

Cartographie en température, en deux dimensions, d'un bain d'étalonnage



Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		date de publication : 12/2007 nombre de pages : 27 bibliographie : non illustration(s) : oui langue du rapport : français
Validé par : Florence NEDELEC & Philippe RIOU. Adresse électronique :		
Titre de l'article Cartographie en température, en deux dimensions, d'un bain d'étalonnage		
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal(aux) : F. JACQUELINE	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER LERN Avenue du Général de Gaulle 15420 Port en Bessin.	
Encadrement(s) :		
Cadre de la recherche :		
Destinataire :		
Résumé Cartographie en deux dimensions d'un bain d'étalonnage, afin de déterminer la zone la plus homogène en température, sur une gamme de température de 0°C à 40°C		
Abstract Cartography in two dimensions of a calibration bath, to determine the most homogeneous zone in temperature, on a range of temperature of 0°C to 40°C		
Mots-clés Bain étalonnage, cartographie.		
Words keys Calibration bath, cartography		

INTRODUCTION

1- Matériels & méthodes	4
1.1. Présentation des matériels	3
1.1.1 Le bain d'étalonnage	3
1.1.2. Les sondes de références	4
1.1.2.1. Sonde Etalon AES	4
1.1.2.2. Thermomètre AOIP et sondes de température S1 et S2	4
1.1.2.3. Le kit d'étalonnage <i>Etalnet</i>	4
1.1.2.4. Logiciel <i>Tempernet</i>	5
1.2. Présentation des méthodes	5
1.2.1. Procédure de cartographie du bain d'étalonnage	5
1.2.1.1. Choix des températures	5
1.2.1.2. Mode opératoire de la cartographie	5
1.2.2.. Méthode de traitement des données	7
1.2.3. Détermination des zones d'homogénéité	8
1.2.4. Etalonnage de la sonde S2	8
1.2.5. Détermination des incertitudes de mesures	8
2 .Résultats	9
2.1. Test sur l'«effet temps»	9
2.1.1. Etalonnage de la sonde S2	9
2.1.2. Calcul d'incertitude de mesure pour la sonde S2	10
2.1.3. Résultats des tests sur l'effet temps	11
2.2..Cartographie du bain	13
3. Discussion, conclusion	17

Annexes	20 à 25
---------	---------

Introduction

Ce travail a pour objectif d'effectuer une cartographie, en deux dimensions, d'un bain d'étalonnage.

Il permettra de mieux appréhender son homogénéité, et donc l'incertitude type qui en découle, dimension importante dans la détermination des incertitudes de mesure des capteurs de température.

Pour ce faire un étalonnage d'une sonde de température de travail devra être réalisé, et son incertitude de mesure calculée.

1. Matériels & méthodes

1.1. Présentation des matériels

1.1.1. Le bain d'étalonnage

Le Laboratoire LER/N possède un bain utilisé pour l'étalonnage, le calibrage et la vérification des capteurs de température, utilisés pour :

- des mesures en mer
- le suivi de température d'appareils, ou de locaux,

Le bain utilisé est un THERMO-HAAKE, qui se compose de deux éléments (figure1):

- la cuve, qui comprend un système de réfrigération ;
- un élément chauffant et de régulation de la température.

Ces deux éléments lui permettent de couvrir une large gamme de température, allant de -10°C à $+150^{\circ}\text{C}$.

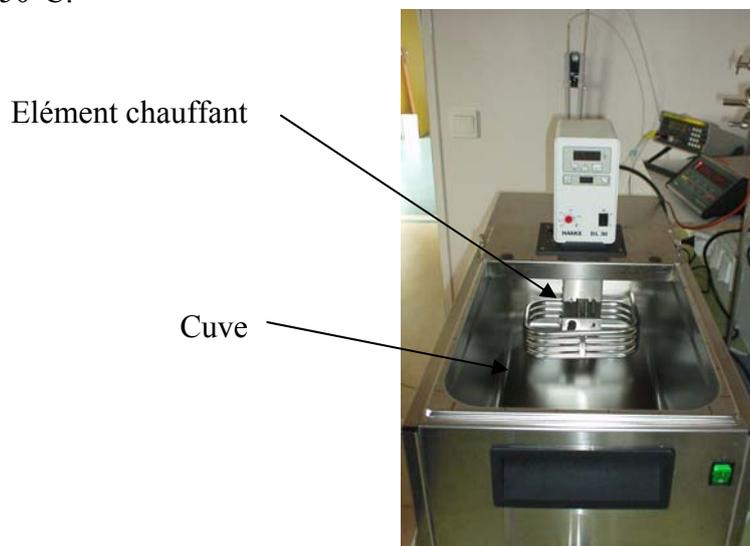


Figure 1 bain d'étalonnage Thermo Haake.

L'appareil est équipé d'éléments de sécurité et convient à un fonctionnement permanent sans surveillance.

La présence d'une sécurité de surchauffe réglable et d'une sécurité de niveau bas sollicitée dès que le niveau minimum est atteint, permet d'utiliser différents liquides caloporteurs.

Le moteur de la pompe est protégé contre les surchauffes par un disjoncteur thermique.

La sensibilité de la régulation thermique est de l'ordre de $0,01^{\circ}\text{C}$, et l'affichage est à $0,1^{\circ}\text{C}$

1.1.2. Les sondes de références

1.1.2.1. Sonde Etalon AES :

.Il s'agit d'une résistance de platine Pt 500 associée à un convertisseur analogique numérique possédant une gamme de température allant de -80°C à $+200^{\circ}\text{C}$ et de résolution $0,01^{\circ}\text{C}$. Cette sonde est dite de référence, elle est étalonnée et vérifiée métrologiquement annuellement par un Laboratoire d'étalonnage accrédité par le Cofrac.

1.1.2.2. Thermomètre AOIP et sondes de température S1 et S2 :

L'AOIP PN 5207 est un appareil de mesure de température de haute précision à microprocesseur (figure 2).

Le thermomètre est muni de deux entrées pour des capteurs à résistance thermométrique platine ou nickel 100 ohms à 0°C (Pt 100 ou Ni 100), permettant d'effectuer des mesures directes ou différentielles.

Les mesures peuvent être affichées en ohms ou en degrés ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$, Kelvin) selon la nature du capteur.

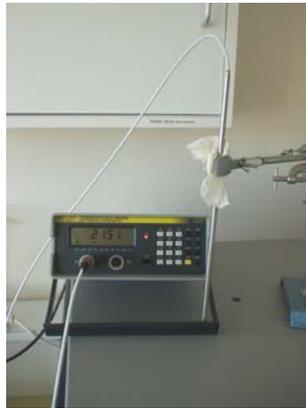


Figure 2 : photographie du thermomètre de référence AOIP PN5207.

Dans notre cas, le thermomètre est muni de deux capteurs à résistance thermométrique Platine (Pt 100), référencées S1 et S2.

S1 est un capteur de température étalon livré de paire avec l'appareil, avec un certificat d'étalonnage Cofrac en deux points.

