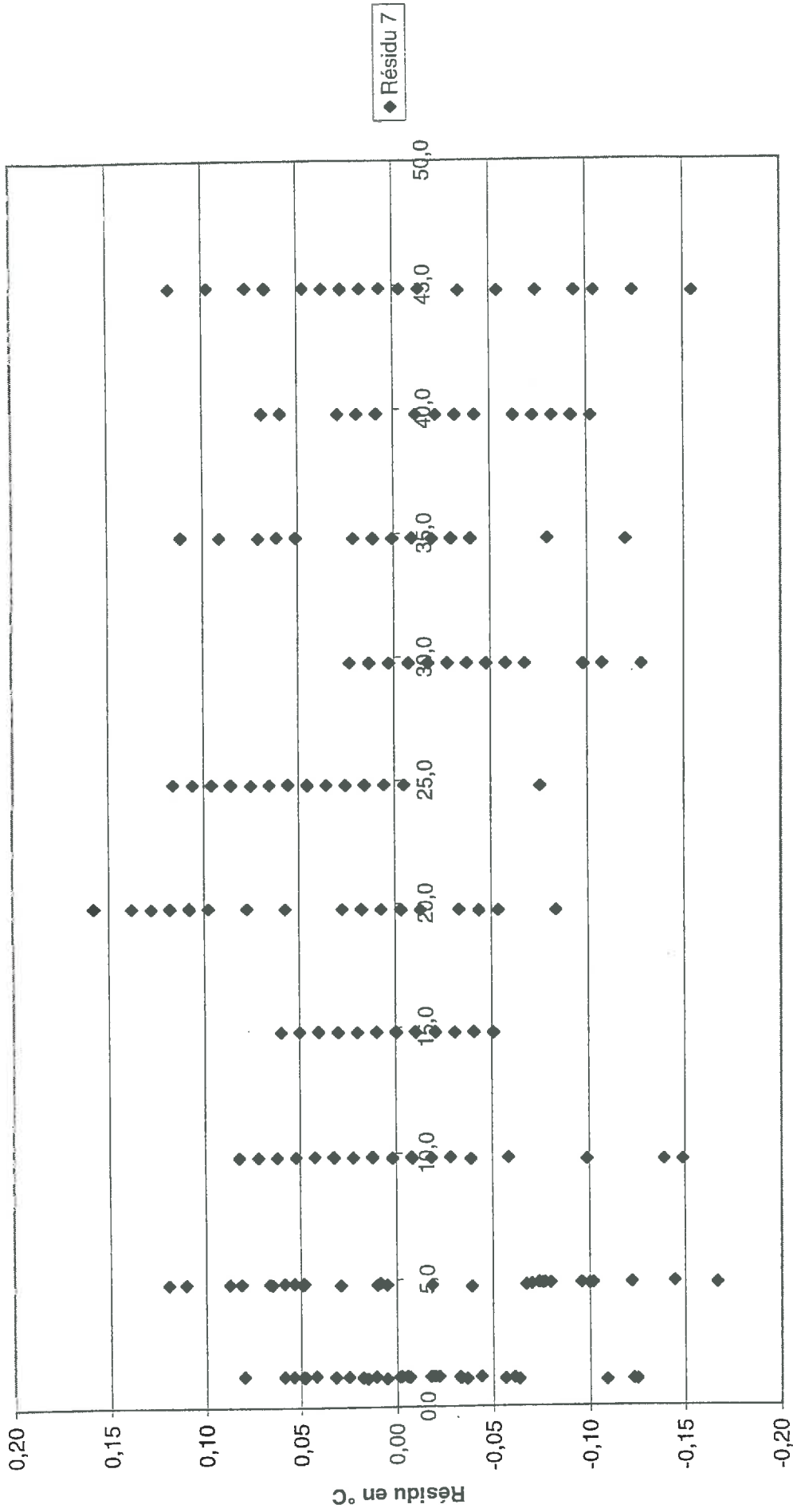
Température de référence en °C

Etalonnage du thermocouple Th1.7

$$\theta = 0,9925T_{\text{thermo}} - 0,067$$
