

Confirmation métrologique des thermomètres

Commission SFSTP, D. Louvel

C. Barbier, M.-D. Blanchin, M.-C. Bonenfant, C. Chmieliewski, X. Dua, R. Dybiak,
C. Imbernon, C. Lebranchu, L. Louvet, M. Vandenhende

L'utilisation d'un thermomètre nécessite son raccordement aux étalons nationaux ou internationaux. Cet article est le résultat des travaux d'une commission SFSTP et a pour but d'éclairer l'utilisateur sur les moyens à mettre en œuvre pour réaliser un étalonnage. Il pourra s'inspirer du présent document pour rédiger ses procédures internes afin de raccorder les thermomètres de son parc matériel tout en maîtrisant les incertitudes du processus. Du certificat d'étalonnage, on pourra déterminer l'aptitude du thermomètre à satisfaire le besoin de l'utilisateur.

Mots clefs : Métrologie – Thermomètres – Générateur de température – Étalonnage – Incertitude de mesure.

Thermometers metrological confirmation

The use of thermometers requires their traceability to national or international standards. This paper is the result of a SFSTP working group and is intended to help the user implement the means to carry out calibrations. The reader may find in this document a basis for writing internal procedures regarding the traceability of thermometers of a plant while controlling process uncertainties. From the calibration certificate, one will be able to verify the thermometer ability to satisfy the user's requirement.

Key words: Metrology – Thermometers – Temperature generator – Calibration – Measurement uncertainty.

I OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le présent document a pour objet de fixer les règles essentielles destinées à la rédaction d'une procédure pour l'étalonnage des différents types de thermomètres suivants :

- thermomètres à dilatation de liquide (par exemple : alcool, mercure),
- thermocouples normalisés suivant les tables de référence f.é.m./température de la norme NF EN 60 584-1 (1996), la température de référence étant égale à 0 °C,
- thermomètres à résistance de platine.

II DÉFINITIONS

Bain de glace fondante : mélange d'eau à l'état liquide (purifiée) et à l'état solide (glace préparée avec de l'eau purifiée) à l'équilibre thermique. Cet équilibre est vérifié en constatant la stabilisation de la température du bain dans le temps, à 0 °C.

Point de glace fondante : température d'équilibre entre les phases solide et liquide de l'eau pure saturée d'air sous une pression de 101 325 Pa (FD X 07-029-1).

I OBJECT AND APPLICATION FIELD

This document is intended to specify the essential rules for editing a calibration procedure concerning the following types of thermometers:

- liquid-in-glass thermometers (e.g. alcohol, mercury),
- standard thermocouples according to the emf (electromotive force)/temperature reference tables of the NF EN 60 584-1 standard (1996), the reference temperature being equal to 0 °C,
- platinum resistance thermometers.

II DEFINITIONS

Melting ice bath: mixture of water in which liquid state (purified) and solid state (ice made of purified water) are in a thermal equilibrium. This equilibrium is controlled by recording the stabilisation of the bath temperature in time at 0 °C.

Melting ice point: temperature at which solid and liquid phases of pure air-saturated water are in equilibrium, at a pressure of 101,325 Pa.

Note : la technique permettant de réaliser correctement un point de glace est développée dans de nombreux documents dont la monographie BNM n° 14.

Câbles de compensation : câbles utilisés pour augmenter la longueur du thermocouple. Ils sont faits dans des alliages différents de ceux du thermocouple.

Câbles d'extension : câbles utilisés pour augmenter la longueur du thermocouple. Ils sont de même nature que ceux du thermocouple.

Capteur à résistance thermométrique de platine : dispositif sensible à la variation de température, constitué d'une résistance thermométrique placée dans une gaine de protection comportant des conducteurs internes de prolongation et des sorties externes pour permettre la liaison au dispositif électrique de mesure. Il peut comprendre un dispositif de fixation ou de raccordement (NF EN 60751).

Chaîne de mesure de température : association d'une sonde de température et d'un indicateur. La sonde peut être interne ou externe

Coefficient de sensibilité : ce facteur (utilisé pour les thermocouples) permet de convertir la valeur d'une température en degrés Celsius en valeur de f.é.m. correspondante exprimée en microvolts, et inversement.

Correction : compensation d'un effet systématique connu (VIM 2007 2.53).

Note : la modification peut prendre différentes formes, telles que l'addition d'une valeur ou la multiplication par un facteur, ou peut se déduire d'une table.

Écrouissage : opération consistant à travailler (en le frappant, laminant, étirant) un métal à une température inférieure à sa température de recuit.

Note : l'écrouissage d'un thermocouple peut générer des défauts d'homogénéité.

Erreur de mesure : différence entre la valeur mesurée d'une grandeur et une valeur de référence (VIM 2007 2.16).

Note 1 : le concept d'erreur peut être utilisé :

- a) lorsqu'il existe une valeur de référence unique à laquelle se rapporter, ce qui a lieu si on effectue un étalonnage au moyen d'un étalon dont la valeur mesurée a une incertitude de mesure négligeable ou si on prend une valeur conventionnelle, l'erreur étant alors connue,
- b) si on suppose le mesurand représenté par une valeur vraie unique ou un ensemble de valeurs vraies d'étendue négligeable, l'erreur étant alors inconnue.

Note 2 : il convient de ne pas confondre l'erreur de mesure avec une erreur de production ou une erreur humaine

Étalon de référence : étalon conçu pour l'étalonnage d'autres étalons de grandeurs de même nature dans une organisation donnée ou en un lieu donné (VIM 2007; 5.6).

Étalon de travail : étalon qui est utilisé couramment

Note: the technique for preparing a melting point of water is developed in many documents, e.g. monographie BNM n° 14.

Compensating cables: cables used to increase the thermocouple length. They are made of alloys different from those of the thermoelectric couple.

Extension cables: cables used to increase the thermocouple length. They are made of the same alloys as those of the thermocouple.

Platinum resistance thermometer: a temperature sensitive resistor, made of a thermometrical resistance implemented in a protection sheath with internal extension conductors and external outputs to allow the connection to an electric measuring device. It may include a plug or jack for connection.

Temperature measuring chain: association of a temperature sensor and a measuring device. The sensor may be internal or external

Sensitivity coefficient: this factor (used for thermocouples) expresses the relationship between the Celsius degree temperature value and the corresponding emf value expressed in microvolts, and vice versa.

Correction: compensation for an estimated systematic effect (VIM 2007 2.53)

Note: the compensation can take different forms, such as an addend or a factor, or can be deduced from a table.

Cold-hammering: operation which consists in working on (by hammering, rolling, cold-drawing) a metal at a temperature lower than its annealing temperature.

Note: the cold-hammering of a thermocouple may create some homogeneity defects.

Measurement error: measured quantity value minus a reference quantity value. (VIM 2007 2.16).

Note 1: the concept of "measurement error" can be used both

- a) when there is a single reference quantity value to refer to, which occurs if a calibration is made by means of a measurement standard with a measured quantity value having a negligible measurement uncertainty or if a conventional quantity value is given, in which case the measurement error is known, and
- b) if a measurand is supposed to be represented by a unique true quantity value or a set of true quantity values of negligible range, in which case the measurement error is not known.

Note 2: measurement error should not be confused with production error or mistake.

Reference measurement standard: measurement standard designated for the calibration of other measurement standards for quantities of a given kind in a given organization or at a given location (VIM 2007; 5.6)

Working measurement standard: measurement

pour étalonner ou contrôler des instruments de mesure ou des systèmes de mesure (VIM 2007; 5.7).

Note 1 : un étalon de travail est habituellement étaloné par rapport à un étalon de référence.

Note 2 : un étalon de travail servant à la vérification est aussi désigné comme « étalon de vérification » ou « étalon de contrôle ».

Remarque : le thermomètre étalon de référence est destiné à étalonner le thermomètre étalon de travail. Le thermomètre étalon de travail est utilisé pour contrôler les appareils.

f.é.m. (E) : force électromotrice générée par effet thermoélectrique, fonction du gradient de température existant le long des conducteurs entre la jonction de mesure et la jonction de référence : $E = f(t)$.

Note : les températures sont exprimées en degrés Celsius (EIT 90), les f.é.m. en microvolts (μV).

Générateur de température : il permet de matérialiser les différents points de mesure nécessaires à l'étalonnage. Il peut être constitué d'un four, d'un bain thermostaté, d'un cryostat, etc.

Jonction de mesure (soudure chaude) T1 : jonction du thermocouple qui est soumise à la température à mesurer (IEC 584-1: 1995).

Jonction de référence (soudure froide) T2 : la jonction de référence est la jonction du couple thermoélectrique qui est à une température connue (température de référence), à laquelle est comparée la température à mesurer (IEC 584-1: 1995).

Opérateur : désigne la (ou les) personne(s) qualifiée(s), chargée(s) de l'étalonnage.

Thermomètre : instrument de mesure de la température.

Note : il existe différents types de thermomètres : thermomètres à dilatation, thermomètres à résistance de platine, couples thermoélectriques associés à un voltmètre, etc.

Thermocouple (couple thermoélectrique) : paire de conducteurs de matériaux différents assemblés à l'une de leurs deux extrémités, afin de former un ensemble utilisable pour la mesure de température par effet thermoélectrique (IEC 584-1) (figure 1).

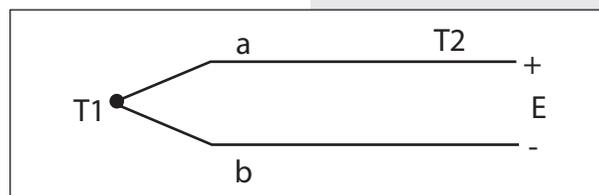


Figure 1. Thermocouple.

standard that is used routinely to calibrate or verify, measuring instruments or measuring systems (VIM 2007; 5.7).

Note 1: a working measurement standard is usually calibrated with respect to a reference measurement standard.

Note 2: in relation to verification, the terms “check standard” or “control standard” are also sometimes used.

Remark: the reference standard thermometer is designed to calibrate the working standard thermometer. The working standard thermometer is used to check the instruments.

emf (E): electromotive force generated by thermoelectric effect, function of the temperature gradient existing all along conductors between the measurement junction and the reference junction: $E = f(t)$.

Note: temperatures are expressed in Celsius degrees (EIT 90), emf in microvolts (μV).

Temperature generator: it allows generating the various measurement points required for calibration. It can be a furnace, a thermostated bath, a cryostat, etc.

Measuring junction (hot welding) T1: that junction which is subjected to the temperature to be measured (IEC 584-1: 1995).

Reference junction (cold welding) T2: that junction of the thermocouple which is at a known (reference) temperature to which the measuring temperature is compared (IEC 584-1: 1995).

Operator: designates the qualified person(s) in charge of the calibration.

Thermometer: instrument for measuring temperature.

Note: there are different types of thermometer: liquid-in-glass thermometer, platinum resistance thermometer, thermoelectric couples associated to a voltmeter, etc.

Thermocouple: pair of conductors of dissimilar materials joined at one end and forming part of an arrangement using the thermoelectric effect for temperature measurement. (IEC 584-1: 1995) (Figure 1).

III CHOIX D'UN CAPTEUR DE TEMPÉRATURE

Voir annexe 1.

Pour qu'une mesure de température soit effectuée de façon satisfaisante, la nature du milieu à mesurer ainsi que son environnement doivent être parfaitement identifiés.

Quelques critères déterminants peuvent vous guider dans votre choix :

- le point maximum d'élévation de la température du milieu, ainsi que sa vitesse de variation,

III CHOOSING A TEMPERATURE SENSOR

See appendix 1

For a temperature measurement to be realised in a satisfactory way, the media to be measured and its environment must be perfectly identified.