Les certificats d'étalonnage sont conservés dans le dossier matériel (voir ANNEXE 6).

S2 est un capteur qui a été acheté pour cette étude, et dont l'étalonnage a été réalisé pendant l'étude grâce à la sonde de référence S1.

1.1.2.3. Le kit d'étalonnage *Etalnet*

Le kit d'étalonnage se compose :

- d'une sonde de référence Pt500 associée à un convertisseur analogique numérique,
- d'une interface de communication PC ;
- d'un logiciel d'étalonnage *Etalnet*.

Comme son nom l'indique, *Etalnet* est un logiciel permettant d'étalonner les sondes de température et également de les calibrer.

Dans le cadre de la cartographie du bain d'étalonnage, ce logiciel permet la mise en oeuvre de la sonde AES de référence.

1.1.2.4. Logiciel Tempernet

Ce logiciel de la société AES servira à sauvegarder et visualiser sous forme de courbe, les données issues de la sonde de référence AES.

1.2. Présentation des méthodes

1.2.1. Procédure de cartographie du bain d'étalonnage

1.2.1.1. Choix des températures

La majorité des tests et contrôles effectués en laboratoire se faisant entre 0°C et 40°C, cette plage de température a donc été retenue pour la cartographie. Au sein de cette gamme, 5 points de température ont été déterminés (0, 10, 20, 25 & 40°C)

NOTE : - le point à 25 °C a été préféré à celui à 30°C car les vérifications en laboratoire des thermo-salinomètres de terrain se font à 25°C.

- pour pouvoir réaliser la cartographie à 0°C sans endommager le matériel, de l'eau de mer est utilisée pour éviter la formation de bloc de glace autour de l'élément réfrigérant du bain. Par conséquent, l'eau de mer est utilisée pour toutes les températures afin de conserver les conditions expérimentales.

1.2.1.2. Mode opératoire de la cartographie

➤ La première étape consiste à déterminer les différents points de mesure à effectuer à l'intérieur du bain, et de les numéroter tout en sachant que, plus il y aura de points, plus la cartographie est précise.

Le bain est alors mesuré puis « découpé » de la manière suivante :

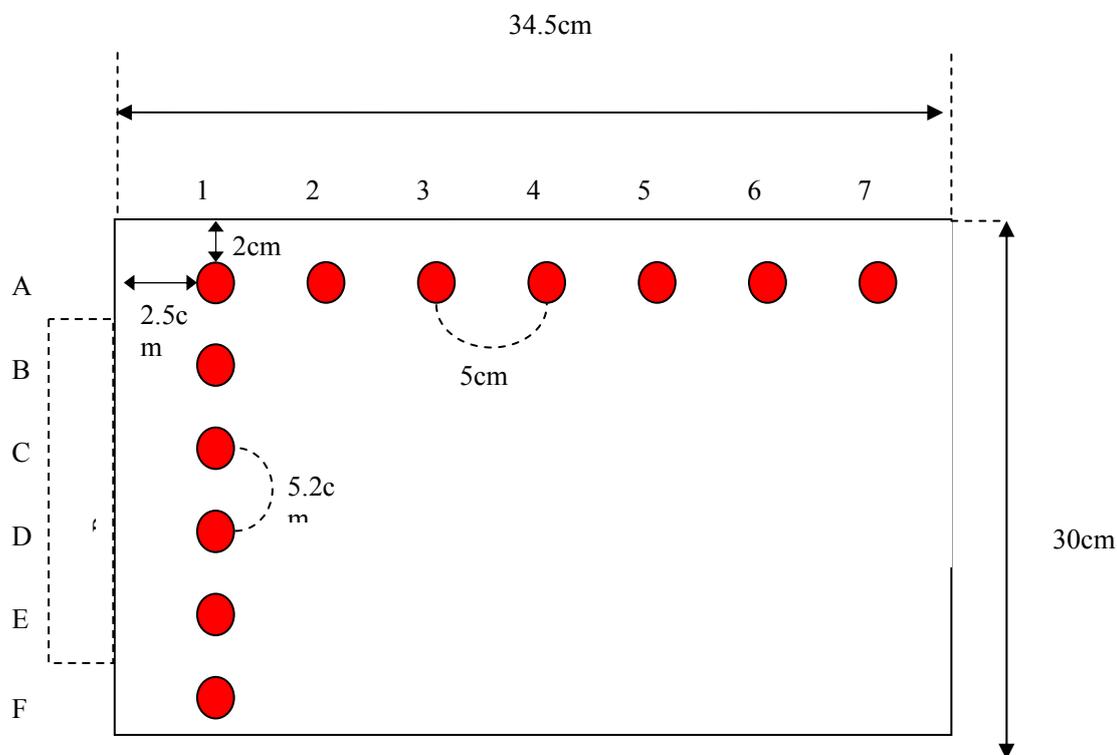


Figure 3 : Représentation des points de mesures à l'intérieur du bain d'étalonnage.

Ce découpage représente au total 42 points de mesure numérotés de A1 à F7 (Figure 3).

NOTE : - un écart d'au moins 2 centimètres doit être laissé entre les bords et les premiers points afin de limiter les éventuels effets de bord.
- un écart plus important (2.5cm) devra être laissé côté « Four », car trop proche de la sortie de la pompe de l'élément chauffant
- toutes les mesures se font en immersion maximale des capteurs de température (environ 1 centimètre du fond).

➤ La cartographie d'un bain d'étalonnage consiste à repérer les différences de température en fonction de la localisation géographique de la sonde dans ce bain. Les conditions expérimentales idéales pour réaliser cette cartographie seraient d'avoir 42 sondes et de pouvoir relever simultanément les valeurs à chaque point du bain marie.

Ceci n'étant matériellement pas possible avec les moyens disponibles, une autre méthode utilisant deux sondes a été mise en œuvre (figure 4):

- l'une est fixe tout au long de la cartographie et servira de référence,
- l'autre est mobile et est déplacée du point A1 au point F7.



Figure 4 : cartographie du bain d'étalonnage.

Pour la sonde fixe (dite de référence) on utilise la sonde AES associée au logiciel *Etalnet*. Elle sera arbitrairement placée au point A1. La sonde mobile est le thermomètre de haute précision AOIP associé à la sonde S1 (voir paragraphe 1.2.b)

➤ L'acquisition des données est réalisée comme suit :

Pour chaque point, un test de répétabilité est effectué, en relevant pendant 10 minutes toutes les minutes les valeurs données par les deux sondes.