$$R^2 = 1$$



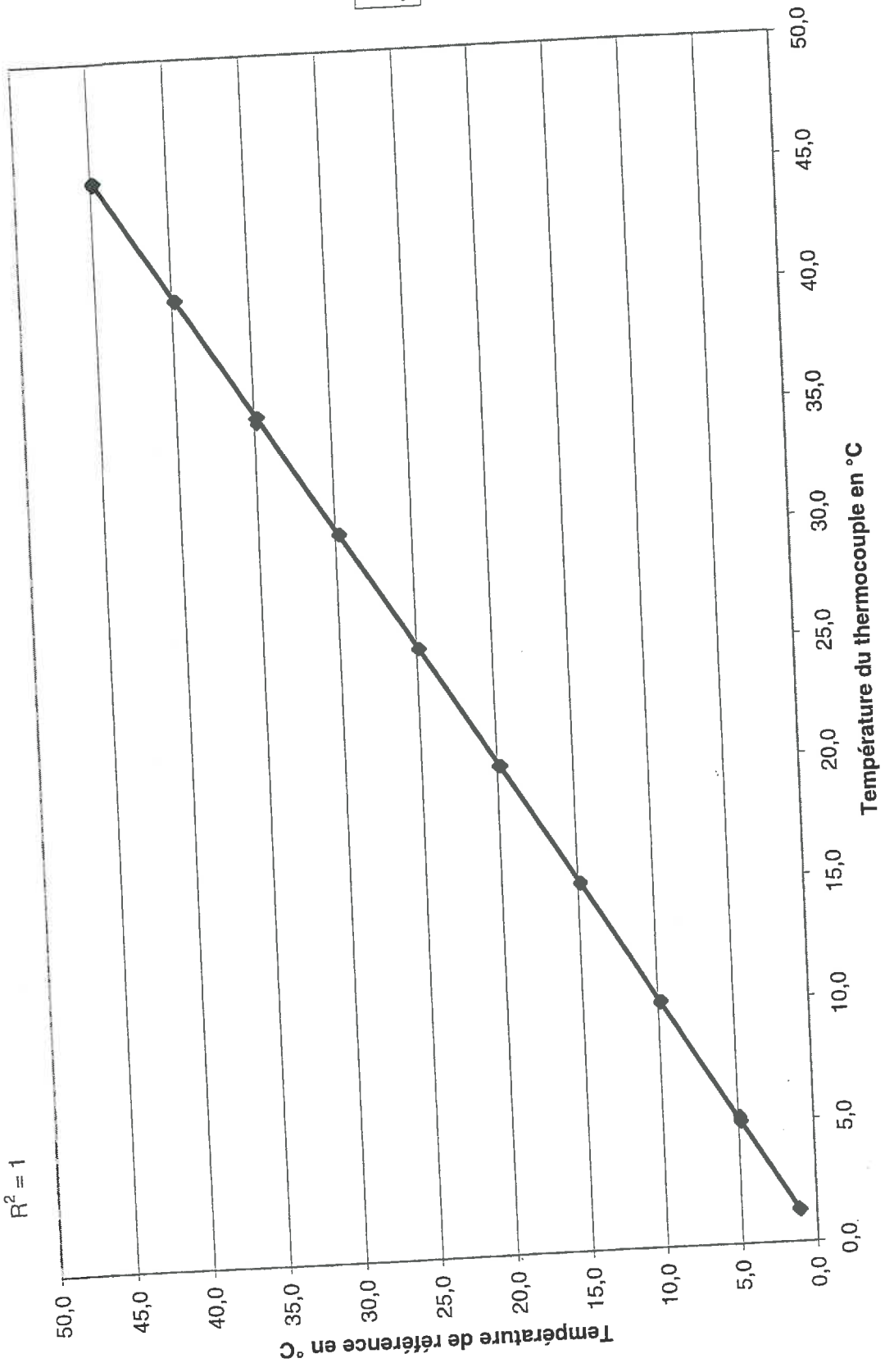
Résidu du thermocouple Th1.7



Température de référence en °C