Some determining criteria may guide you in your choices:

- the media highest temperature point and its variation speed;

- la composition du milieu, et les risques que celui-ci présente quant à l'agression possible du capteur (produits oxydants, produits corrosifs, milieu acide, etc.),
- la dimension requise pour le capteur (longueur, diamètre), ainsi que le matériau utilisable pour ne pas perturber le milieu,
- le positionnement et la fixation du capteur,
- le type de raccordement et la distance entre le capteur et l'appareil de mesure,
- les résultats déjà connus sur le point de mesure.

La température d'utilisation n'est donc pas le seul élément à prendre en compte pour le choix d'un capteur ; d'autres critères interviennent dans la prise de décision, comme :

- la plage de température,
- les caractéristiques mécaniques de l'installation,
- la durée de vie souhaitée,
- la précision exigée,
- le temps de réponse.

Afin de mieux vous guider dans votre choix, les *tableaux 1 à 3* vous présentent les principaux éléments techniques vous permettant d'effectuer le choix approprié à l'application souhaitée.

- the media composition and risks it might show towards possible sensor aggression (oxidant, corrosive, acid... chemicals present);
- the required sensor dimension (length, diameter), as well as suitable material that will not cause media disturbance;
- sensor position and fixing;
- connection type and distance between the sensor and the measuring instrument;
- previous results regarding the measurement point.

The temperature of use is therefore not the only element to take into account when choosing a sensor; other criteria interfere to make a decision, such as:

- temperature range;
- assembling mechanical characteristics;
- desired life time;
- required precision;
- response time.

In order to help you make your decision, you will find in *Tables 1 to 3* the main technical elements allowing you to make a suitable choice for the desired application.

Tableau 1. Thermomètre à dilatation/ *Table 2. Liquid-in-glass thermometer.*

P	Variation de volume du liquide dans le réservoir/Liquid volume variation in the bulb
R	Réservoir et liquide : mercure, alcool, toluène, pentane ; tube capillaire ; lecture sur tige Glass bulb and liquid: mercury, alcohol, toluene, pentane ; capillary tube; reading on stem
C	(-200 °C à + 600 °C) ; résolution 1% échelle de mesure/(-200 °C to + 600 °C); resolution 1% measurement range
A	Simple ; peu coûteux ; adaptable en régulation ; sensible/Simple; low cost; adaptable for regulation; good sensitivity
I	Fragile ; étendue de mesure restreinte ; corrections à réaliser Fragile; limited range measurement; corrections to be taken into account

P : principe de base, R : réalisations, C : caractéristiques, A : avantages, I : inconvénients.

P: basic principle, R: making, C: characteristics, A: advantages, I: drawbacks.

Tableau 2. Thermomètres à résistance/ *Table 2. Resistance thermometers.*

P	Variation de la résistance/Resistance variation $R = f(\theta)$
R	Mesure de la tension aux bornes d'une résistance parcourue par un courant de quelques mA ; mesure au pont de Wheatstone ou par comparaison de f.é.m. Voltage measurement between poles of a resistance submitted to a current flow of a few mA ; Wheatstone bridge or emf comparison measurement
Thermomètre métallique/Metal thermometer	
P	Variation linéaire de la résistance avec θ : $R_{\theta} = R_0 (1 + a_{\theta})$ /Linear resistance variation, θ : $R_{\theta} = R_0 (1 + a_{\theta})$
C	[- 200 °C, 850 °C] pour Pt ; moins pour Cu et Ni [- 60 °C, +150 °C] ; résolution 0,5 à 1% échelle de mesure [- 200 °C, 850 °C] for Pt ; less for Cu or Ni [- 60 °C, +150 °C]; resolution 0.5 to 1% of the measurement range
A	Bonne sensibilité ; faible encombrement ; linéarité/High sensitivity; reduced size; linearity
I	Auto-échauffement dû au courant d'alimentation ; $I < 10$ mA ; mesures différentielles difficiles ; prix assez élevé ; risque de déformations Self-heating produced by the supply current; $I < 10$ mA; difficult differential measurements; high price; possible mechanical distortions
Thermomètre à thermistance/Thermistor thermometer	
P	Variation non linéaire de la résistance : $R_T = A \exp(B/T)$ /Non-linear resistance variation: $R_T = A \exp(B/T)$
C	[-60, 400 °C] pour oxyde de Ni, Mn; exceptionnellement \Rightarrow 1 100 °C (Zn, Sn) ; domaine privilégié [-60 °C, 100 °C] ; résolution \pm 1% échelle de mesure (qq 10 °C) ou \pm 0,1 °C [-60, 400 °C] for Ni oxide, Mn; exceptionally \Rightarrow 1,100 °C (Zn, Sn); optimum range [-60 °C, 100 °C]; resolution \pm 1% measuring scale (\sim 10 °C) or \pm 0.1 °C
A	Grande sensibilité ; on peut détecter facilement qq 10 ⁻² °C; petite taille (\sim thermocouples) ; résistance élevée ($R_T \approx 10^3 \Omega$) ; coût faible High sensitivity; $\sim 10^{-2}$ °C easily detectable; small size (\sim thermocouples); high resistance ($R_T \approx 10^3 \Omega$); low cost
I	Fidélité assez médiocre (> 100 °C et pour cycles thermiques); non linéaire; domaine de température limité Rather bad precision (> 100 °C and for thermal cycles); non-linear; narrow measuring range

Tableau 3. Thermomètre à couples thermoélectriques/ Table 3. Thermocouples.

P	Variation de la f.é.m. thermoélectrique/Thermoelectric emf variation $e = f(\theta)$
R	Capteur : zone de soudure de métaux différents ; métaux ou alliages homogènes de grande pureté ; mesure de f.é.m. ; transmission par fil → tension ; câbles de compensation ; affichage/lecture mV ou potentiomètre Sensor: dissimilar metals junction ; very pure homogeneous metals or alloys; emf measurement; cable transmission → voltage; compensating cables; mV display or potentiometer
C	Domaines de mesure étendus [-200, ..., 2 400 °C] ; précision moyenne, en fonction des précautions prises ; au mieux : 0,1 °C ; en laboratoire 1% échelle de mesure Large measurement ranges [-200, ..., 2,400 °C]; medium precision depending on cautions taken; at the best: 0.1 °C; in laboratory 1% of scale measurement
A	Facilités de montage et remplacement (interchangeabilité) ; bonne sensibilité ; mesures ponctuelles ; mesures différentielles faciles; temps de réponse rapide Easy mounting and replacement (interchangeability); good sensitivity; limited measurements; differential measurements easy; fast response time
I	Nécessite soudure de référence ou compensation de soudure froide ; influence des gradients de température sur les fils qui ne sont pas toujours homogènes (variation des coefficients avec la température) Needs reference junction or cold junction compensation; temperature gradients influence if wires are not homogeneous (coefficients vary with temperature)

IV MÉTHODE D'ÉTALONNAGE

La méthode d'étalonnage employée est une méthode par comparaison. Elle consiste à comparer les indications données par le moyen de mesure à étalonner à celles d'un étalon de référence.

Les comparaisons s'effectuent dans des bains liquides ou des fours, selon le domaine des températures et l'exactitude nécessaire.

Remarque : il existe une autre méthode dite des « points fixes ». Elle est utilisée par les laboratoires spécialisés et réservée à l'étalonnage des instruments de référence.

V CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT

Dans la mesure du possible, les conditions d'environnement de l'étalonnage seront proches de celles du lieu habituel d'utilisation du thermomètre à étalonner.

L'étalonnage doit être réalisé dans les mêmes conditions que celles de l'utilisation habituelle (même profondeur d'insertion).

VI MOYENS D'ÉTALONNAGE

Les moyens d'étalonnage employés sont les suivants :

- un thermomètre étalon de référence ayant fait l'objet de certificat d'étalonnage ;
- un générateur de température ;
- un bécher ou un vase de Dewar pouvant contenir de la glace fondante.

Ces moyens permettent l'étalonnage dans une large gamme de température.

Le thermomètre étalon de référence est constitué, par exemple, d'une sonde à résistance de platine connectée à un ensemble électronique permettant l'alimentation de la sonde et l'affichage de la température.

IV CALIBRATION METHOD

The calibration method used is a comparison method. It consists in comparing indications given by the measurement instrument to be calibrated to those given by a reference standard.

Comparisons are made in liquid baths or furnaces, according to the temperature range and the accuracy required.

Remark: there is another method known as "fixed points" method, which is used by metrological laboratories and reserved for reference instruments calibration.

V AMBIENT CONDITIONS

Calibration ambient conditions will be as close as possible to those of the regular place of use of the thermometer to be calibrated.

The calibration must be carried out in the same conditions as those of its regular use (same immersion depth).

VI CALIBRATION MEANS

- The calibration means are the following:
- a reference standard thermometer provided with its calibration certificate;
 - a temperature generator;
 - a beaker or a Dewar vessel for melting ice.

These means allow the calibration in a wide temperature range.

The reference standard thermometer may be a platinum resistance sensor connected to an electronic device providing the sensor power supply and the temperature display.

1. GÉNÉRATEUR DE TEMPÉRATURE

Le *tableau 4* indique le choix du générateur de température en fonction de la température d'étalonnage (non exhaustif).

Tableau 4. Choix du générateur de température en fonction de la température d'étalonnage.
Table 4. Choice of temperature generators according to calibration temperature.

Domaine de températures (θ) Temperature range	Générateur de température Temperature generator	Fluide Fluid
$\theta < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	Bain thermostaté/Thermostated bath	Alcool ou eau glycolée/Alcohol or water with glycol
$4\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	Réfrigérateur, cryostat/Refrigerator, cryostat	Eau déminéralisée/Deionised water
$\theta \approx 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	Bain de glace fondante/Melting ice bath	Eau déminéralisée/Deionised water
$0\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 80\text{ }^{\circ}\text{C}$	Bain thermostaté/Thermostated bath	Eau déminéralisée/Deionised water
$30\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$	Étuve/Furnace	Air/Air
$80\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$	Bain thermostaté/Thermostated bath	Huiles silicones/Siliconed oil
$\theta > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$	Bain thermostaté/Thermostated bath	Air/Air

Les gradients de température au sein du générateur de température peuvent être réduits en y insérant des puits thermiques servant à recevoir l'étalon et les thermomètres à étalonner.

2. JONCTION FROIDE

La température de référence des tables température/f.é.m. de la norme NF EN 60 584 est $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Note : des appareils automatiques générant le $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ peuvent être utilisés pour la jonction froide. Dans ce cas, il est nécessaire de tenir compte des incertitudes engendrées dans le calcul final d'incertitude.

3. TRAÇABILITÉ ET PÉRIODICITÉ DE RACCORDEMENT

Le thermomètre de référence a fait l'objet d'un certificat d'étalonnage délivré par un laboratoire d'étalonnage accrédité par le Service national d'accréditation, signataire de l'accord multilatéral EA (European Cooperation for Accreditation) sur la reconnaissance de l'équivalence des certificats d'étalonnage.

Dans un souci de simplification des calculs et des incertitudes, il est recommandé que les points de mesure reportés sur le certificat d'étalonnage du thermomètre de référence correspondent à ceux permettant d'étalonner le thermomètre étalon de travail. Dans le cas contraire, il sera nécessaire d'interpoler les valeurs des corrections de l'étalon de référence sur la base de celles issues du certificat d'étalonnage. Il sera aussi nécessaire de rajouter une composante d'incertitude liée à la détermination de cette correction.

Le thermomètre de référence est réétalonné périodiquement. En fonction de l'écart constaté entre deux étalonnages, la périodicité peut être modifiée. Elle peut être portée de un an à deux ans (ou plus), à condition que la variation de la température soit inférieure aux incertitudes de mesure entre le certificat initial et le dernier réalisé (l'évolution étant étudiée au moins sur trois certificats).

1. GENERATOR TEMPERATURE

Table 4 proposes a choice of temperature generators according to calibration temperature (non exhaustive).

The temperature gradients within the temperature generator can be reduced by using an equalising block where the reference thermometer and the thermometers to be calibrated can be inserted.