Les valeurs de la sonde mobile sont lues au fur et à mesure sur le boîtier AOIP, tandis que les valeurs de la sonde fixe sont enregistrées par le logiciel AES, et sont accessibles à tout moment grâce à l'option « coube-1jour » qui trace l'évolution de la température donnée par la sonde AES minute par minute (figure 5)

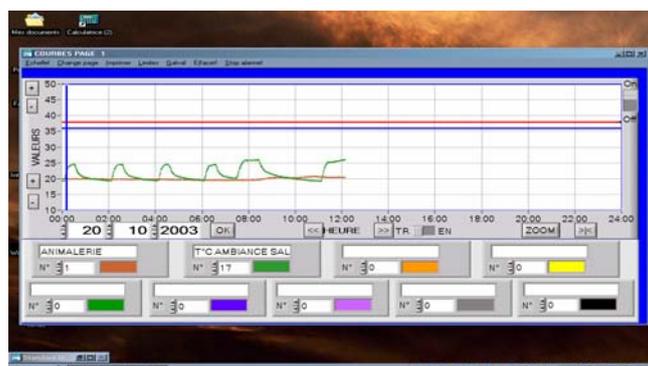


Figure 5 : Exemple de suivi de température réalisé avec Tempernet.

Le principal inconvénient de cette méthode pouvant être éventuellement induit est un « effet temps ». En effet entre les relevés de température effectués au point A1 et ceux effectués au point F7, il y a un laps de temps important, susceptible d'influencer les mesures.

Or, la cartographie consiste à montrer que seuls des critères « géographiques » au sein du bain d'étalonnage sont à l'origine des zones plus ou moins stables.

C'est pourquoi un test afin de déterminer un éventuel « effet temps » sur les mesures réalisées avec les sondes, fixe et mobile est effectué.

Vu la durée du test (huit heures), pour détecter un éventuel effet temps sur les mesurages, trois sondes seront employées simultanément :

- la sonde AES en A1, comme durant la cartographie ;
- la sonde S1, et la sonde S2, sont placées sur 2 points tirés au hasard (XX ; xx). Au préalable, la sonde S2 est étalonnée avec la sonde S1, raccordée aux étalons nationaux). Enfin, le test est limité arbitrairement à 3 points au total, faute de temps.

S'il n'y a pas de variation significative durant les huit heures pour chaque sonde, cela prouvera qu'il n'y a d'effet temps (c'est à dire pas de variation de la température dues aux fluctuations de la température ambiante, principalement), en tout point du bain.

Pour les 3 sondes le test se déroule de la façon suivante :

- choisir deux consignes de température utilisées pour la cartographie : en l'occurrence 0°C et 20°C,
- pour chaque température, relever cinq valeurs toutes les heures pendant huit heures.

1.2.2. Méthode de traitement des données

✓ Sur les mesures « Effet temps ».

L'éventuel « effet temps » est évalué en analysant les courbes de température résultant des mesurages des 3 sondes.

« L'effet temps est négligeable lorsque la variation de la température ne dépasse pas 0,02°C (ce qui correspond à deux fois la résolution des sondes concernées par ce test) et la pente de la droite très faible.

✓ Positionnement

Pour chaque point, et à chaque température, les valeurs relevées sont entrées dans des tableaux sur lesquels sont calculés moyennes et écarts types (test de répétabilité) pour chaque série de valeurs.

Pour réaliser la cartographie, les différences entre les valeurs relevées par la sonde fixe et les valeurs relevées par la sonde mobile sont étudiées.

Dans chaque tableau, les écarts types des séries de valeurs sont calculés. Si ces écarts types sont très faibles les valeurs données par les deux sondes peuvent être considérées comme stables et les moyennes en chaque point peuvent être utilisées.

Ensuite, pour chaque consigne de température, est calculée la médiane des 42 valeurs moyennes données par la sonde AES lors de la cartographie. Si celle-ci est très proche de la moyenne de ces 42 valeurs, et si le test précédent a prouvé qu'il n'existe pas d'influence du temps sur les mesures réalisées par la sonde AES, alors la valeur de cette moyenne est retirée aux valeurs obtenues avec la sonde mobile pour chaque point.

Les différentes zones homogènes en température peuvent alors être déterminées en exploitant les écarts obtenus par point du bain.

1.2.3. Détermination des zones d'homogénéité

Pour déterminer les différentes zones d'homogénéité, les écarts en chaque point sont notés sur une représentation graphique du bain, et ce pour chaque consigne de température.

Une fois les valeurs notées ils sont regroupés par valeur afin d'obtenir des zones homogènes à 0,01°C, 0,02°C, 0,03°C, et ainsi de suite.

Il faudra ensuite déterminer la zone commune la plus homogène pour les cinq consignes de température.

1.2.4. Etalonnage de la sonde S2

Cette sonde est étalonnée à l'aide de la sonde S1. Cette sonde est étalonnée sur la même gamme de température, que celle utilisée pour la cartographie du bain, et une incertitude de mesure sera calculée.

1.2.5. Détermination des incertitudes de mesures.

Une fois la sonde de température étalonnée, une incertitude de mesure est calculée, comme suit.

L'incertitude de mesure comprend plusieurs composantes (incertitudes types) susceptibles d'influencer le résultat de mesure.

Les composantes d'incertitude prises en compte sont les suivantes :

- Incertitude liée à l'étalon :

$$u_{t1} = \frac{\text{Incertainitude d'étalonnage de l'étalon (S1)}}{\text{Coefficient d'élargissement}}$$

- Incertitude liée à la résolution de l'étalon :

$$u_{t2} = \frac{\text{Résolution du thermomètre étalon}}{2\sqrt{3}}$$

- Incertitude liée à la dérive de la sonde de référence

$$u_{t3} = \frac{\text{Dérive annuelle}}{\sqrt{3}}$$

- Incertitude liée à l'homogénéité du bain d'étalonnage :

$$u_{t4} = \frac{\text{Homogénéité du bain}}{3}$$

- Incertitude liée à la résolution de la sonde :

$$u_{t5} = \frac{\text{Résolution de la sonde à vérifier}}{2\sqrt{3}}$$

- incertitude liée à la fidélité de la sonde :

$$u_f = \text{écart type}^*$$

**(le plus important des niveaux de température)*

L'application de la loi de propagation de l'incertitude permet d'estimer l'incertitude composée, notée u_c , qui est la racine carrée de la somme quadratique des incertitudes types :

$$u_c = \sqrt{u_{t1}^2 + u_{t2}^2 + u_{t3}^2 + u_{t4}^2 + u_{t5}^2 + u_f^2}$$

L'incertitude de mesure (U) est alors égale à l'incertitude composée multipliée par un facteur d'élargissement k , avec $k=2$:

2. Résultats

L'étude est effectuée en trois phases :

- Estimation de « l'effet temps » ;
- Cartographie du bain d'étalonnage ;
- Cartographie du bain d'étalonnage
- Détermination de l'incertitude de mesure.

Le premier travail à réaliser pour cartographier le bain est de s'assurer que le temps n'a pas d'influence sur les mesures de température. Pour cela il faut donc effectuer les tests sur un éventuel « effet temps ».

2.1. Test sur l'« effet temps »

Comme décrit ci-dessus, les tests sur l'effet du temps nécessitent l'utilisation d'une troisième sonde de température, dite S2.

Le premier travail a donc été d'étalonner cette sonde

2.1.1. Etalonnage de la sonde S2

Le tableau 1 regroupe les résultats de l'étalonnage de la sonde, aux différents points de température réalisés.