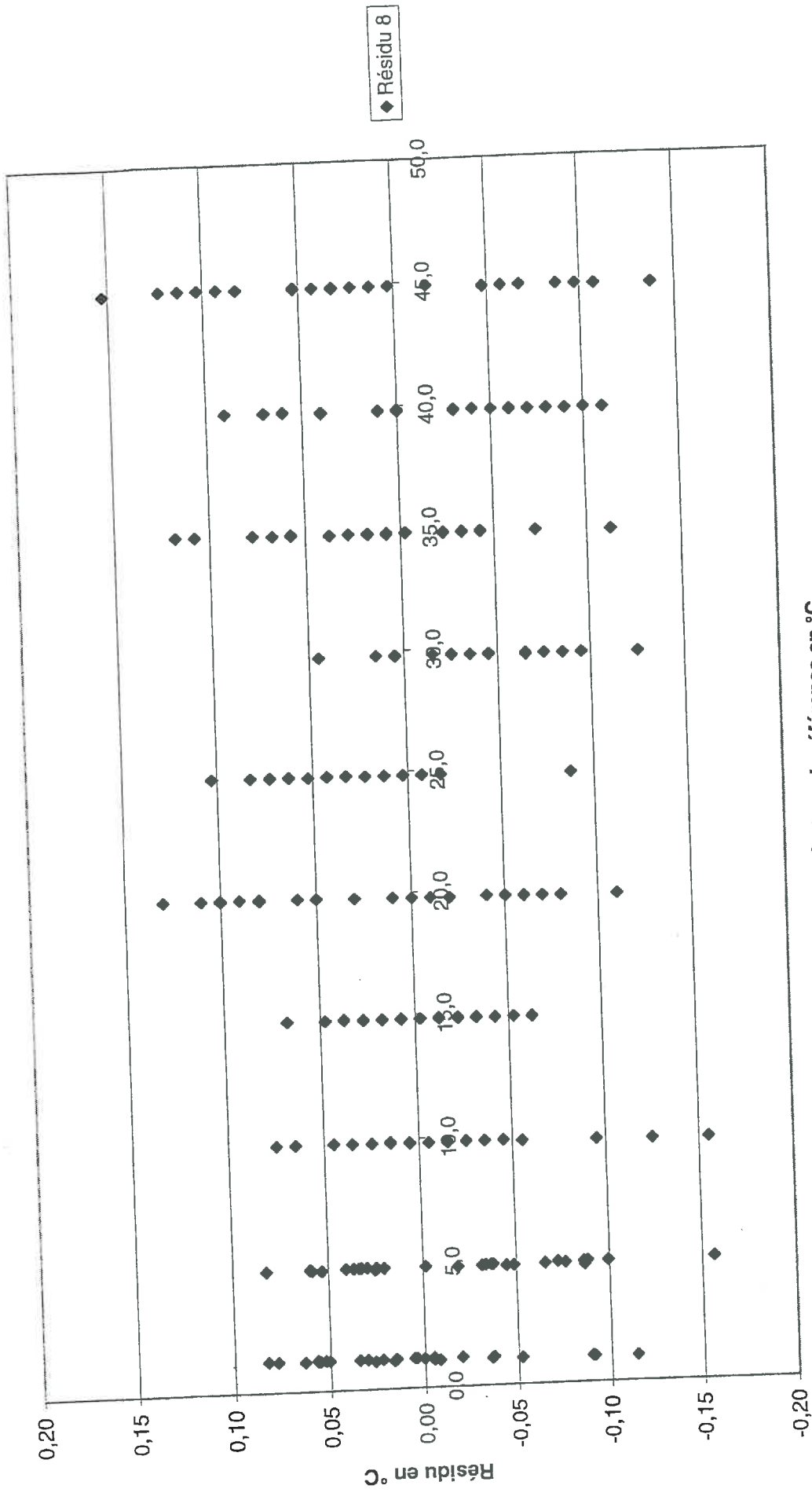
Etalonnage du thermocouple Th1.8

$$\theta = 0,9975T_{\text{thermo}} - 0,1598$$
$$R^2 = 1$$



◆ Tref
— Linéaire (Tref)