2. COLD JUNCTION

The reference temperature of the temperature/emf tables of the standard NF EN 60 584 is $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Note: automatic devices generating the $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ can be used for the cold junction. In this case, it is necessary to take into account in the final uncertainty calculation the uncertainties generated.

3. TRACEABILITY AND FREQUENCY

The reference thermometer is provided with a calibration certificate issued by a calibration laboratory accredited by a national accreditation service, signatory of the multilateral agreement EA (European Cooperation for Accreditation) on the recognition of calibration certificates equivalence.

In order to simplify calculations and uncertainties, it is recommended that the measuring points reported in the reference thermometer calibration certificate correspond to those needed for calibrating the working standard thermometer. Otherwise, it will be necessary to interpolate the reference standard correction values on the basis of those issued on the calibration certificate. It will be also necessary to add an uncertainty component linked to the determination of this correction.

The reference thermometer is calibrated periodically. On the basis of the deviation between two calibrations, the periodicity can be changed. It can be increased from one to two years (or more), provided that the temperature variation be smaller to the measurement uncertainties between the initial certificate and the last one issued (the variation being studied at least over three certificates).

4. CONSERVATION ET MANIPULATION

4.1. Thermomètre à dilatation

Les thermomètres à dilatation doivent être conservés :

- dans des coffrets afin de les préserver des chocs ;
- verticalement afin de ne pas provoquer de discontinuité de la colonne de liquide.

Les thermomètres à dilatation sont manipulés avec une précaution adaptée.

Avant chaque utilisation, l'opérateur effectue un contrôle des points suivants :

- examen visuel de l'état du thermomètre (par exemple : fêlures du réservoir ou de la tige, discontinuité de la colonne de liquide) et de l'emballage ;
- examen de la lisibilité des graduations ;
- examen de la validité du certificat d'étalonnage (date d'émission).

Si possible, les défauts doivent être supprimés avant l'utilisation, mais généralement un thermomètre fêlé doit être mis hors service.

4.2. Thermomètre à résistance électrique

Un thermomètre à résistance électrique doit être stocké dans un endroit sec et non corrosif.

4.3. Thermocouple

Lorsque cela est possible, un thermocouple filaire de grande longueur peut être stocké enroulé. Un thermocouple à gaine de métal sera enroulé avec soin sans provoquer de pliures, car cela risque de créer un défaut d'écrouissage générant des f.é.m. parasites.

Un thermocouple doit être stocké dans un endroit sec et non corrosif.

Aucun apport de métal (soudure supplémentaire) ne doit être effectué sur la jonction de mesure (voir point T1 au chapitre « Définitions »).

L'apparition d'une pliure et/ou d'un défaut de soudure entraîne une réforme définitive du thermocouple.

VII ÉTALONNAGE

1. OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES

Elles ont pour but d'assurer la validité de l'étalonnage ; celles répertoriées ci-après sont recommandées :

- s'assurer de l'identification du thermomètre à étalonner ;
- s'assurer de l'absence de défaut mécanique visible ;
- s'assurer de la propreté et du bon état du thermomètre ;
- l'environnement des essais doit être stable, si possible ;
- limiter l'influence des rayonnements directs (éloigné des fenêtres) ;

4. PRESERVATION AND HANDLING

4.1. Liquid-in-glass thermometer

Liquid-in-glass thermometers must be kept:

- in boxes protecting them from collisions;
- vertically to keep the liquid column uninterrupted.

The liquid-in-glass thermometers are handled with adapted caution.

Before each use, the operator checks the following points:

- visual control of the thermometer (e.g.: tank or rod crack, disruption of the liquid column) and packaging;
- control of the graduation readability;
- check of the calibration certificate validity (date of issue).

When possible, the defects must be remedied before use, but generally a cracked thermometer must be retired.

4.2. Resistance thermometer

A resistance thermometer must be kept in a dry uncorrosive place.

4.3. Thermocouple

When possible, a wired thermocouple of long length can be kept coiled. A thermocouple with metal sheath will be coiled with care and not folded, because that could create a flaw of "cold hammering" generating emf interference.

A thermocouple must be kept in a dry uncorrosive place.

No input of metal (extra welding) must be added onto the measurement junction (see point T1 at the "Definitions" chapter).

A fold and/or a defect lead to a definitive reform of the thermocouple.

VII CALIBRATION

1. PRELIMINARY OPERATIONS

To ensure the calibration validity, the following operations are recommended:

- check the identification of the thermometer to be calibrated;
- check the lack of mechanical visible defect;
- check the cleanliness and the good state of the thermometer;
- the environment of the tests must be stable, if possible;
- limit direct radiations influence (stay away from windows);
- in the case of a thermocouple, make sure there is no oxidation mark or humidity around the connections

- dans le cas d'un thermocouple, s'assurer de l'absence de trace d'oxydation ou d'humidité autour des connexions des fils d'extension ou de compensation (par des mesures de résistance d'isolement par exemple) ;
- vérifier l'homogénéité du thermocouple. Par exemple, introduire le thermocouple dans le générateur de température à des profondeurs différentes (le générateur de température utilisé pour cette opération doit être un bain ; la température dans un four n'étant pas homogène, leur utilisation pour cette opération est à proscrire). Relever les f.é.m. ou les températures à chaque profondeur. Ces f.é.m. ou températures doivent être identiques, aux incertitudes près ; dans le cas contraire, il est nécessaire de réformer le thermocouple.

1.1. Étalon de référence

- Vérifier la validité du certificat d'étalonnage.
- Vérifier que l'étalon ne présente pas de défaut mécanique.
- Tester le 0 °C de l'étalon de référence en le plongeant dans un bain de glace fondante. Dans le cas où l'indication serait différente aux incertitudes près, l'étalon ne peut servir à aucun essai tant que l'anomalie détectée n'est pas traitée. En attendant sa réparation, une étiquette « hors service » est apposée sur le thermomètre afin d'informer les utilisateurs de son état et interdire son utilisation pour des opérations nécessitant sa surveillance. À la suite d'une réparation, un nouvel étalonnage sera effectué.

1.2. Incertitude associée au thermomètre étalon de référence

L'incertitude d'étalonnage de l'étalon de référence doit se situer entre 1/4 et 1/10 de l'incertitude recherchée du thermomètre à étalonner. Le choix sera fait en fonction de l'utilisation de ce dernier (erreur maximale tolérée sur la mesure, températures de travail, etc.), sachant qu'il doit exister un rapport de au moins un demi entre l'erreur maximale sur la mesure et l'incertitude de l'étalon de travail.

1.3. Erreur maximale tolérée

L'erreur maximale tolérée sur le réglage en température du matériel à contrôler (congélateur, réfrigérateur, étuve, four, etc.) entraîne la précision de l'étalon de travail à utiliser, et donc celle du thermomètre de référence.

Exemple : si la température d'une étuve doit être 37 ± 1 °C, le thermomètre étalon de travail doit avoir au maximum une incertitude élargie à 37 °C de $\pm 0,5$ °C ; le thermomètre étalon de référence devra avoir au maximum une incertitude élargie à 37 °C de $\pm 0,125$ °C.

2. PROGRAMME D'ÉTALONNAGE

L'étalonnage est fait en procédant successivement

of the extension or compensation wires (by measuring insulation for instance);

- check the thermocouple homogeneity. For instance, insert the thermocouple in a temperature generator at different depths (the temperature generator used for this operation must be a bath; the temperature is not homogeneous enough in an oven for carrying out this operation). Note the emf or the temperatures at each depth. These emf or temperatures must be identical, to within the uncertainties; otherwise, the thermocouple must be reformed.

1.1. Reference standard

- Check the calibration certificate validity (date of issue).
- Check the standard has no mechanical defect.
- Test the point 0 °C of the reference standard by plunging it in a melting ice bath. If the indication is different within the uncertainties, the standard cannot be used for any test as long as the detected anomaly is not remedied. In the meantime, a tag "out of order" is put on the thermometer in order to inform the user of its state and to forbid its use for any operation. After a repair, a new calibration must be performed.

1.2. Uncertainty linked to the reference standard thermometer

The calibration uncertainty of the reference standard must be between 1/4 and 1/10 of the wanted uncertainty for the thermometer to be calibrated. The choice will be done according to the needed use (maximal permissible error of the measurement, work temperatures, etc.) knowing that there must be a ratio of at least 1/2 between the maximal error of the measurement and the working standard uncertainty.

1.3. Maximal permissible error

The maximal permissible error for the adjustment of the controlled equipment temperature (freezer, refrigerator, furnace, etc.) determines the accuracy of the working standard to use, and therefore, the reference thermometer one.

For instance: if the temperature of an incubator must be 37 ± 1 °C, the working standard thermometer must have a maximal expanded uncertainty at 37 °C of ± 0.5 °C; The reference standard thermometer will have a maximal expanded uncertainty at 37 °C of ± 0.125 °C.

2. CALIBRATION PROGRAM

The calibration is made by carrying out several,

à plusieurs séries de mesure, trois au moins, pour lesquelles on notera les valeurs lues après stabilisation pour le thermomètre de référence et pour le thermomètre étalon de travail.

3. PÉRIODICITÉ D'ÉTALONNAGE

Elle est liée à leur type, à leur mode et à leur fréquence d'utilisation.

L'opérateur pourra appliquer cette procédure générale par exemple tous les trois mois. L'intervalle d'étalonnage peut être augmenté à condition que la dérive entre deux étalonnages consécutifs soit inférieure à la prescription fixée. Cette dérive doit être étudiée à partir de quatre étalonnages consécutifs. Dans le cas contraire, l'intervalle sera réduit.

Un remplacement par un thermocouple étalonné peut être préférable à un réétalonnage pour les thermocouples faits de métaux communs utilisés à haute température.

Note : le fascicule FD X 07-014 (« Optimisation des intervalles de confirmation métrologique des équipements de mesure ») propose une méthode d'optimisation et de justification des intervalles de confirmation métrologique des équipements de mesure couramment utilisés dans l'entreprise. Cette méthode suppose que les exigences des besoins ont été bien définies au préalable.

4. CARACTÉRISATION DU GÉNÉRATEUR DE TEMPÉRATURE

Voir annexe 2.

5. MODE OPÉRATOIRE

5.1. Choix des températures d'étalonnage

Les températures sont choisies de manière à permettre le relevé des valeurs réparties sur l'étendue de mesure comme suit :

- 0 °C ;
- température maximale d'utilisation du thermomètre à étalonner (valeur à reporter dans le certificat d'étalonnage) ;
- température minimale d'utilisation du thermomètre à étalonner (valeurs à reporter dans le certificat d'étalonnage) ;
- 0 °C (valeur à reporter dans le certificat d'étalonnage).

Entre la température minimale et maximale d'utilisation, l'opérateur choisira d'autres points de mesure correspondant à ses besoins.

L'expérience avec un type particulier de thermomètre fournit le guide le plus sûr pour le choix des températures, mais comme guide approximatif, on peut prendre cinq températures d'étalonnage ou des températures tous les cent échelons couvrant au moins 80% de l'étendue du thermomètre, ce qui donnerait une estimation de l'instrument.

at least three, successive series of measurements, for which we will note the values after stabilisation, for the reference thermometer and for the working standard thermometer.

3. CALIBRATION PERIODICITY

It depends on the type of thermometer, its mode and frequency of use.

The operator can apply this general procedure for instance every three months. The calibration frequency can be decreased if the drift between two consecutive calibrations is lower than the prescription. This drift must be studied after four consecutive calibrations. In the opposite case, the frequency will be increased.

A replacement with a calibrated thermocouple may be more suitable than a recalibration for thermocouples made of ordinary metals used for high temperature.

Note: the fascicule FDX 07-014 ("Optimisation of measuring equipment calibration frequencies [metrological confirmation]") proposes a method for optimisation and justification of the metrological confirmation schedule for the equipment regularly used. This method is suitable only after needs requirements have been determined

4. TEMPERATURE GENERATOR CHARACTERISATION

See appendix 2.