Les écarts types des séries de mesures ainsi que l'erreur de justesse entre la sonde S2 et la sonde de référence S1 y sont représentés, ce qui permet de déterminer l'incertitude de mesure de la sonde S2.

Etalonnage de la sonde S2

Operateur: FJ

Sonde de réf: S1

Date: 20/04/2004

Sonde a étalonner: S2

0°C			10°C			20°C			25°C			40°C		
Réf S1	Sonde: S2	Ecart	Réf S1	Sonde: S2	Ecart	Réf S1	Sonde: S2	Ecart	Réf S1	Sonde: S2	Ecart	Réf S1	Sonde: S2	Ecart
0,06	0,05	0,01	10,02	10,00	0,02	19,94	19,93	0,01	24,91	24,90	0,01	39,86	39,83	0,03
0,07	0,06	0,01	10,01	9,99	0,02	19,95	19,92	0,03	24,91	24,91	0,00	39,86	39,83	0,03
0,05	0,06	0,01	10,01	10,00	0,01	19,94	19,93	0,01	24,92	24,91	0,01	39,85	39,84	0,01
0,06	0,05	0,01	10,02	10,00	0,02	19,93	19,94	0,01	24,91	24,91	0,00	39,85	39,84	0,01
0,04	0,06	0,02	10,01	9,99	0,02	19,94	19,94	0,00	24,91	24,90	0,01	39,85	39,84	0,01
0,05	0,05	0,00	9,98	10,00	0,02	19,96	19,93	0,03	24,90	24,90	0,00	39,85	39,84	0,01
0,04	0,06	0,02	10,00	10,00	0,00	19,93	19,93	0,00	24,93	24,90	0,03	39,84	39,83	0,01
0,05	0,05	0,00	9,99	10,00	0,01	19,96	19,94	0,02	24,91	24,91	0,00	39,85	39,84	0,01
0,05	0,04	0,01	10,01	9,99	0,02	19,94	19,94	0,00	24,93	24,90	0,03	39,84	39,83	0,01
0,05	0,05	0,00	10,00	10,00	0,00	19,95	19,94	0,01	24,93	24,91	0,02	39,84	39,84	0,00
Moyenne	0,05	0,05	10,01	10,00		19,94	19,93		24,92	24,91		39,85	39,84	
Ecart moyen	0,00		0,01			0,01			0,01			0,01		
Ecart type	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tableau 1 : Etalonnage de la sonde S2.

Les résultats montrent que l'écart entre les deux sondes ne dépasse pas 0,01°C, ce qui correspond à la résolution des sondes. Il n'est donc pas utile d'appliquer un facteur de correction à la sonde S2.

L'incertitude de mesure de cette sonde est déterminée de la façon comme indiquée ci-dessous (tableau 2).

2.1.2. Calcul d'incertitude de mesure pour la sonde S2

Sonde étalon S1	Incertitudes types		u
	ut1 : Incertitude d'étalonnage	0,05	0,025
ut2 : Résolution étalon	0,01	0,00001	
ut3 : Dérive étalon	0,01	0,00003	
Bain	ut4 : homogénéité	0,03	0,01
Sonde fille S2	ut5 : Résolution	0,01	0,00001
	uf : Fidélité:	0,01	0,01
Incertitude composée $u_c=$			0,028
Incertitude élargie (pour $k=2$)=			0,06

Tableau 2 : calcul d'incertitude de mesure.

2.1.3. Résultats des tests sur l'effet temps

Les tests pour déterminer un éventuel « effet temps » sur les mesures des sondes de températures AES, S1 et S2 sont réalisés simultanément, et regroupés sur les feuilles de résultats qui suivent (tableau 3 , figures 8 &9)

Le schéma ci-dessous (figure 6), ainsi que la figure 7, représentent le bain et la localisation des points où les tests sont réalisés.

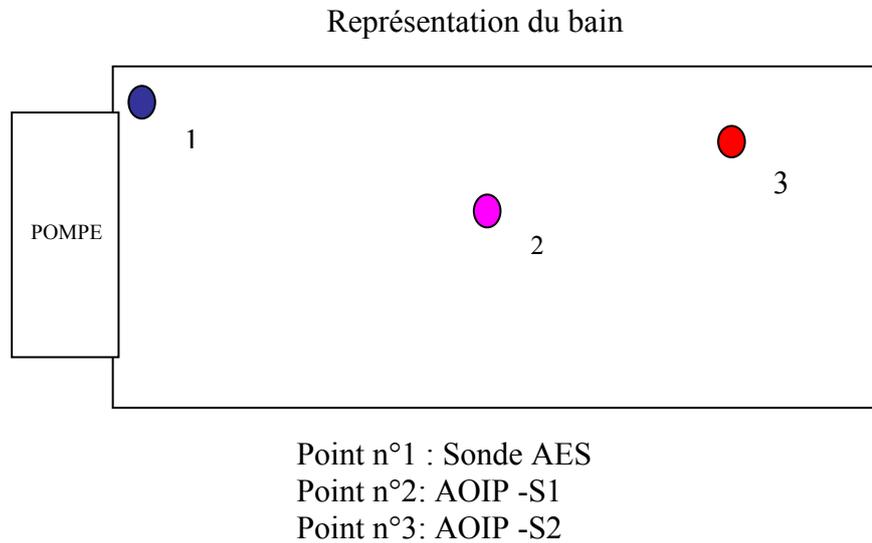


Figure 6 : disposition des trois sondes pour le test «effet temps».



Figure 7 : dispositif mis en place pour le test « effet temps ».

Les résultats montrent que pour la sonde AES, ainsi que pour les sondes S1 et S2 associées au thermomètre AOIP, les mesures de température varient peu dans le temps.

En effet les variations ne dépassent jamais 0,01°C, ce qui correspond à la résolution des différentes sondes.

Ces résultats démontrent que le temps n'a pas d'influence sur les mesures de températures réalisées par les différentes sondes utilisées.

Test de «l'effet temps» sur les mesures de la sonde mobile S2

	0°C		20°C	
	S1	S2	S1	S2
9:30	0,04	0,05		
10:30	0,04	0,05	19,93	19,92
11:30	0,04	0,05	19,93	19,92
12:30	0,05	0,05	19,94	19,92
14:00	0,05	0,05	19,94	19,93
15:00	0,04	0,05	19,94	19,93
16:00	0,05	0,05	19,94	19,93
17:00	0,05	0,05	19,94	19,93

Tableau 3 : Résultats test effet temps, sonde S2.