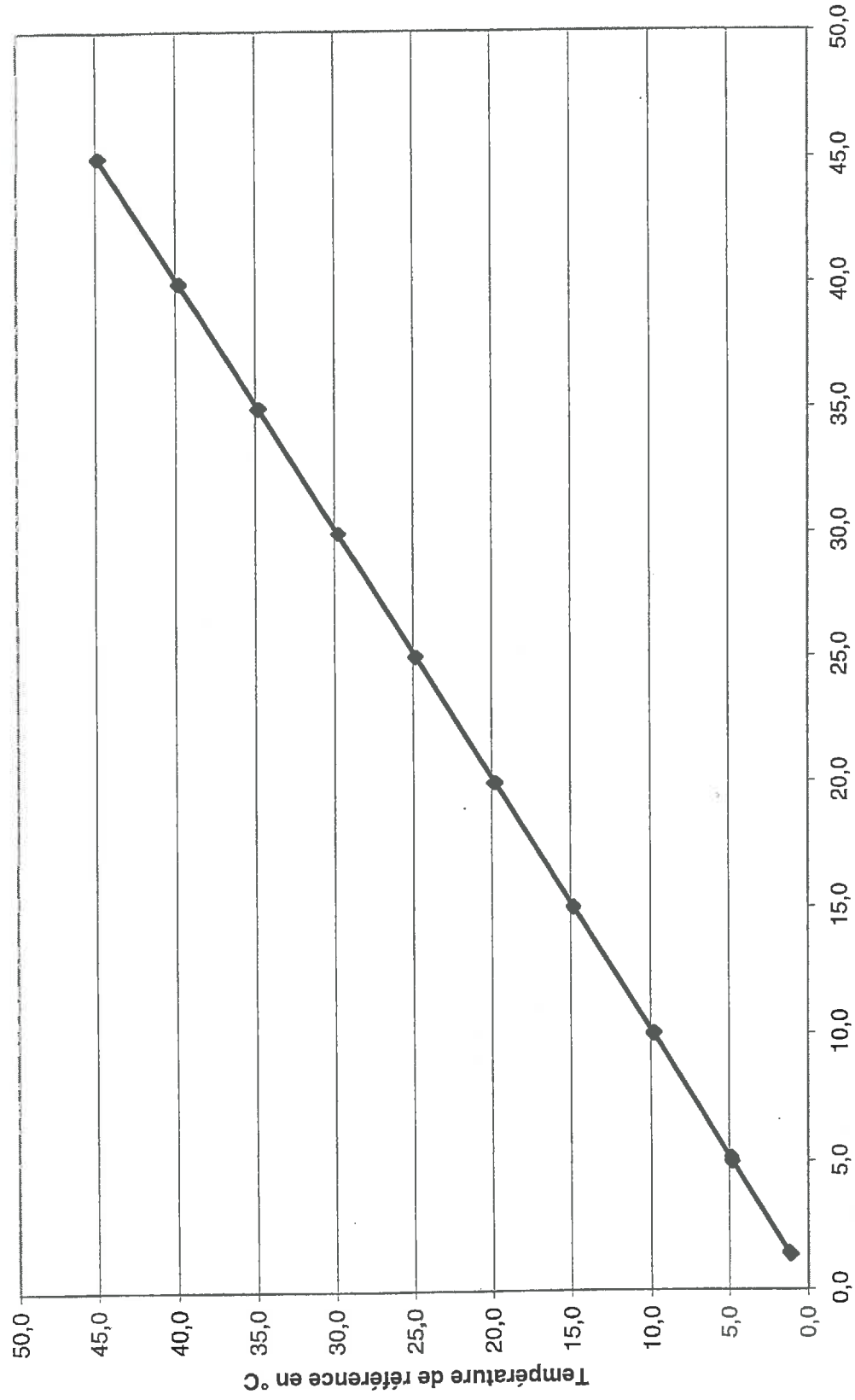
Résidu du thermocouple Th1.8



Température de référence en °C

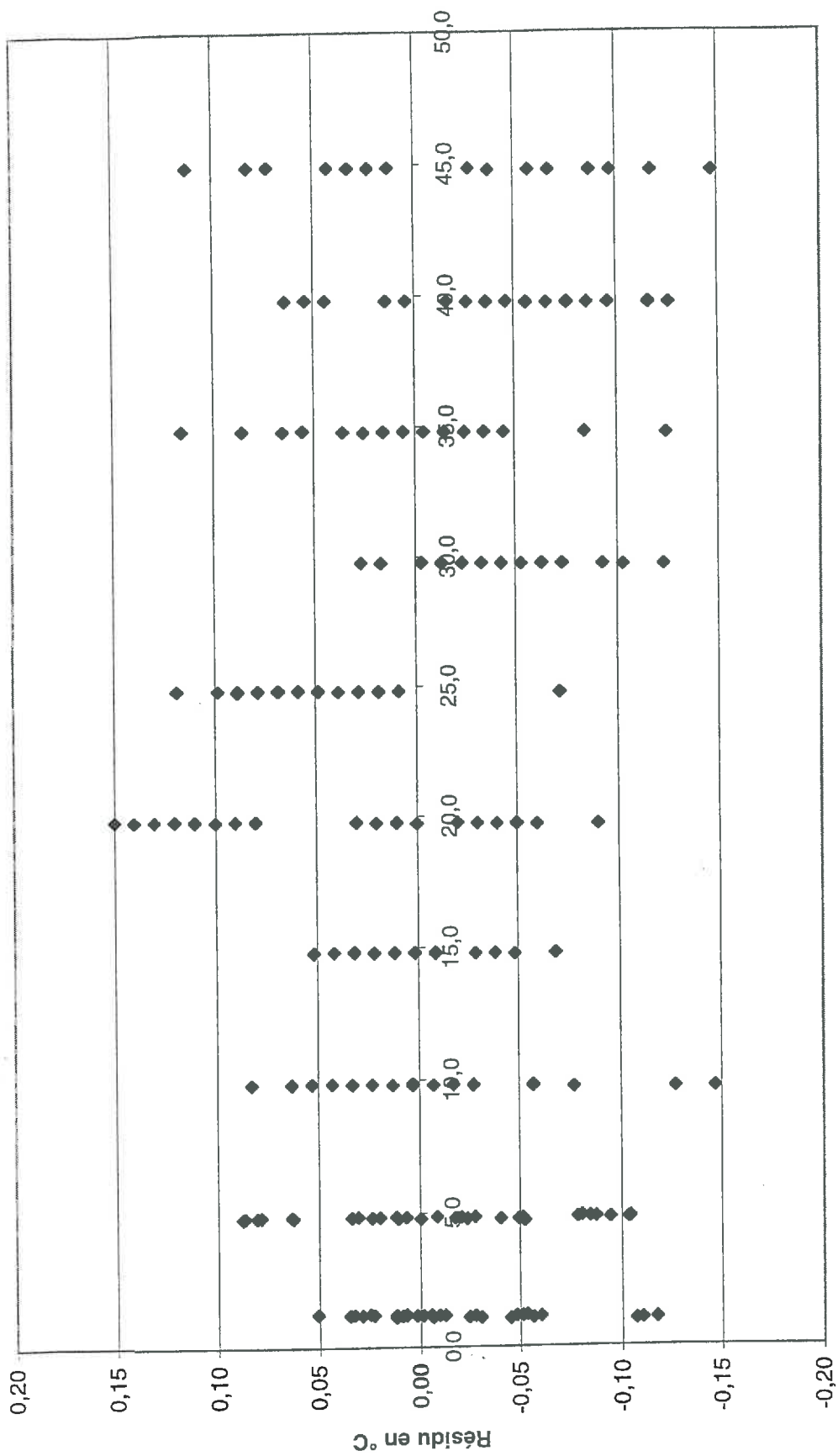
$\theta = 1,0003T_{\text{thermo}} - 0,216$
 $R^2 = 1$

Etalonnage du thermocouple Th1.9



◆ Tref
— Linéaire (Tref)