5. OPERATING MODE

5.1. Choosing calibration temperatures

The temperatures are chosen so as to allow the reading of values distributed over the measurement range as follows:

- 0 °C;
- maximal temperature of use for the thermometer to be calibrated (value to copy to the calibration certificate);
- minimal temperature of use for the thermometer to be calibrated (values to copy to the calibration certificate);
- 0 °C (value to copy to the calibration certificate).

Between the minimum and maximum use temperature, the operator will choose other measurement points corresponding to one's needs.

The experience with a specific type of thermometer provides the surest guide for choosing temperatures, but as an approximate guide, we can take five calibration temperatures or temperatures every hundred scale intervals, covering at least 80% of the thermometer range, which will give an estimation of the instrument.

5.2. Conditions d'étalonnage

L'opérateur veille à ce que la profondeur d'immersion entre la référence et le thermomètre soit identique.

L'opérateur notera cette valeur sur la feuille de mesures et de calculs. Cependant, les thermocouples doivent être suffisamment introduits afin de minimiser les effets de la température ambiante sur la température du bain (effet d'ailette produit par le thermocouple...).

5.3. Étalonnage à 0 °C

1. Plonger conjointement le thermomètre de référence avec le thermomètre à étalonner dans le récipient contenant de la glace fondante à l'équilibre thermique. Cet équilibre peut être obtenu rapidement (quelques secondes) en ajoutant dans le récipient environ un volume de glace pilée pour un demi-volume d'eau déminéralisée à température ambiante. Après stabilisation, la température du mélange se maintiendra à 0 °C tant que le mélange comportera les deux phases liquide et solide.

2. Laisser stabiliser puis relever les températures lues (θ_1) sur le thermomètre de référence et sur le thermomètre à étalonner.

3. Thermomètre à dilatation : noter le nombre de divisions en °C (H) comprises entre la limite du niveau d'eau glacée du récipient et l'indication de température de la tige du thermomètre à étalonner.

5.4. Étalonnage des autres points

1. Régler le générateur de température à la température désirée.

2. Laisser stabiliser puis relever les températures lues sur le thermomètre de référence et sur le thermomètre à étalonner.

3. Thermomètre à dilatation : noter la hauteur de la colonne émergeant du liquide (H) comprise entre la limite du niveau du liquide du récipient ou du four et l'indication de température de la tige du thermomètre à étalonner.

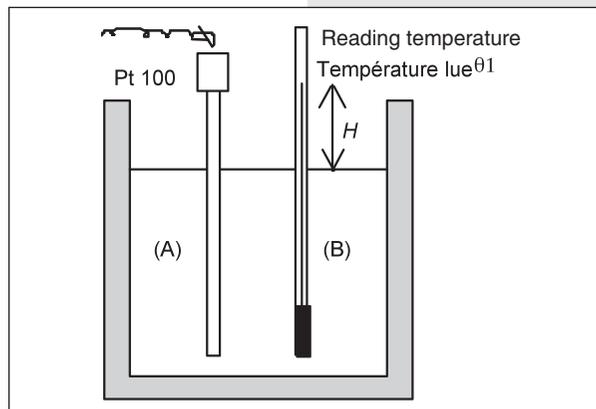


Figure 2. Étalonnage à θ °C.
Figure 2. Calibration at θ °C.

6. VALEURS À REPORTER SUR LE RELEVÉ DE MESURES

6.1. Thermomètre à dilatation

À chaque point de mesure et après stabilisation, on relève les valeurs de la façon suivante :

1. la température ambiante (θ_a), lue sur le thermomètre de référence au-dessus du générateur de température, est relevée au début et à la fin des mesures ;

5.2. Calibration conditions

The operator takes care to immerse the reference and the thermometer to be calibrated at the same depth.

The operator will record this value on the measurement and calculation sheet. However, the thermocouples must be inserted deeply enough to minimize the effects of ambient temperature on the bath temperature (wing effect produced by the thermocouple...).

5.3. Calibration at 0 °C

1. Plunge both the reference thermometer and the thermometer to be calibrated in the container full of melting ice at the thermal equilibrium. This equilibrium may be obtained quickly (a few seconds) by adding in the container about one volume of crushed ice for one half volume of demineralised water at ambient temperature. After stabilisation, the temperature of the mixture will remain at 0 °C as long as the mixture consists of two phases, liquid and solid.

2. Let stabilise then read the temperatures (θ_1) on the reference thermometer and on the thermometer to be calibrated.

3. Liquid-in-glass thermometer: note the number of scale intervals in °C (H) between the melting ice level upper limit of the container and the reading of temperature on the thermometer rod to be calibrated.

5.4. Calibration at other points

1. Adjust the temperature generator at the desired temperature.

2. Let stabilise then note the reading temperatures on the reference thermometer and on the thermometer to be calibrated.

3. Liquid-in-glass thermometer: note the height of the emergent stem (H) comprised between the upper level limit of the liquid container or furnace and the temperature indication of the calibrated thermometer rod.

6. VALUES TO COPY TO THE MEASUREMENT SHEET

6.1. Liquid-in-glass thermometer

At each point of measurement and after stabilisation, we note the values as follows:

1. the ambient temperature (θ_a), read on the reference thermometer above the temperature generator, is noted at the beginning and at the end of the

2. la température lue sur le thermomètre de référence (A) ;
3. la température lue sur le thermomètre à étalonner (B). Les valeurs lues sur le thermomètre à étalonner sont relevées après avoir légèrement tapoté sur la colonne du liquide (ce léger tapotement permet de s'assurer que la colonne de liquide n'est pas contrainte mécaniquement) ;
4. la hauteur de la colonne émergente comprise entre la limite du niveau d'immersion et l'indication de température de la tige du thermomètre à étalonner (cette opération est inutile si le thermomètre possède un repère d'immersion, dans ce cas cette correction a déjà été prise en compte par le constructeur) ;
5. après avoir replacé le thermomètre à étalonner dans l'air ambiant (refroidissement rapide) puis remis dans le générateur de température, on relève à nouveau les valeurs comme défini précédemment.

Un exemple de feuille de mesure et de calcul présentant trois séries de mesure est donné en annexe.

6.2. Thermomètre à résistance électrique et thermocouple

À chaque point de mesure et après stabilisation de l'affichage, on relève les valeurs de la façon suivante :

- la température lue sur le thermomètre de référence (A),
- la température lue sur le thermomètre à étalonner (B),
- la température lue sur le thermomètre de référence (A),
- la température lue sur le thermomètre à étalonner (B),
- après avoir replacé le thermomètre à étalonner dans l'air ambiant (refroidissement rapide) puis remis dans le générateur de température, on relève à nouveau les valeurs comme défini précédemment. On disposera donc de quatre valeurs pour chaque thermomètre.

Un exemple de feuille de mesure et de calcul est donné en annexe.

VIII CALCULS

1. THERMOMÈTRE À DILATATION

1.1. Détermination de la température de référence corrigée

La température de référence corrigée est déterminée comme suit :

$$T_i = A_i + a_i$$

avec T_i la température de référence corrigée, A_i la température relevée sur le thermomètre de référence, et a_i la correction issue directement du certificat d'étalonnage ou déterminée par interpolation le cas échéant.

measurements;

2. the temperature read on the reference thermometer (A);
3. the temperature read on the thermometer to be calibrated (B). The values on the thermometer to be calibrated are noted after a slight tap on the liquid column (the slight tap on the column allows suppressing mechanical strains);
4. note the height of the emergent stem comprised between the immersion level limit and the temperature graduation on the thermometer to be calibrated (this operation is useless if the thermometer has an immersion mark. In this case, this correction has already been taken into account by the manufacturer);
5. after having replaced the thermometer in ambient air (quick cooling) then back in the generator, read again the values as defined previously.

An example of measurement and calculation sheet showing three measurement series is given in appendix.

6.2. Electrical resistance thermometer and thermocouple

At each point of measurement and after stabilisation of the display, we note the values as follows:

- the temperature read on the reference thermometer (A),
- the temperature read on the thermometer to be calibrated (B),
- the temperature read on the reference thermometer (A),
- the temperature read on the thermometer to be calibrated (B),
- after having replaced the thermometer to be calibrated in ambient air (quick cooling) then back in the temperature generator, we read the values again as defined previously. We will then have four values for each thermometer.

An example of measurement and calculation sheet is given in appendix.

VIII CALCULATIONS

1. LIQUID-IN-GLASS THERMOMETER

1.1. Determining the corrected reference temperature

The corrected reference temperature is determined as follows:

$$T_i = A_i + a_i$$

with T_i the corrected reference temperature, A_i the temperature read on the reference thermometer, and a_i the correction issued from the calibration certificate or determined by interpolation if needed.

1.2. Détermination de la correction de colonne émergente

L'erreur due à la colonne émergente est corrigée (C_{ci}) en appliquant la formule suivante (extraite de la norme FDX 07-021) :

$$C_{ci} = A \cdot H_i \cdot (B_i - \theta_{ai})$$

avec B_i la température lue sur le thermomètre ; θ_{ai} la température ambiante moyenne ($\theta_{ai} = [(\theta_{début} + \theta_{fin})/2]$) autour de la colonne émergente pour chaque série de mesures ; H_i la hauteur de la colonne émergente du liquide en °C ; A le coefficient de dilatation cubique du liquide dans le verre (tableau 5).

Tableau 5.

Valeurs caractéristiques de A	Liquide
$1,6 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$	Mercure et alliage mercure-thallium
$10,4 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$	Éthanol
$10,3 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$	Toluène
$14,5 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$	Pentane

1.3. Détermination des écarts

Pour chaque série, l'écart X_i est calculé comme suit :

$$X_i = (B_i - T_i) + C_{ci}$$

avec X_i l'écart entre température du thermomètre à étalonner et température réelle, B_i la température lue sur le thermomètre à étalonner, T_i la température de référence corrigée (température réelle), et C_{ci} la correction de la colonne émergente.

1.4. Détermination de la moyenne des écarts

À partir des trois écarts X_i calculés, la moyenne \bar{X} est déterminée comme suit :

$$\bar{X} = (\sum X_i)/n$$

avec $n = 3$.

1.5. Détermination de l'étendue des écarts

L'étendue des écarts W_{max} est la différence entre le plus grand et le plus petit des trois écarts X_i .

1.6. Détermination de la moyenne des températures lues sur le thermomètre de travail

À partir des trois mesures B_i , la moyenne \bar{B} est déterminée comme suit :

$$\bar{B} = (\sum B_i)/n$$

avec $n = 3$.

C'est cette valeur qui apparaît dans le certificat d'étalonnage.

1.2. Determining the emergent stem correction

The emergent stem error (C_{ci}) is corrected by applying the following formula (from Afnor standard FDX 07-021):

$$C_{ci} = A \cdot H_i \cdot (B_i - \theta_{ai})$$

with B_i the temperature read on the thermometer; θ_{ai} the mean ambient temperature ($\theta_{ai} = [(\theta_{start} + \theta_{end})/2]$) around the emergent stem for each measurement series; H_i the height of the liquid emergent stem in °C; A the cubic expansion coefficient of the liquid in glass (Table 5).

Table 5.

Characteristic values of A	Liquid
$1.6 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$	Mercury and mercury-thallium alloy
$10.4 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$	Ethanol
$10.3 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$	Toluene
$14.5 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$	Pentane

1.3. Determination of the deviation

For each series, the deviation X_i is calculated as follows:

$$X_i = (B_i - T_i) + C_{ci}$$

with X_i the deviation between thermometer temperature to be calibrated and real temperature, B_i the temperature read on the thermometer to be calibrated, T_i the corrected reference temperature (real temperature), and C_{ci} the correction of the emergent stem.

1.4. Calculation of the mean deviation

From the three calculated deviations X_i , the mean \bar{X} is calculated as follows:

$$\bar{X} = (\sum X_i)/n$$

with $n = 3$.