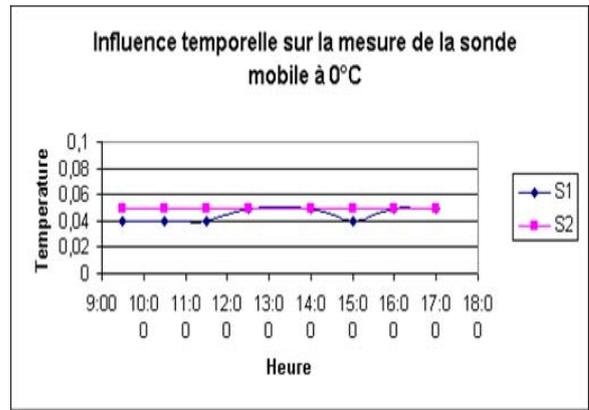
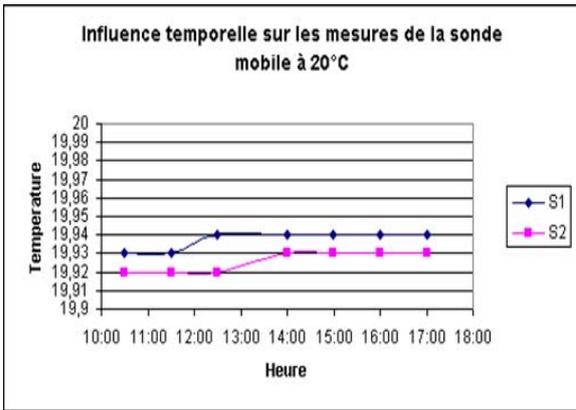


Figure 8. Influence temporelle sur le test à 20°C, sonde S2 .Figure 9. Influence temporelle sur le test à 0°C, sonde S2.

Test de «l'effet temps» sur les mesures de la sonde AES

	0°C	20°C
9:30	0,03	
10:30	0,04	19,92
11:30	0,04	19,92
12:30	0,03	19,92
14:00	0,03	19,92
15:00	0,03	19,91
16:00	0,03	19,92
17:00	0,04	19,91

Tableau 4 : Résultats test effet temps, sonde AES.

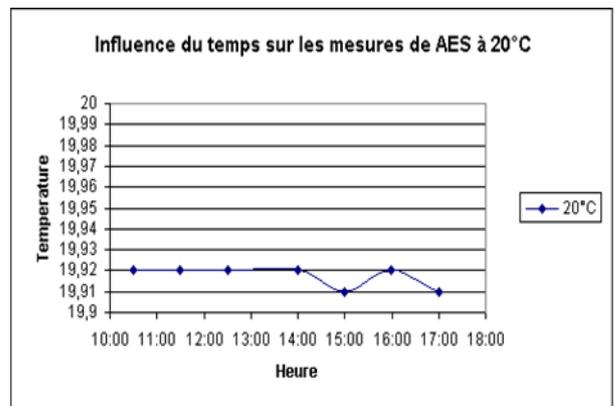
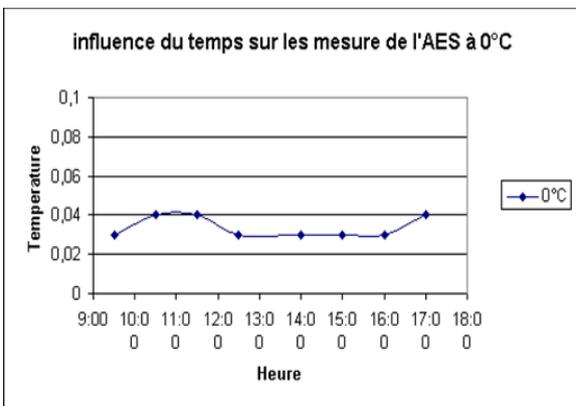


Figure 10. Influence temporelle sur le test à 0°C, sonde AES .Figure 11. Influence temporelle sur le test à 20°C, sonde AES.

2.2. Cartographie du bain d'étalonnage

Pour cartographier le bain d'étalonnage il faut donc réaliser 10 mesurages pour chaque point de cartographie, et ce pour chaque consigne de température.

Les tableaux de données suivants montrent, grâce au calcul des écarts types, que les mesures réalisées en chaque point sont stables, et donc que les sondes sont fidèles. En effet les écarts types varient entre 0,00 et 0,01, excepté le point D1 qui, à 25°C, donne un écart type de 0,04. Cette valeur plus élevée de l'écart type peut s'expliquer par le fait que ce point est proche d'un bord (effet bord), et qui plus est, du bord où se trouve l'élément chauffant. Les points proches des bords ont été exclus de l'étude, ceux-ci n'étant jamais utilisés. En effet, ils présentent le risque, suite à de mauvaises manipulations, de fournir des mesurages altérés, par exemple, par des ponts thermiques.

Les écarts types calculés sont tellement faibles qu'une zone d'homogénéité plus précise que les incertitudes des sondes de références utilisées pour l'étude peut être déterminée.

Les résultats obtenus permettent d'utiliser les valeurs moyennes en chaque point, et de travailler en terme d'écarts.

Les données utilisées sont alors rassemblées dans le tableau de la page suivante (Tableau 5).

	0°C		10°C		20°C		25°C		40°C	
	AES	AOIP	AES	AOIP	AES	AOIP	AES	AOIP	AES	AOIP
A1	0,03	0,05	9,98	10,01	19,91	19,94	24,90	24,93	39,82	39,83
A2	0,03	0,03	9,98	10,01	19,92	19,94	24,90	24,93	39,82	39,84
A3	0,03	0,04	9,98	10,01	19,92	19,94	24,90	24,94	39,82	39,85
A4	0,04	0,03	9,98	10,01	19,92	19,95	24,90	24,94	39,82	39,85
A5	0,03	0,04	9,98	10,01	19,92	19,94	24,91	24,95	39,82	39,86
A6	0,03	0,03	9,98	10,01	19,92	19,94	24,91	24,94	39,82	39,86
A7	0,03	0,03	9,98	10,02	19,91	19,95	24,90	24,94	39,82	39,86
B1	0,03	0,03	9,98	10,00	19,91	19,94	24,89	24,91	39,82	39,85
B2	0,03	0,04	9,97	10,00	19,92	19,94	24,90	24,93	39,83	39,85
B3	0,03	0,04	9,98	10,01	19,92	19,94	24,89	24,93	39,82	39,85
B4	0,03	0,04	9,97	10,01	19,92	19,94	24,89	24,93	39,82	39,86
B5	0,03	0,03	9,97	10,01	19,92	19,95	24,89	24,94	39,82	39,86
B6	0,03	0,03	9,98	10,01	19,92	19,95	24,89	24,94	39,82	39,86
B7	0,03	0,03	9,98	10,02	19,92	19,95	24,91	24,94	39,82	39,86
C1	0,03	0,03	9,97	9,99	19,91	19,94	24,90	24,91	39,82	39,84
C2	0,03	0,03	9,97	10,00	19,91	19,94	24,90	24,91	39,82	39,84
C3	0,03	0,03	9,97	10,00	19,91	19,94	24,90	24,92	39,82	39,84
C4	0,03	0,03	9,97	10,01	19,91	19,95	24,89	24,92	39,82	39,85
C5	0,04	0,02	9,97	10,01	19,91	19,95	24,90	24,92	39,82	39,86
C6	0,04	0,02	9,97	10,01	19,91	19,95	24,90	24,93	39,82	39,86
C7	0,03	0,03	9,97	10,01	19,91	19,96	24,90	24,93	39,82	39,86
D1	0,03	0,04	9,98	9,89	19,92	19,94	24,89	24,90	39,82	39,87
D2	0,03	0,04	9,98	10,00	19,92	19,95	24,89	24,92	39,82	39,85
D3	0,03	0,05	9,98	10,01	19,91	19,95	24,90	24,92	39,83	39,86
D4	0,03	0,05	9,98	10,01	19,92	19,95	24,90	24,93	39,82	39,86
D5	0,03	0,05	9,98	10,01	19,91	19,96	24,90	24,93	39,82	39,86
D6	0,03	0,06	9,98	10,01	19,92	19,96	24,90	24,94	39,82	39,86
D7	0,03	0,05	9,98	10,01	19,92	19,96	24,90	24,94	39,82	39,86
E1	0,03	0,04	9,98	9,99	19,93	19,93	24,90	24,90	39,83	39,85
E2	0,03	0,04	9,98	10,00	19,92	19,93	24,90	24,91	39,83	39,83
E3	0,03	0,04	9,98	10,00	19,92	19,93	24,90	24,91	39,84	39,82
E4	0,02	0,05	9,97	10,01	19,93	19,95	24,90	24,93	39,84	39,86
E5	0,03	0,05	9,97	10,01	19,93	19,95	24,90	24,93	39,84	39,86
E6	0,03	0,06	9,97	10,01	19,93	19,95	24,89	24,93	39,84	39,86
E7	0,03	0,05	9,98	10,02	19,93	19,95	24,89	24,93	39,84	39,87
F1	0,02	0,03	9,98	9,96	19,93	19,90	24,89	24,81	39,83	39,76
F2	0,03	0,06	9,97	10,01	19,93	19,95	24,89	24,91	39,84	39,88
F3	0,03	0,06	9,97	10,01	19,93	19,96	24,89	24,93	39,84	39,88
F4	0,03	0,05	9,98	10,02	19,93	19,97	24,89	24,93	39,83	39,88
F5	0,03	0,05	9,97	10,02	19,93	19,97	24,89	24,93	39,84	39,88
F6	0,03	0,06	9,98	10,02	19,93	19,96	24,89	24,93	39,83	39,87
F7	0,03	0,05	9,97	10,01	19,93	19,96	24,89	24,93	39,84	39,87