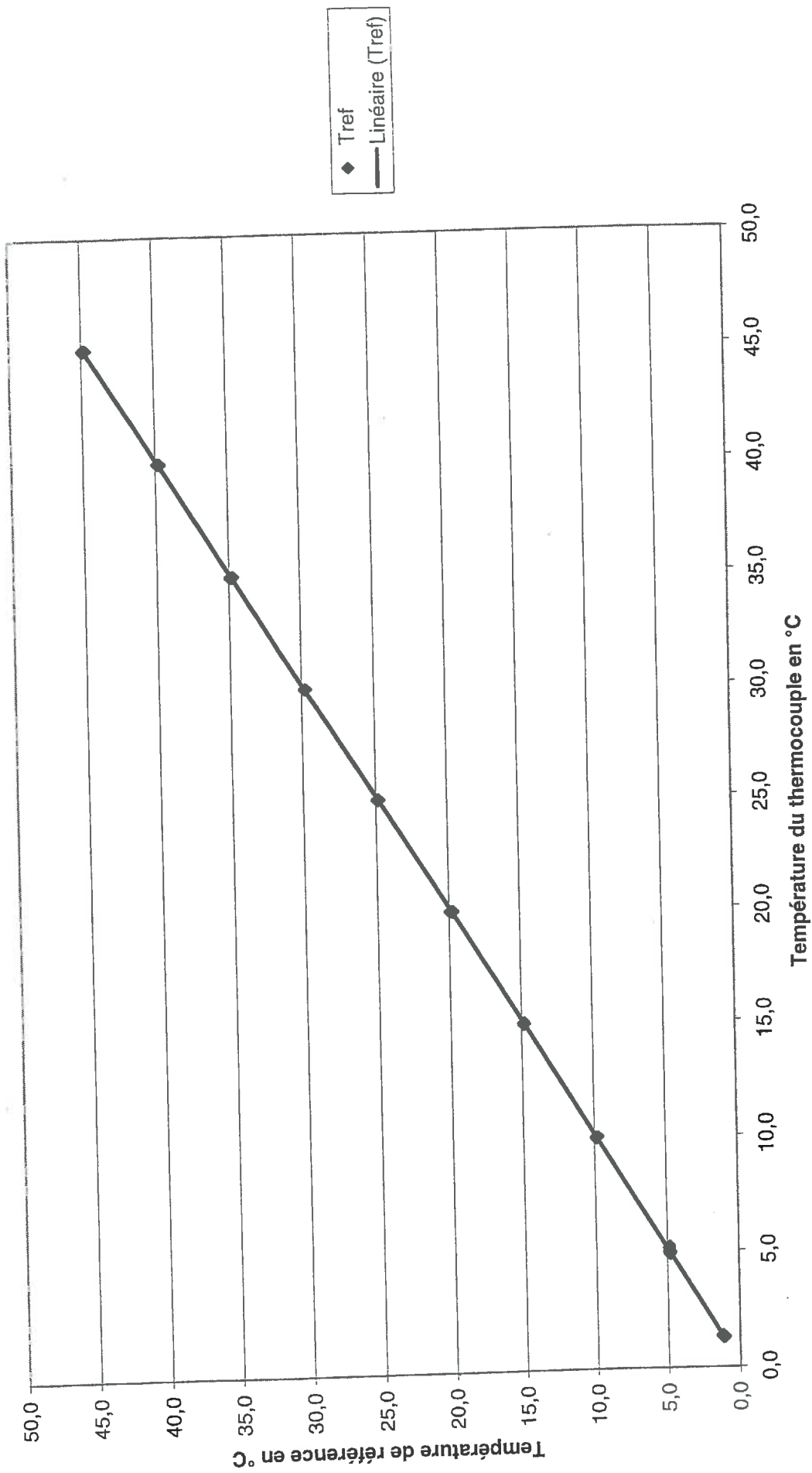
Résidu du thermocouple Th1.9



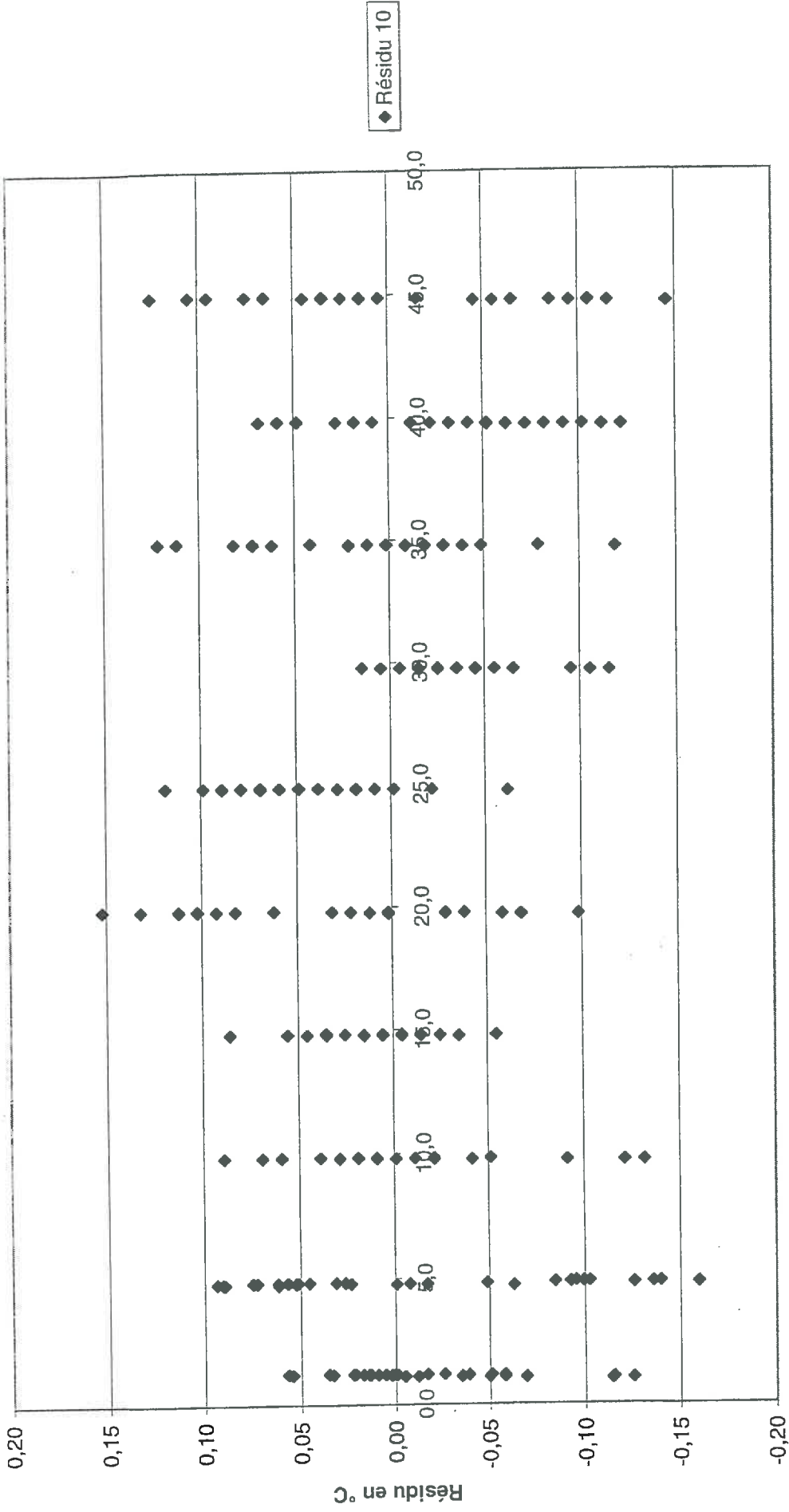
Température de référence en °C

Etalonnage du thermocouple Th1.10

$$\theta = 0,9967 T_{\text{thermo}} - 0,1457$$
$$R^2 = 1$$



Résidu du thermocouple Th1.10



Température de référence en °C

BOITIERS THERMOCOUPLES :

liste du matériel nécessaire pour refaire 4 boîtiers de thermocouples.

4 boîtiers polycarbonate série Piccolo – IP67 (fibox) (p2-45)

dimensions : 230*140*90

code commande : 188-2279

UDV :1

Prix unitaire :147.00

Prix total : 588.00

4 presses étoupes grand modèle :disponible à l'atelier

40 presses étoupes étanches IP68 (p1-107)

code commande :161.4458

UDV :1

Prix unitaire :14.09

Prix total : 563.60

40 contre-écrous à 6 pans (p1-107)

code commande :101.7302

UDV :10

Prix unitaire :24.68

Prix total : 98.72

câble multipaires blindé par tresse et ruban (alpha wire) 11 paires 5279/11C
récupération sur ancien boîtier

40 barrettes à bornes au pas de 2.54 mm MPT0.5/10-2.54 (p1-157)

code commande :181-4636

UDV :10

Prix unitaire : 44.09

Prix total : 176.36

1 plaque pré-sensibilisée (p 1-733)

dimensions 300*600

code commande :159-6091

UDV :1

Prix unitaire :265.75

Quantité :1

4 thermistances de précision (100 ohms) modèle PRC100 (p1-825)

code commande :341-452

UDV :1

Prix unitaire : 58.45

Prix total : 233.80

Résine d'enrobage et d'encapsulation UR5048RP clair souple et enlevable

code commande : 160-8481

UDV : 1

Prix unitaire : 136.00

TOUT TOTAL DE CETTE OPERATION (4 boîtiers) : 2062.23 Francs