1.5. Calculation of the deviation range

The range of the deviations W_{max} is the difference between the maximum and the minimum of the three deviations X_i .

1.6. Calculation of the mean of temperatures read on the working thermometer

From the three measurements B_i , the mean \bar{B} is calculated as follows:

$$\bar{B} = (\sum B_i)/n$$

with $n = 3$.

This value will be issued on the calibration certificate.

1.7. Détermination de l'erreur de justesse

L'erreur de justesse correspond à la moyenne des écarts.

2. THERMOMÈTRE À RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

2.1. Détermination de la température de référence corrigée

Idem VIII.1.1.

2.2. Détermination des écarts

Pour chaque série, l'écart X_i est calculé comme suit :

$$X_i = (B_i - T_i)$$

avec X_i l'écart entre température du thermomètre à étalonner et température de référence corrigée, B_i la température lue sur le thermomètre à étalonner et T_i la température de référence corrigée (température réelle).

2.3. Détermination de la moyenne des écarts

Idem VIII.1.4.

2.4. Détermination de l'étendue des écarts

Idem VIII.1.5.

2.5. Détermination de la moyenne des températures lues sur le thermomètre de travail

Idem VIII.1.6.

2.6. Détermination de l'erreur de justesse

Idem VIII.1.7.

3. THERMOCOUPLE

3.1. Détermination de la température de référence corrigée

Idem VIII.1.1.

3.2. Détermination de la f.é.m. correspondante

La force électromotrice e_i correspondant à la température de référence corrigée est donnée par les tables de la norme NF EN 60-584.1. On prend la valeur de la f.é.m. en μV correspondant à la valeur de la température de référence corrigée en $^{\circ}\text{C}$ obtenue précédemment.

3.3. Détermination des écarts

Pour chaque série, l'écart x_i est calculé comme

1.7. Measurement bias calculation

The measurement bias corresponds to the mean deviation.

2. ELECTRICAL RESISTANCE THERMOMETER

2.1. Calculation of the corrected reference temperature

Idem VIII.1.1.

2.2. Deviation calculation

For each series, the deviation X_i is calculated as follows:

$$X_i = (B_i - T_i)$$

with X_i the deviation between thermometer temperature to be calibrated and corrected reference temperature, B_i the temperature read on the thermometer to be calibrated, and T_i the corrected reference temperature (real temperature).

2.3. Calculation of the mean deviation

Idem VIII.1.4.

2.4. Calculation of the deviation range

Idem VIII.1.5.

2.5. Calculation of the mean temperature read on the working thermometer

Idem VIII.1.6.

2.6. Measurement bias calculation

Idem VIII.1.7.

3. THERMOCOUPLE

3.1. Calculation of the corrected reference temperature

Idem VIII.1.1.

3.2. Calculation of the corresponding emf

The electromotive force e_i corresponding to the corrected reference temperature is given in the NF EN 60-584-1 standard tables. We take the value of the emf in μV corresponding to the corrected reference temperature value in $^{\circ}\text{C}$, obtained previously.

3.3. Calculation of the deviations

For each series, the deviation x_i is calculated as

suit :

$$x_i = e_i - f_i$$

avec x_i l'écart entre la f.é.m. lue sur le thermocouple à étalonner et la f.é.m. réelle, e_i la f.é.m. lue sur le couple à étalonner (indiquée par l'afficheur) et f_i la f.é.m. de référence corrigée (f.é.m. réelle).

3.4. Détermination de la moyenne des écarts

À partir des quatre écarts x_i calculés, la moyenne \bar{x} est déterminée comme suit :

$$\bar{x} = (\sum x_i)/n$$

avec $n = 4$.

La correction du couple à étalonner qui figurera dans son certificat d'étalonnage correspondra pour chaque température à l'opposé de l'écart ainsi déterminé.

3.5. Détermination de l'étendue des écarts

L'étendue des écarts W_{max} est la différence entre le plus grand et le plus petit des écarts x_i .

3.6. Détermination de la moyenne des f.é.m. indiquées par le thermocouple à étalonner

À partir des quatre mesures e_i , la moyenne \bar{E} est déterminée comme suit :

$$\bar{E} = (\sum e_i)/n$$

avec $n = 4$.

C'est cette valeur qui apparaît dans le certificat d'étalonnage.

3.7. Détermination de l'erreur de justesse

L'erreur de justesse correspond à la moyenne des écarts.

IX ESTIMATION DE L'INCERTITUDE

Voir annexe 3.

1. ÉVALUATION DE L'INCERTITUDE DE TYPE A

1.1. Fidélité de l'instrument de mesure : u_i

Pour chaque point de mesure, on dispose de peu de mesures mais on admet de considérer un effectif d'échantillons dont la taille est définie par l'ensemble des points de température. L'incertitude type due à la fidélité sur toute l'étendue de mesure de l'instrument peut être estimée à partir des écarts types ou des étendues obtenues sur chaque point.

Deux méthodes peuvent être utilisées :

- la fidélité est estimée à partir de la valeur maximale

follows:

$$x_i = e_i - f_i$$

with x_i the deviation between the emf read on the thermocouple to be calibrated and real emf, e_i the emf read on the couple to be calibrated (indicated by the display), and f_i the corrected reference emf (real emf).

3.4. Calculation of the mean deviation

From the four calculated deviations x_i , the mean \bar{x} is calculated as follows:

$$\bar{x} = (\sum x_i)/n$$

with $n = 4$.

The thermocouple correction issued on its calibration certificate, corresponds for each temperature to the opposite of the deviation determined this way.

3.5. Calculation of the deviation range

The deviation range W_{max} is the difference between the maximum and the minimum deviation x_i .

3.6. Calculation of the mean of the emf displayed by the thermocouple to be calibrated

From the four measurements e_i , the mean \bar{E} is calculated as follows:

$$\bar{E} = (\sum e_i)/n$$

with $n = 4$.

This is the value which is issued on the calibration certificate.

3.7. Bias calculation

The bias corresponds to the mean deviation.

IX UNCERTAINTY ESTIMATION

See appendix 3.

1. TYPE A UNCERTAINTY ASSESSMENT

1.1. Measuring instrument precision: u_i

For each measurement point, we have few measurements but we accept to consider a sample whose size is determined by the whole set of the temperature points. The precision standard uncertainty on the whole range of temperature may be assessed from the standard deviations or from measured ranges at each point.

Two methods can be used:

- the measurement bias is assessed from the maxi-

des écarts types calculés aux différents points ;
- la fidélité est estimée à partir de l'étendue maximale (W_{max}) des valeurs lues, en utilisant l'expression :

$$u_t = W_{max} / d_n$$

Le tableau 6 donne $d_n = 2,06$ pour $n = 4$ (nombre de mesures).

Tableau 6. Valeurs de d_n .

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_n	1,13	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08

2. ÉVALUATION DE L'INCERTITUDE DE TYPE B

2.1. Thermomètre étalon de référence : u_{ce}

L'incertitude élargie du thermomètre étalon U_e et le facteur d'élargissement (exemple : $k = 2$) sont donnés dans son certificat d'étalonnage. On choisira la plus grande incertitude figurant dans le certificat aux alentours du point de mesure considéré. L'incertitude due u_{ce} liée au thermomètre étalon correspond à :

$$u_{ce} = U_e / 2$$

2.2. Pérennité du thermomètre étalon de référence : u_{pe}

S'il s'agit d'un premier étalonnage, on prend la valeur u_{pe} égale à l'incertitude type u_{ce} :

$$u_{pe} = u_{ce} = U_e / 2$$

On choisira la plus grande incertitude figurant dans le certificat aux alentours du point de mesure considéré.

À long terme, la pérennité correspondra à la plus grande variation de température entre deux étalonnages, sur la base d'au moins trois certificats d'étalonnage :

$$u_{pe} = \Delta R$$

2.3. Interpolation du thermomètre étalon de référence : u_{int}

Les résultats figurant sur le certificat d'étalonnage sont donnés pour un nombre de points limité. Si l'étalonnage est fait à une température différente, la valeur de correction est calculée soit par modélisation, soit par interpolation. L'incertitude sur ce calcul u_{int} peut être prise égale à :

$$u_{int} = \max [(\epsilon_i - \epsilon_j) / 2]$$

la correction ϵ_m pour la température T_m étant calculée à partir des moyennes des corrections ϵ_i et ϵ_j correspondant aux températures d'étalonnage qui encadrent T_m .

maximum standard deviation calculated at the different points;
- the measurement bias is assessed from the maximum range (W_{max}) of read values, using the formula:

$$u_t = W_{max} / d_n$$

Table 6 gives the value $d_n = 2.06$ with $n = 4$ (number of measurements).

Table 6. d_n values.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_n	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

2. TYPE B UNCERTAINTY ASSESSMENT

2.1. Reference standard thermometer: u_{ce}

The expanded uncertainty of the standard thermometer U_e and the coverage factor (for instance: $k = 2$) are given by its calibration certificate. We will choose the largest uncertainty issued in the certificate around the concerned measurement point. The standard deviation u_{ce} linked to the reference thermometer corresponds to:

$$u_{ce} = U_e / 2$$

2.2. Reference standard thermometer drift: u_{pe}

For a first calibration, we take the value u_{pe} equal to the uncertainty u_{ce} :

$$u_{pe} = u_{ce} = U_e / 2$$

We will choose the largest uncertainty issued in the calibration certificate around the concerned measurement point.

In the long term, the drift will correspond to the largest deviation of temperature between two calibrations, on the basis of at least three calibration certificates:

$$u_{pe} = \Delta R$$

2.3. Reference standard thermometer interpolation: u_{int}

Results on the calibration certificate are given for a limited number of measurement points. If the calibration is carried out at a different temperature, the correction value is calculated by modelisation or interpolation. The uncertainty on this correction u_{int} can be taken as:

$$u_{int} = \max [(\epsilon_i - \epsilon_j) / 2]$$

the correction ϵ_m for the temperature T_m being calculated from the corrections mean ϵ_i and ϵ_j corresponding to the calibration points correction values around T_m .

2.4. Résolution de l'instrument de mesure : u_{ana}

Le pas de quantification correspond à la plus petite subdivision, notée d . La composante d'incertitude type due au pas de quantification est égale à :

$$u_{ana} = d/(2\sqrt{3})$$

Pour les thermomètres à échelle graduée, ce pas de quantification (interpolation) peut être égal à la largeur de l'intervalle divisé par 2, 4, 5 ou 10 selon la largeur de l'intervalle.

Pour les thermomètres à affichage numérique, le pas de quantification est égal à la valeur d d'incrémenta-tion de l'affichage.

2.5. Colonne émergente (thermomètre à dilatation) : u_{Cci}

Exemple : voir chapitre VIII.1.2.

Si cette erreur n'est pas corrigée ($C_{ci} = 0$ dans le modèle), elle peut être prise en compte sous la forme d'une incertitude type en supposant une distribution rectangulaire, soit :

$$u_{Cci} = [0,6/(2\sqrt{3})] \cdot 10^{-2} = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$$

2.6. Incertitudes liées au générateur**2.6.1. Homogénéité du générateur : u_{ε}**

On a calculé l'écart de température ε entre deux logements d'un bloc d'égalisation thermique ou entre deux puits thermiques. L'incertitude sur cet écart est :

$$u_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{u_{r1}^2 + u_{r2}^2 + u_{r3}^2 + u_{r4}^2}{4}}$$

L'incertitude u_{ri} sur le résultat donné par le capteur utilisé caractérise le générateur.

Si u_{ri} n'est pas connu, l'incertitude sur cet écart sera :

$$u_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\varepsilon^2}{12}}$$

Dans les deux cas, l'incertitude type sur l'homogénéité du générateur correspondra à la plus grande de ces deux valeurs.