Tableau 5 : Données de la cartographie, par points de mesure.

Ensuite pour les 42 points, et pour chaque température sont calculées :
 - la moyenne et la médiane des 10 mesurages avec la sonde fixe AES ;
 - la moyenne et la médiane des 10 mesurages avec la sonde mobile S1.

	0°C	10°C	20°C	25°C	40°C
MOYENNE	0,03	9,98	19,92	24,90	39,83
MEDIANE	0,03	9,98	19,92	24,90	39,82

Tableau 6 : calcul des moyennes et des médianes.

Ce tableau montre que les moyennes et médianes sont quasiment identiques, pour chaque niveau de température. Cela signifie que les valeurs sont équitablement dispersées autour de la valeur moyenne.

Grâce à ces résultats, et à ceux obtenus précédemment démontrant que l'« effet temps » n'affecte pas les mesures de la sonde AES, les écarts peuvent donc être calculés plus facilement, en retirant aux valeurs relevées par la sonde mobile en chaque point la valeur moyenne de celles relevées par la sonde fixe AES (Tableau 7).

Points	°C				
	0°C	10°C	20°C	25°C	40°C
A1	0,02	0,03	0,02	0,03	0,00
A2	0,00	0,03	0,02	0,03	0,01
A3	0,01	0,03	0,02	0,04	0,02
A4	0,00	0,03	0,03	0,04	0,02
A5	0,01	0,03	0,02	0,05	0,03
A6	0,00	0,03	0,02	0,04	0,03
A7	0,00	0,04	0,03	0,04	0,03
B1	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02
B2	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02
B3	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02
B4	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03
B5	0,00	0,03	0,03	0,04	0,03
B6	0,00	0,03	0,03	0,04	0,03
B7	0,00	0,04	0,03	0,04	0,03
C1	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
C2	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01
C3	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01
C4	0,00	0,03	0,03	0,02	0,02
C5	-0,01	0,03	0,03	0,02	0,03
C6	-0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
C7	0,00	0,03	0,04	0,03	0,03
D1	0,01	-0,09	0,02	0,00	0,04
D2	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
D3	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
D4	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
D5	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03
D6	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03
D7	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
E1	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02
E2	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00
E3	0,01	0,02	0,01	0,01	-0,01
E4	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
E5	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
E6	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
E7	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04
F1	0,00	-0,02	-0,02	-0,09	-0,07
F2	0,03	0,03	0,03	0,01	0,05
F3	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05
F4	0,02	0,04	0,05	0,03	0,05
F5	0,02	0,04	0,05	0,03	0,05
F6	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04
F7	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04

Tableau 7 : écarts de température.

Les résultats sont alors exploitables en terme de position géographique puisque les résultats déjà obtenus montrent qu'il n'y a pas « d'effet temps » pour les mesurages réalisés avec la sonde S1.

Les écarts obtenus en chaque point sont alors notés sur une représentation graphique du bain dans la zone correspondante, et cela pour chaque consigne de température.

Les zones sont différenciées par un code couleur, comme suit :

- rouge : écart $\geq 0,04^{\circ}\text{C}$
- vert : écart = $0,03^{\circ}\text{C}$
- bleu : écart $\leq 0,02^{\circ}\text{C}$

Les 5 représentations sont disponibles en annexe (Annexes 1 à 5)

Le but de cette étude est de déterminer la zone la plus stable et la plus homogène possible, commune aux 5 consignes de température (0°C ; 40°C)

Cela se fait par superposition des représentations graphiques pour les différentes températures, permettant de définir la zone ainsi déterminée (Figures 12 & 13)

La figure 11, ci-dessous, représente cette zone ainsi définie.

Cette zone est homogène à $0,03^{\circ}\text{C}$, et deviendra la zone d'utilisation principale du bain d'étalonnage.



Figure 12 : photographie du bain marie avec son cache.

Représentation de la zone la plus homogène.

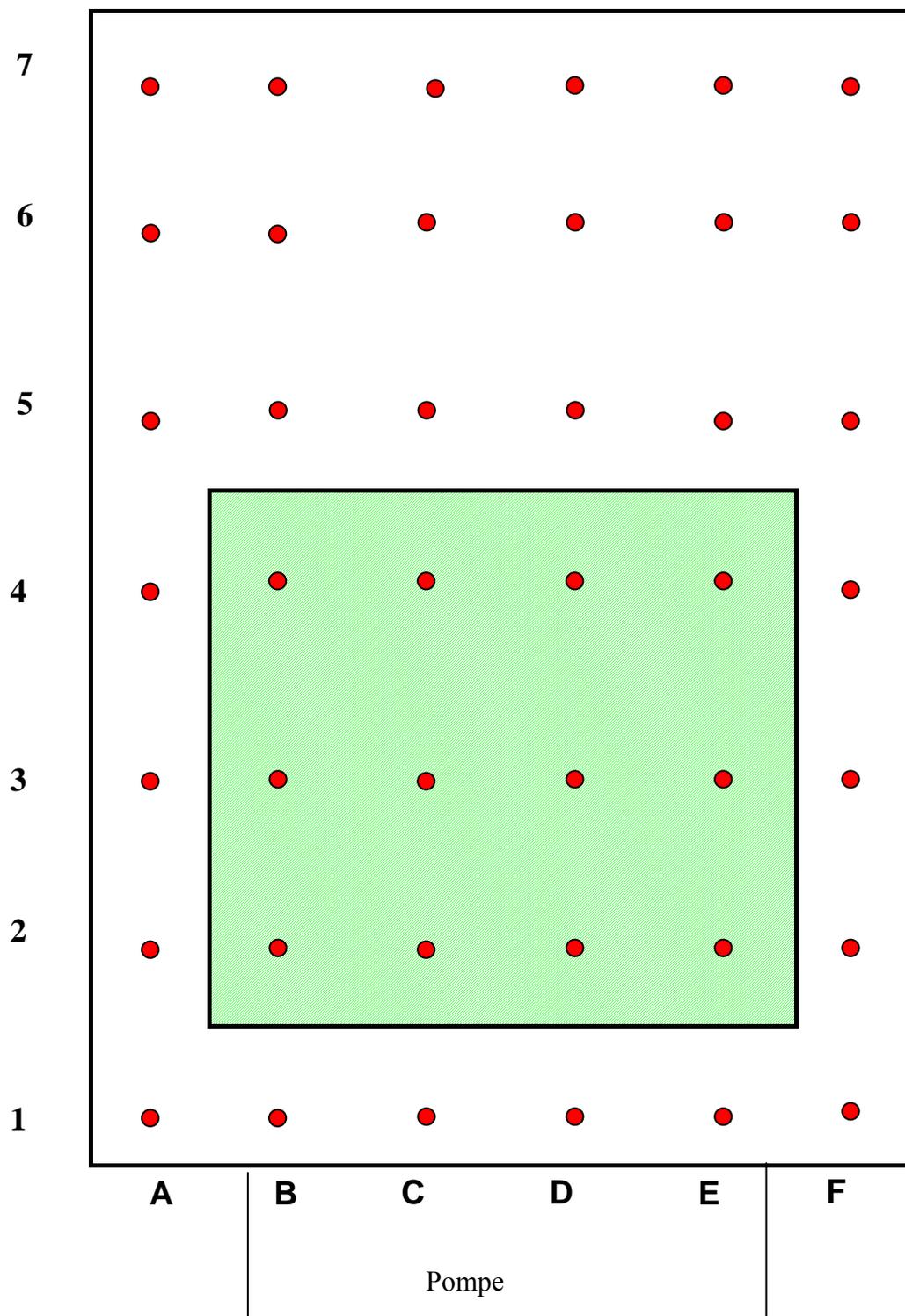


Figure 13 : zone homogène à 0,03°C. Discussion, conclusion

3. Discussion-Conclusion

Les résultats obtenus lors de la cartographie du bain se révèlent satisfaisants. En effet, l'étude a permis de définir une zone homogène à $0,03^{\circ}\text{C}$, sur la gamme de température 0 à 40°C , ce qui est un très bon résultat étant donné que :

- la résolution des sondes de température est de $0,01^{\circ}\text{C}$ et que leur EMT est de $0,05^{\circ}\text{C}$. De plus cela a permis d'écartier, ce qui est tout aussi important, des zones moins stables notamment le long des parois, et aux alentours de la sortie de l'élément chauffant ;
- le volume important de ce bain d'étalonnage (environ 25 litres).

Cette zone stable à $0,03^{\circ}\text{C}$, a été délimitée physiquement par un cache (Figure 12 & 13).

D'autre part on s'aperçoit (annexe 1), que ce bain est très performant à 0°C ; à cette température le bain est stable entre $0,00^{\circ}\text{C}$ et $0,02$ sur environ 85% de sa superficie.

De plus, il est intéressant de pouvoir disposer de la localisation de la zone la plus homogène, en fonction de la température désirée..

Il est intéressant de préciser que cette cartographie a été réalisée en deux dimensions. La tranche d'eau a été considérée comme homogène. Ce postulat de départ s'explique par le fait que :

- la plupart des sondes de température, ou thermo salinomètres qui sont calibrés dans ce bain, sont de taille importante, et intègrent les mesures de température sur une hauteur assez conséquente (moitié inférieure de la tranche d'eau) ;
- que le thermomètre de référence (AOIP-S1) est toujours utilisé, comme il a été utilisé durant ces travaux, c'est à dire à immersion maximale (environ 1 cm du fond).

Cependant il serait intéressant d'effectuer ultérieurement une cartographie à plusieurs niveaux de profondeur (3D), uniquement sur le secteur le plus stable, mis en évidence par cette étude.

Grâce à la bonne stabilité de ce bain d'étalonnage, les résultats obtenus lors de l'étalonnage de la sonde S2, sont aussi très satisfaisants. En effet, l'incertitude de mesure de cette sonde est de $\pm 0,06^{\circ}\text{C}$. L'augmentation de l'incertitude pour la S2 par rapport à la sonde référence n'est que de $0,01^{\circ}\text{C}$.

Cette meilleure connaissance de ce bain d'étalonnage permet d'introduire, dorénavant, l'homogénéité du bain dans le calcul d'incertitude de mesure. Cela contribue à une meilleure maîtrise des incertitudes de mesure en température.

ANNEXES

Annexe 1 - Ecart à 0°C

7	0,00 (0,03)	0,00 (0,03)	0,00 (0,03)	0,02 (0,05)	0,02 (0,05)	0,02 (0,05)
6	0,00 (0,03)	0,00 (0,03)	-0,01 (0,02)	0,03 (0,06)	0,03 (0,06)	0,03 (0,06)
5	0,01 (0,04)	0,00 (0,03)	-0,01 (0,02)	0,02 (0,05)	0,02 (0,05)	0,02 (0,05)
4	0,00 (0,03)	0,01 (0,04)	0,00 (0,03)	0,02 (0,05)	0,02 (0,05)	0,02 (0,05)
3	0,01 (0,04)	0,01 (0,04)	0,00 (0,03)	0,02 (0,05)	0,01 (0,04)	0,03 (0,06)
2	0,00 (0,03)	0,01 (0,04)	0,00 (0,03)	0,01 (0,04)	0,01 (0,04)	0,03 (0,06)
1	0,02 (0,05)	0,00 (0,03)	0,00 (0,03)	0,01 (0,04)	0,01 (0,04)	0,00 (0,03)
	A	B	C	D	E	F
	POMPE					