2.6.2. Stabilité du générateur : u_{st}

En considérant que la distribution des valeurs relevées suit une loi rectangle (répartition uniforme des températures relevées entre deux valeurs extrêmes), on a :

$$u_{st} = \Delta T/2\sqrt{3}$$

Dans un souci de simplification, le ΔT utilisé pour ce calcul, correspond au plus grand des ΔT relevés dans l'ensemble des logements du bloc de stabilisation.

2.4. Measurement instrument scale interval: u_{ana}

The scale interval corresponds to the smallest digit, marked d . The uncertainty component linked to the readability equals:

$$u_{ana} = d/(2\sqrt{3})$$

For graduated scale thermometers, this scale interval (interpolation) may be taken equal to the graduation width divided by 2, 4, 5 or 10 according to the graduation width.

For the thermometers having a digital display, the scale interval is equal to the value d of the display.

2.5. Emergent stem (liquid-in-glass thermometer): u_{Cci}

Example: see chapter VIII.1.2.

If this error is not corrected ($C_{ci} = 0$ for the model), it can be taken into account as an uncertainty, assuming a rectangular distribution, then:

$$u_{Cci} = [0.6/(2\sqrt{3})] \cdot 10^{-2} = 0.2 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$$

2.6. Uncertainties linked to the generator**2.6.1. Generator homogeneity: u_{ε}**

We calculate the temperature deviation ε between two locations of a thermal block or between two thermal wells. The uncertainty for this deviation is:

$$u_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{u_{r1}^2 + u_{r2}^2 + u_{r3}^2 + u_{r4}^2}{4}}$$

The uncertainty u_{ri} on the result given by the sensor characterises the generator.

If u_{ri} is not known, the uncertainty on this deviation is taken as:

$$u_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\varepsilon^2}{12}}$$

In both cases, the generator homogeneity uncertainty corresponds to the greatest value among the two.

2.6.2. Generator stability: u_{st}

Considering that the distribution of the recorded values corresponds to a rectangular distribution (uniform distribution of the recorded temperatures between two extreme values), we obtain:

$$u_{st} = \Delta T/2\sqrt{3}$$

To simplify, the ΔT used for this calculation corresponds to the greatest of the ΔT recorded for all the locations of the stabilisation block.

Dans le cas où on n'observe aucune variation de température au cours du temps, il faudra considérer ΔT égale à la résolution du thermomètre utilisé.

2.7. Incertitude liée à la valeur indiquée par le mesureur : u_m

Elle est donnée en μV (thermocouple) ou en Ω (résistance électrique) par son certificat d'étalonnage sous forme de $k\sigma$. Elle doit être recalculée en 1σ et sera convertie en $^{\circ}C$ grâce au coefficient de sensibilité du thermomètre à étalonner à la température correspondante :

$$u_m = U_m / 2$$

2.8. Incertitude liée au pas de quantification du mesureur

À compter autant de fois qu'on l'utilise (voir IX.2.3 « Pas de quantification »).

2.9. Incertitude liée à la pérennité du mesureur entre deux étalonnages : u_{pm}

Cette composante est issue de l'analyse des certificats d'étalonnage du mesureur. On procède de la manière suivante selon le nombre d'étalonnages déjà effectués :

- premier étalonnage : on prend la valeur du certificat ;
- deuxième étalonnage : on compare la dérive réelle à celle annoncée par le constructeur et on choisit la valeur la plus grande ;
- troisième ou quatrième étalonnage : on calcule le plus grand écart entre les valeurs ($\Delta f.e.m.$) et on divise par $2\sqrt{3}$;
- cinquième étalonnage et plus : on calcule la dérive par régression linéaire.

2.10. Incertitude liée à l'utilisation d'une boîte de soudure froide : u_{bsf}

Si une boîte de soudure froide est utilisée avec le thermocouple à étalonner, on doit prendre en compte la composante d'incertitude liée à l'utilisation de ce système.

On place la jonction de mesure d'un thermocouple étalon dans un bain à $0^{\circ}C$ et on relie la jonction de référence à la boîte de soudure froide. On relève alors la valeur indiquée par le mesureur en μV . Cette valeur représente la correction à appliquer à la valeur mesurée par le thermocouple lors de l'opération d'étalonnage.

L'incertitude sur le calcul de la correction est liée à l'incertitude du couple étalonné (u_{c1}), du mesureur (u_{m1}) et du bain (u_{ϵ} et u_{st1}) utilisés :

$$u_{bsf} = \sqrt{u_{c1}^2 + u_{m1}^2 + u_{\epsilon}^2 + u_{st1}^2}$$

In the case where no deviation of temperature is observed in time, we must consider ΔT equal to the resolution of the thermometer used.

2.7. Uncertainty linked to the value displayed by the measurer: u_m

It is given in μV (thermocouple) or in Ω (electrical resistance) by its calibration certificate as $k\sigma$. It must be recalculated as 1σ and will be converted in $^{\circ}C$ with the calibrated thermometer sensitivity coefficient at the corresponding temperature:

$$u_m = U_m / 2$$

2.8. Uncertainty linked to the measurer scale interval

To be counted as many times as used (see IX.2.3 "Scale interval").

2.9. Uncertainty linked to the measurer drift between two calibrations: u_{pm}

This component is issued from the analysis of the measurer calibration certificates. We proceed as follows according to the number of calibrations already carried out:

- first calibration: we take the certificate value;
- second calibration: we compare the real drift to the one given by the manufacturer and we choose the largest value;
- third or fourth calibration: we calculate the largest deviation between values (Δemf) and we divide it by $2\sqrt{3}$;
- fifth calibration and more: we calculate the drift by linear regression.

2.10. Uncertainty linked to the use of a cold welding box: u_{bsf}

If a cold welding box is used with the thermocouple to be calibrated, we must take into account the uncertainty component linked to the use of this system.

We place the measurement junction of a standard thermocouple, in a bath at $0^{\circ}C$ and we connect the reference junction to the cold welding box. We note the value displayed by the measurer in μV . This value represents the correction to apply to the value measured by the thermocouple during calibration.

The uncertainty for the correction calculation is linked to the calibrated couple (u_{c1}), the measurer (u_{m1}) and the used bath (u_{ϵ} and u_{st1}) uncertainties:

$$u_{bsf} = \sqrt{u_{c1}^2 + u_{m1}^2 + u_{\epsilon}^2 + u_{st1}^2}$$

3. BILAN DES INCERTITUDES

3.1. Thermomètre à dilatation (tableau 7)

3.2. Thermomètre à résistance électrique (tableau 8)

Tableau 7. Thermomètre à dilatation.
Table 7. Liquid-in-glass thermometer.

Composantes d'incertitude Uncertainty components	Formule Formula
Répétition des observations Measurements repeatability	$u_t = W_{max}/d_n$
Thermomètre étalon de référence Reference standard thermometer	$u_{ce} = U_e/2$
Pérennité du thermomètre étalon de référence Reference standard thermometer drift	$u_{pe} = u_{ce} = U_e/2$
	$u_{pe} = \Delta R$
Résolution Scale interval	$u_{ana} = u_{num} = d/2\sqrt{3}$
Colonne émergente Emergent stem	$u_{cci} = [A \cdot N(B_j - \theta_a)]/2\sqrt{3}$
Homogénéité du générateur Generator homogeneity	$u_e = \sqrt{\frac{u_{r1}^2 + u_{r2}^2 + u_{r3}^2 + u_{r4}^2}{4}}$ ou/or $u_e = \sqrt{(\epsilon^2/12)}$
Stabilité du générateur Generator stability	$u_{st} = \Delta T/2\sqrt{3}$

3.3. Thermocouple (tableau 9)

Les composantes d'incertitude exprimées en μV sont converties en $^{\circ}C$ grâce au coefficient de sensibilité calculé à partir des tables de la norme EN 60-584-1 (ex-NF C 42-321) à la température nominale considérée.

Note : afin de tenir compte en particulier de l'inhomogénéité des couples de type K, les valeurs

Tableau/Table 9. Thermocouple.

Composante Component	Symbole Symbol	Formule Formula	Incertitude type Standard uncertainty	Coeff. sensibilité Sensitivity coeff.	Contribution Result
Valeur indiquée par l'étalon de référence Standard displayed value	u_c	$U_c/2 = 0,5/2$	$0,25^{\circ}C$	1	$0,25^{\circ}C$
Pérennité de l'étalon/Standard drift	u_{pe}	Δr	$0,1^{\circ}C$	1	$0,1^{\circ}C$
Résolution thermomètre étalon de référence Reference standard thermometer resolution	u_{num1}	$d/2\sqrt{3} = 0,01/2\sqrt{3}$	$0,003^{\circ}C$	1	$0,003^{\circ}C$
Résolution du mesureur/Measurer resolution	u_{num2}	$d/2\sqrt{3} = 0,5/2\sqrt{3}$	$0,14 \mu V$	$0,025^{\circ}C/\mu V$	$0,004^{\circ}C$
Homogénéité du générateur Generator homogeneity	u_e	$u_e/2 = 0,5/2$	$0,25^{\circ}C$	1	$0,25^{\circ}C$
Stabilité du générateur/Generator stability	u_{st}	$\Delta T/2\sqrt{3} = 0,5/2\sqrt{3}$	$0,14^{\circ}C$	1	$0,14^{\circ}C$
Répétabilité des mesures Measurements repeatability	u_t	$0,2/2,06$	$0,1^{\circ}C$	1	$0,1^{\circ}C$
Étalonnage du mesureur/Measurer calibration	u_m	$U_m/2 = 1/2$	$0,5 \mu V$	$0,025^{\circ}C/\mu V$	$0,013^{\circ}C$
Pérennité du mesureur/Measurer drift	u_{pm}	$1/2\sqrt{3}$	$0,29 \mu V$	$0,025^{\circ}C/\mu V$	$0,007^{\circ}C$
Boîte de soudure froide/Cold welding box	u_{bsf}	-	$0,3^{\circ}C$	1	$0,3^{\circ}C$
Hétérogénéité du thermocouple Thermocouple heterogeneity	δ_j	-	$0,3^{\circ}C$	-	$0,3^{\circ}C$

3. UNCERTAINTY BUDGET

3.1. Liquid-in-glass thermometer (Table 7)

3.2. Resistance thermometer (Table 8)

Tableau 8. Thermomètre à résistance électrique.
Table 8. Resistance thermometer.

Composantes d'incertitude Uncertainty components	Formule Formula
Répétition des observations Measurements repeatability	$u_t = W_{max}/d_n$
Thermomètre étalon de référence Reference standard thermometer	$u_{ce} = U_e/2$
Pérennité du thermomètre étalon de référence Reference standard thermometer drift	$u_{pe} = u_{ce} = U_e/2$
	$u_{pe} = \Delta R$
Résolution du thermomètre étalon de référence Reference standard thermometer scale interval	$u_{num1} = d/2\sqrt{3}$
Pas de quantification du thermomètre à étalonner Calibrated thermometer scale interval	$u_{num2} = d/2\sqrt{3}$
Homogénéité du générateur Generator homogeneity	$u_e = \sqrt{\frac{u_{r1}^2 + u_{r2}^2 + u_{r3}^2 + u_{r4}^2}{4}}$ ou/or $u_e = \sqrt{(\epsilon^2/12)}$
Stabilité du générateur Generator stability	$u_{st} = \Delta T/2\sqrt{3}$

3.3. Thermocouple (Table 9)

The uncertainty components expressed in μV are converted in $^{\circ}C$ with the sensitivity coefficient calculated from the standard EN 60-584-1 tables (ex-NF C 42-321) at the considered nominal temperature.

Note: so as to take into account particularly type K thermocouples heterogeneity, minimum values to

minimales à retenir pour les thermocouples neufs, sont par exemple :

- jusqu'à 100 °C : $\delta_j = \pm 0,3$ °C,
- de 100 à 250 °C : $\delta_j = \pm 0,3$ °C,
- de 250 à 500 °C : $\delta_j = \pm 0,4$ °C,
- de 500 à 800 °C : $\delta_j = \pm 0,5$ °C,
- de 850 à 1 060 °C : $\delta_j = \pm 0,7$ °C,
- de 1 060 à 1 200 °C : $\delta_j = \pm 0,9$ °C.

4. INCERTITUDE COMPOSÉE

En considérant que les composantes d'incertitudes sont indépendantes (chaînes de mesure différentes), on obtient les formules suivantes.

4.1. Thermomètre à dilatation

$$u_c = \sqrt{u_t^2 + u_{Ce}^2 + u_{pe}^2 + u_{ana}^2 + u_{num}^2 + u_{Cci}^2 + u_\varepsilon^2 + u_{st}^2}$$

4.2. Thermomètre à résistance électrique

$$u_c = \sqrt{u_t^2 + u_{Ce}^2 + u_{pe}^2 + u_{num1}^2 + u_{num2}^2 + u_\varepsilon^2 + u_{st}^2}$$

4.3. Thermocouple

$$u_c = \sqrt{u_t^2 + u_{Ce}^2 + u_{pe}^2 + u_{num1}^2 + u_{num2}^2 + u_\varepsilon^2 + u_{st}^2 + u_m^2 + u_{pm}^2 + u_{bsf}^2 + \delta_j^2}$$

5. INCERTITUDE ÉLARGIE

$$U = \pm 2 \times u_c$$

Incertitude élargie avec $k = 2$, estimée pour un niveau de confiance de 95%.

Note : dans le cadre d'une démarche approchée conduisant à l'estimation de l'incertitude de mesure, l'incertitude type composée sera majorée d'au moins 20%. Le résultat ainsi obtenu sera multiplié par le facteur d'élargissement pris égal à 2.

X PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Des exemples de présentation de feuille de mesure et de calcul et de certificats d'étalonnage sont donnés en annexe.

XI RÉFÉRENTIELS

1. FASCICULE AFNOR FD X 07-028

Pour interpoler ou modéliser les résultats, il est nécessaire d'avoir un nombre de points d'étalonnage suffisant. Le choix de la méthode d'exploitation des résultats d'étalonnage dépend :

- du nombre de points d'étalonnage et de l'étendue entre deux points ;
- de la résolution de l'instrument ou plus généralement de l'incertitude de mesure visée.

retain for new thermocouples are, for instance:

- up to 100 °C: $\delta_j = \pm 0.3$ °C,
- from 100 to 250 °C: $\delta_j = \pm 0.3$ °C,
- from 250 to 500 °C: $\delta_j = \pm 0.4$ °C,
- from 500 to 800 °C: $\delta_j = \pm 0.5$ °C,
- from 850 to 1,060 °C: $\delta_j = \pm 0.7$ °C,
- from 1,060 to 1,200 °C: $\delta_j = \pm 0.9$ °C.

4. COMBINED UNCERTAINTY

Considering that the uncertainties components are independent (different measuring chains), we obtain the following formulas.

4.1. Liquid-in-glass thermometer

4.2. Resistance thermometer

4.3. Thermocouple

5. EXPANDED UNCERTAINTY

$$U = \pm 2 \times u_c$$

Expanded uncertainty with $k = 2$, assessed for a confidence level of 95%.

Note: in the aspect of an approach to assessing measurement uncertainty, the combined uncertainty will be majorated by at least 20%. The result obtained will then be multiplied by a coverage factor of 2.

X RESULTS PRESENTATION

Examples of measurement and calculation sheets and calibration certificates are given in appendix.

XI REFERENCE STANDARDS

1. FASCICULE AFNOR FD X 07-028

To be able to interpolate or modelise results, a sufficient number of calibration points is necessary. The choice of a calibration results calculation method depends on:

- the number of calibration points and the range between two points;
- the instrument resolution or more generally the desired measurement uncertainty.

Il est important de noter que dans tous les cas, l'extrapolation des résultats en dehors du domaine d'étalonnage est à proscrire.

Différentes méthodes d'interpolation sont décrites dans le fascicule Afnor FD X 07-028 :

- interpolation à partir de la moyenne ;
- interpolation linéaire ;
- interpolation graphique ;
- modélisation.

2. GUIDE TECHNIQUE COFRAC

Pour les thermomètres à dilatation, ce guide prend en compte une composante d'incertitude supplémentaire sur la correction liée à la dépression du zéro du thermomètre à étalonner (voir le guide pour plus de détails). Cette composante n'est pas décrite dans cet article car elle est négligeable dans le bilan des incertitudes.

Pour les thermomètres à résistance de platine, le guide prend en compte une incertitude associée à la connectique. Cette incertitude est considérée comme négligeable.

3. GUIDE TECHNIQUE EURAMET

Le guide technique Euramet/cg-08/v.01 prend en compte pour l'étalonnage des thermocouples une composante δV_R supplémentaire liée aux voltages parasites résiduels au niveau des contacts. Elle est évaluée à $0 \pm 2 \mu\text{V}$.

XII EXPLOITATION DES RÉSULTATS

1. ERREUR DE JUSTESSE

L'utilisateur a la possibilité d'appliquer ou non à une mesure la correction de température issue du certificat de son thermomètre étalon de travail.

Si l'utilisateur a besoin d'une incertitude de mesure faible, il appliquera la correction. Par contre, s'il n'applique pas cette correction, l'incertitude de mesure sera accrue de la valeur absolue de la correction.

2. CRITÈRES D'ACCEPTATION

La comparaison de l'incertitude élargie U avec l'erreur de justesse E_j aux erreurs maximales tolérées ne peut être faite que si les conditions d'utilisation n'entraînent pas une dégradation significative de l'incertitude.

L'incertitude élargie U augmentée ou non de l'erreur de justesse E_j doit être au moins inférieure au quart de l'EMT. Ce facteur peut être plus faible en fonction des besoins et des moyens de l'utilisateur.

It is important to notice that, in any case, results extrapolation outside the calibration range must be prohibited.

Various interpolation methods are described in Afnor FD X 07-028:

- interpolation from mean;
- linear interpolation;
- graphic interpolation;
- modelisation.

2. COFRAC TECHNICAL GUIDE

For liquid-in-glass thermometers, this guide takes into account an additional uncertainty component on the correction linked to zero depression (see guide for more details). This component is not described in this paper because it is negligible in the uncertainty budget.

For platinum resistance thermometers, this guide takes into account an uncertainty component linked to connections. This uncertainty is considered to be negligible.

3. EURAMET TECHNICAL GUIDE

The calibration guide Euramet/cg-08/v.01 takes into account an additional component δV_R for thermocouples, linked to the residual parasitic offsets emfs due to the switch contacts. It is estimated to be $0 \pm 2 \mu\text{V}$.

XII INTERPRETATION OF THE RESULTS

1. BIAS

The user has the possibility to or not to apply the correction temperature issued from the working standard thermometer certificate to a measurement.

If the user needs a low measurement uncertainty, he will apply the correction. However, if he does not apply it, the measurement uncertainty will be increased by the correction absolute value.

2. ACCEPTANCE CRITERIA

The comparison of the expanded uncertainty U with the bias E_j to the maximal permissible errors is possible only if the conditions of use do not lead to a significant increase of the uncertainty.

The expanded uncertainty U increased or not by the bias E_j must be at least smaller than a quarter of the MPE. This factor can be smaller depending on the user's needs and equipments.

3. DÉCISIONS D'ACCEPTATION POUR LE THERMOMÈTRE À ÉTALONNER

3.1. Conformité et non-conformité

Quand les critères retenus sont vérifiés, cette situation est mentionnée sur la fiche de vie de l'instrument.

Quand les critères retenus ne sont pas vérifiés, l'opérateur peut effectuer un réglage du thermomètre sur la base des instructions et recommandations fournies par le constructeur (voir mode d'emploi du thermomètre).

Une seconde série de mesures sera alors effectuée. Cette situation est mentionnée sur la fiche de vie.

3.2. Réparation

Si la réparation est envisageable, un nouvel étalonnage devra être effectué après réception. Cette situation est mentionnée sur la fiche de vie.

3.3. Déclassement et réforme

Quand la réparation d'un thermomètre ne permet pas de le rendre à nouveau conforme, le déclassement est envisageable (par exemple : augmentation des erreurs maximales tolérées).

La réforme du thermomètre consiste à s'en débarrasser ou à ne plus l'utiliser pour des opérations nécessitant sa surveillance. Dans tous les cas, l'opérateur mentionne la situation sur la fiche de vie.

4. VALIDATION DES RÉSULTATS

L'opérateur valide les résultats issus de la feuille de mesure et de calcul en y apposant sa signature.

5. CONSTAT DE CONFORMITÉ ET FICHE DE VIE

L'opérateur complète la fiche de vie.

6. CLASSEMENT DES DOCUMENTS

La feuille de mesure et de calcul, le certificat d'étalonnage et le constat de vérification sont classés.

3. ACCEPTANCE DECISION FOR THE THERMOMETER TO BE CALIBRATED

3.1. Conformity and non conformity

When the specified criteria are met, this situation is written on the instrument data sheet.

When the specified criteria are not met, the operator can adjust the thermometer according to the manufacturer instructions and recommendations (see thermometer user manual).

Then a second series of measurement will be carried out. This situation is written on the data sheet.

3.2. Repair

If repair is possible, a new calibration will be carried out after delivery. This situation is written on the data sheet.

3.3. Downgrading and reform

When repairing a thermometer does not make it conform again, downgrading is possible, (for instance: increasing maximal permissible errors).

The reform of the thermometer consists in getting rid of it or not using it any more for operations requiring its survey. In all cases, the operator writes the situation on the data sheet.

4. RESULTS VALIDATION

The operator validates the measurement and calculation sheets results, by appending his signature.

5. CONFORMITY CERTIFICATE AND DATA SHEET

The operator fulfils the data sheet.

6. DOCUMENTS CLASSIFICATION

The measurement and calculation sheet, the calibration certificate and the verification report are stored.

Annexe 1 Différents types de thermomètres

Il existe différents types de thermomètres :

- thermomètres à dilatation ;
- thermomètres à résistance : de platine et à thermistance ;
- thermomètres à couples thermoélectriques.

1. Thermomètre à dilatation de liquide (figure 1)

Le principe utilisé est la dilatation apparente d'un liquide dans son enveloppe. Un réservoir dont le volume est de l'ordre de 1 cm^3 est surmonté d'un tube fin dont la section est de l'ordre du $1/10 \text{ mm}$. Toute variation de volume du liquide due à une variation de température se traduit par un déplacement du niveau dans le tube d'autant plus important que le volume du réservoir est grand et que le tube est fin. L'enveloppe de verre subit aussi la dilatation ; elle est beaucoup plus faible que celle du liquide et on observe seulement la dilatation apparente du liquide dans le verre.

Le tube capillaire comporte souvent dans sa partie supérieure une chambre d'expansion qui permet une dilatation du liquide au-delà de l'échelle de mesure.

La graduation est généralement gravée sur l'enveloppe extérieure.

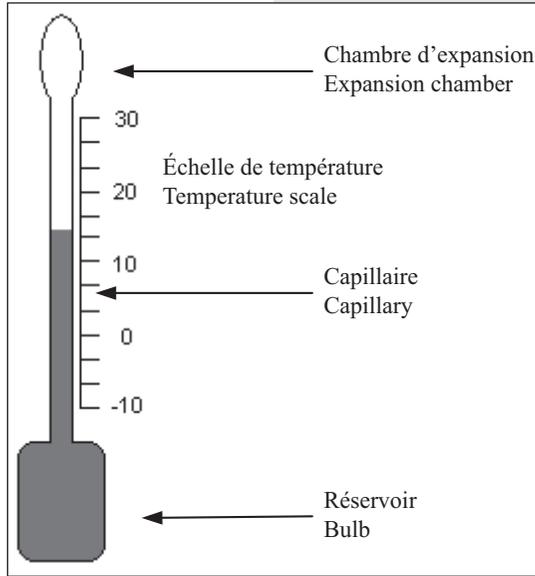


Figure 1. Thermomètre à dilatation de liquide.
Figure 1. Liquid-in-glass thermometer.