Annexe 2 – Ecart à 10°C

7	0,04 (10,02)	0,04 (10,02)	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,04 (10,02)	0,03 (10,01)
6	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,04 (10,02)
5	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,04 (10,02)
4	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,04 (10,02)
3	0,03 (10,01)	0,03 (10,01)	0,02 (10,00)	0,03 (10,01)	0,02 (10,00)	0,03 (10,01)
2	0,03 (10,01)	0,02 (10,00)	0,02 (10,00)	0,02 (10,00)	0,02 (10,00)	0,03 (10,01)
1	0,03 (10,01)	0,02 (10,00)	0,01 (9,99)	-0,09 (9,89)	0,01 (9,99)	-0,02 (9,96)
	A	B	C	D	E	F

POMPE

Annexe 3 – Ecart à 20°C

7	0,03 (19,95)	0,03 (19,95)	0,04 (19,96)	0,04 (19,96)	0,03 (19,95)	0,04 (19,96)
6	0,02 (19,94)	0,03 (19,95)	0,03 (19,95)	0,04 (19,96)	0,03 (19,95)	0,04 (19,96)
5	0,02 (19,94)	0,03 (19,95)	0,03 (19,95)	0,04 (19,96)	0,03 (19,95)	0,05 (19,97)
4	0,03 (19,95)	0,02 (19,94)	0,03 (19,95)	0,03 (19,95)	0,03 (19,95)	0,05 (19,97)
3	0,02 (19,94)	0,02 (19,94)	0,02 (19,94)	0,03 (19,95)	0,01 (19,93)	0,04 (19,96)
2	0,02 (19,94)	0,02 (19,94)	0,02 (19,94)	0,03 (19,95)	0,01 (19,93)	0,03 (19,95)
1	0,02 (19,94)	0,02 (19,94)	0,02 (19,94)	0,02 (19,94)	0,01 (19,93)	-0,02 (19,90)

A

B

C

D

E

F

POMPE

Annexe 4 – Ecart à 25°C

7	0,04 (24,94)	0,04 (24,94)	0,03 (24,93)	0,04 (24,94)	0,03 (24,93)	0,03 (24,93)
6	0,04 (24,94)	0,04 (24,94)	0,03 (24,93)	0,04 (24,94)	0,03 (24,93)	0,03 (24,93)
5	0,05 (24,95)	0,04 (24,94)	0,02 (24,92)	0,03 (24,93)	0,03 (24,93)	0,03 (24,93)
4	0,04 (24,94)	0,03 (24,93)	0,02 (24,92)	0,03 (24,93)	0,03 (24,93)	0,03 (24,93)
3	0,04 (24,94)	0,03 (24,93)	0,02 (24,92)	0,02 (24,92)	0,01 (24,91)	0,03 (24,93)
2	0,03 (24,93)	0,03 (24,93)	0,01 (24,91)	0,02 (24,92)	0,01 (24,91)	0,01 (24,91)
1	0,03 (24,93)	0,01 (24,91)	0,01 (24,91)	0,00 (24,90)	0,00 (24,90)	-0,09 (24,81)
	A	B	C	D	E	F

POMPE

Annexe 5- Ecart à 40°C

7	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,04 (39,87)	0,04 (39,87)
6	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,04 (39,87)
5	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,05 (39,88)
4	0,02 (39,85)	0,03 (39,86)	0,02 (39,85)	0,03 (39,86)	0,03 (39,86)	0,05 (39,88)
3	0,02 (39,85)	0,02 (39,85)	0,01 (39,84)	0,03 (39,86)	-0,01 (39,82)	0,05 (39,88)
2	0,01 (39,84)	0,02 (39,85)	0,01 (39,84)	0,02 (39,85)	0,00 (39,83)	0,05 (39,88)
1	0,00 (39,83)	0,02 (39,85)	0,01 (39,84)	0,04 (39,87)	0,02 (39,85)	-0,07 (39,76)
	A	B	C	D	E	F

POMPE

Annexe 6 : certificat d'étalonnage sonde S1



CHAÎNE NATIONALE D'ETALONNAGE BNM-COFRAC
TEMPERATURE
ACCREDITATION N° 2.02

**LABORATOIRE NATIONAL D'ESSAIS
(BNM-LNE)**

1, rue Gaston Boissier - 75724 PARIS Cedex 15
Tél. 01 40 43 37 00 - Fax 01 40 43 37 37

Commande : n° 2004-6583021 du 05/03/2004

CERTIFICAT D'ETALONNAGE

N° E030628 / 1

DELIVRE A : **IFREMER**
avenue du Général de Gaulle
14520 PORT EN BESSIN HUPPAIN

INSTRUMENT ETALONNE

Désignation : **CHAÎNE DE MESURE DE TEMPERATURE**

Constructeur : **AOIP**

Type : **PN 5207**

N° de série : **T00617 2LO**
N° d'identification : **2002/6/42 Re 177**

Ce certificat comprend **5** pages

Date d'émission : **10 mars 2004**

Le Responsable de l'Unité Technique
Température-Hygro-métrie-Viscosimétrie


Mohammed MEGHARFI



LA REPRODUCTION DE CE CERTIFICAT N'EST AUTORISEE QUE
SOUS LA FORME DE FAC-SIMILE PHOTOGRAPHIQUE INTEGRAL
THIS CERTIFICATE MAY NOT BE REPRODUCED OTHER
THAN IN FULL BY PHOTOGRAPHIC PROCESS

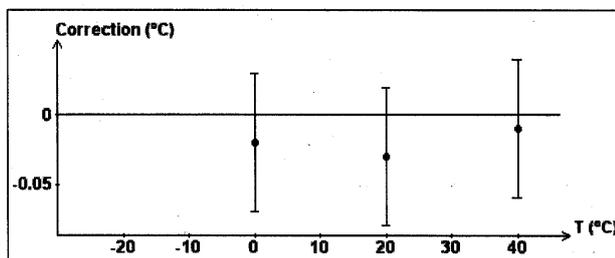
7093_CHA300MP_2004

REFERENCE DE L'INSTRUMENT	CHAÎNE DE MESURE DE TEMPERATURE N° T00617 2LO
DATE DE L'ETALONNAGE	MARS 2004
ETALONNAGE RÉALISÉ PAR	F. SOIRAT

Thermomètre à résistance de platine N° 2002/6/49 S1 connecté sur la voie S1 CAL

Immersion des capteurs	Moyenne des températures étalons	Moyenne des lectures de la chaîne	Correction à ajouter aux lectures de la chaîne	Incertitude sur la détermination de la correction $\pm 2\sigma$
(mm)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
280	0,00	0,02	-0,02	0,05
280	40,05	40,07	-0,01	0,05
180	39,95	39,96	-0,01	0,05
280	0,00	0,02	-0,02	0,05
280	20,03	20,06	-0,03	0,05
280	0,00	0,02	-0,02	0,05

Correction à ajouter à la chaîne de mesure en fonction de la température



N.B. : Sur ce graphique, les corrections définies dans le tableau de résultats sont représentées par des points encadrés de barres verticales représentant l'incertitude.

Fin du certificat d'étalonnage



N° 4

RES_CHACOMP_v01 F