Tableau 1. Domaines d'utilisation.

Liquide thermométrique	Domaine d'emploi	
Mercure	235-873 K	-38-600 °C
Toluène	183-373 K	-90-100 °C
Éthanol	163-373 K	-110-100 °C
Pentane	123-293 K	-150-20 °C

La température minimale correspond généralement à la température de fusion (solidification) du liquide. Quant à la valeur maximale de la température elle peut être limitée par la vaporisation du liquide ou par le ramollissement de l'enveloppe de verre (il existe des thermomètres à enveloppe de quartz fondu qui permettent d'atteindre 1 023 K).

Corrections à apporter (figure 2) :

- la dilatation de l'enveloppe, difficile à apprécier totalement ;
- l'erreur de parallaxe dans la lecture ;
- l'erreur due à la colonne émergente qui n'est pas à la température du bain étudié (la colonne de liquide est immergée jusqu'à la graduation n, dans l'enceinte de température inconnue ; la partie de la colonne située entre n et h est en contact avec la température ambiante).

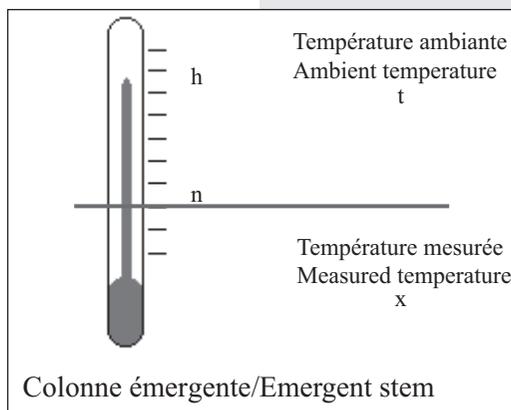


Figure 2.

Appendix 1 Different types of thermometers

There are different types of thermometers:

- liquid-in-glass thermometers;
- resistance thermometers: platinum and thermistors;
- thermoelectric couple thermometers.

1. Liquid-in-glass thermometer (Figure 1)

The principle is the apparent expansion of a liquid in its container. A glass bulb whose volume is around 1 cm^3 is surmounted by a thin tube whose section is around $1/10 \text{ mm}$. Any variation of the liquid volume, due to temperature variation, leads to a liquid level displacement in the tube, all the more important as the bulb volume is large and the capillary tube is thin. The glass container undergoes dilatation too, but much lesser than liquid and what is observed is only the apparent liquid dilatation in glass.

The capillary has often in its upper part an expansion chamber allowing liquid dilatation above the working range.

Graduations are generally engraved on the external envelop.

Table 1. Temperature range.

Thermometer liquid	Temperature range	
Mercury	235-873 K	-38-600 °C
Toluene	183-373 K	-90-100 °C
Ethanol	163-373 K	-110-100 °C
Pentane	123-293 K	-150-20 °C

Minimum temperature corresponds generally to the liquid melting temperature (solidification). As for the maximum temperature value, it can be limited by liquid vaporisation or by the glass envelop softening (some fused quartz thermometers allow reaching 1,023 K).

Corrections to be taken into account (Figure 2):

- envelop dilatation, difficult to estimate perfectly;
- reading parallax error;
- error due to the emergent stem which is not at the same temperature as the bath (the liquid column is immersed as high as the graduation n in the temperature generator of which temperature is not known; the part of the stem between n and h is in contact with ambient temperature).

2. Thermomètre à résistance et thermistance

Le fonctionnement des thermomètres à résistance et thermistances est basé sur le même phénomène physique : l'influence de la température sur la résistance électrique d'un conducteur. La mesure d'une température est donc ramenée à la mesure d'une résistance. Comme la caractéristique résistance/température est de nature différente pour un métal et pour un agglomérat d'oxydes métalliques, deux cas sont distingués. On parlera de thermomètre à résistance d'une part et de thermistance d'autre part.

2.1. Thermomètre à résistance (figure 3)

La résistance des conducteurs électriques varie en fonction de leur température.

Ce principe est appliqué en utilisant le plus souvent des matériaux comme le platine ou le nickel. L'or, l'argent ou le cuivre, dont la résistivité électrique est intrinsèquement basse, sont moins aptes à la thermométrie par résistance.

En pratique, le capteur doit être réalisé dans un matériau ayant un coefficient de température élevé et une très bonne linéarité.

Le platine est largement utilisé pour les applications mettant le matériau en présence de très hautes températures.

En outre, il est connu pour sa résistance aux produits chimiques et sa facilité de mise en œuvre.

La résistance est alimentée par un courant constant et on mesure la tension en fonction de la température.

Les valeurs nominales et les tolérances sont précisées dans la norme DIN IEC 751 (Pt 100 = 100 Ω à 0 °C).

Le type de sonde platine le plus couramment utilisé est la Pt100 dont la valeur à 0 °C est de 100 Ω . Il existe également des éléments sensibles avec des valeurs de 500 et 1 000 Ω . Ils présentent l'avantage d'une plus grande sensibilité, c'est-à-dire que la variation de leur résistance en fonction de la température est plus importante.

2.2. Thermomètre à thermistance

On distingue deux types de thermistances : les CTN (coefficient de température négatif, figure 4) et les CTP (coefficient de température positif, figure 5).

Les CTN sont des thermistances dont la résistance diminue avec la température.

Les CTN sont fabriquées à base d'oxydes de métaux de transition (manganèse, cobalt, cuivre et nickel). Ces oxydes sont semi-conducteurs.

Les CTN peuvent être utilisées dans une large plage de température de -200 à +1 000 °C, et sont disponibles dans un grand choix de tailles et formes : perles de verre, disques, barreaux, pastilles, rondelles, puces etc.

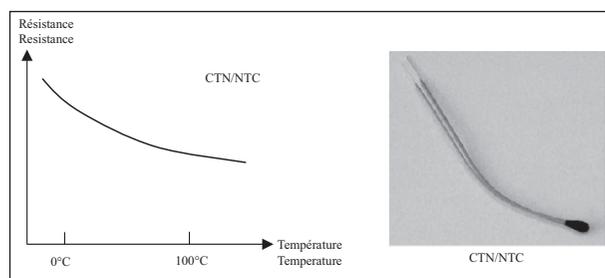


Figure 4. Thermistance CTN.

Figure 4. NTC thermistor.

2. Resistance thermometers and thermistors

Resistance thermometers and thermistors functioning principles are based on the same physical phenomenon: the influence of temperature on a conductor electrical resistance. Temperature measurement is thus a resistance measurement. As the resistance vs. temperature characteristics are of a different nature for a metal or for metallic oxides mixture, two cases are studied. The latter are called thermistors while the former are called resistance thermometers.

2.1. Resistance thermometer (Figure 3)

Electrical conductors resistance vary with their temperature.

This principle is applied using most of the time materials such as platinum or nickel. Gold, silver or copper electrical resistivity being intrinsically low, they are less suitable for resistance thermometry.

In practice, the sensor must be made of a material having a high temperature coefficient and a good linearity.

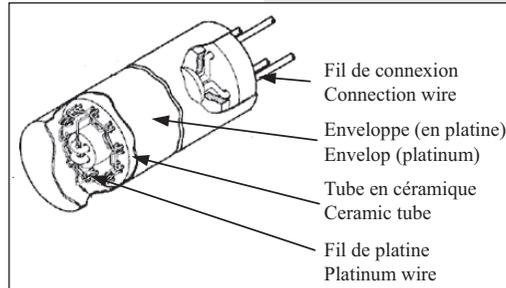


Figure 3. Thermomètre à résistance.

Figure 3. Resistance thermometer.

Platinum is widely used for very high temperature applications.

Moreover, it is known for its chemical resistance as well as its ease of use.

The resistance is supplied by a constant current and the temperature related voltage is measured.

Nominal values and tolerances are described in standard DIN IEC 751 (Pt 100 = 100 Ω at 0 °C).

The most widely used platinum sensor type is Pt100 whose value at 0 °C is 100 Ω . There are also sensitive elements with 500 and 1,000 Ω values. Their advantage is a greater sensitivity, i.e. a greater variation of the resistance value as a function of temperature.

2.2. Thermistors

There are two types of thermistors: NTC (negative temperature coefficient, Figure 4) and PTC (positive temperature coefficient, Figure 5).

NTC are thermistors whose resistance decreases with temperature.

NTC are mainly composed of transition metal oxides (manganese, cobalt, copper and nickel). These oxides are semi-conductors.

NTC may be used in a wide range of temperatures, from -200 to +1,000 °C, and are available in various sizes and configurations: glass beads, discs, rods, tablets, pills, chips, etc.

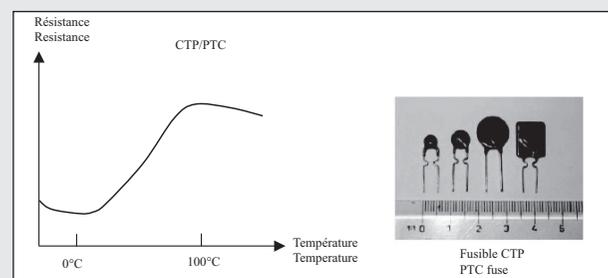


Figure 5. Thermistance CTP.

Figure 5. PTC thermistor.

Les CTP sont des thermistances dont la résistance augmente fortement avec la température dans une plage de température limitée (typiquement entre 0 et 100 °C), mais diminue en dehors de cette zone.

Les CTP sont fabriquées à base de titanate de baryum. Elles sont comme les CTN, disponibles en différentes variantes et valeurs.

L'emploi des thermistances a donc des avantages de sensibilité et de faible encombrement, mais la loi de variation de la résistance en fonction de la température n'est pas linéaire.

3. Montages et raccordements

La mesure de la température se ramène donc à une mesure de résistance. Il existe différentes sortes de raccordements d'une sonde à résistance.

- La technologie deux fils est la plus simple. Son inconvénient est que la résistance mesurée est celle du capteur augmentée de celle des câbles allant du régulateur jusqu'à la Pt100. Elle est donc déconseillée.
- La technologie trois fils permet de limiter l'effet de la prise en compte de la résistance des fils allant à la sonde puisque, sur le côté où il y a deux fils, en injectant le courant dans l'un des fils et en mesurant sur le deuxième, on connaît la chute de tension engendrée par le fil, du fait de la circulation du courant, et il suffit de le doubler pour prendre en compte le troisième fil. Cette technologie est basée sur l'hypothèse de l'égalité des résistances des trois fils.
- La technologie quatre fils est la plus précise puisque, avec ce moyen, on mesure directement la tension aux bornes de la sonde. Les résistances des câbles de connexion n'interviennent plus dans l'erreur de mesure.

On trouve, d'après la norme CEI 751, les schémas de connexions rassemblés dans le tableau 2.

PTC, are thermistors whose resistance increases with temperature in a limited temperature range (typically between 0 and 100 °C), but decreases outside this zone.

PTC are mainly composed of barium titanate. Like NTC, they are available in various shapes and values.

Thermistors are more sensitive and smaller, but their resistance vs. temperature characteristic is not linear.

3. Mounting and connections

Temperature measurement is made through resistance measurement. There are various connection types for a resistance sensor.

- The two-wire technology is the simplest. However, its drawback is that the measured resistance is the sensor resistance plus wires and junctions resistance from the monitor to the sensor Pt100. This mounting is not recommended.
- The three-wire allows limiting the effect of wiring resistance since, on the two wires side, by sending current in one of the wire while measuring on the second, the voltage drop generated by the current flow can be known, and taken into account for the third wire. This technology is based on the hypothesis of the three resistances equality.
- Four-wire technology is the most accurate since the voltage is measured directly at the Pt sensor poles. Connection cables resistance does not interfere any more in the measurement error.

The standard CEI 751 shows the following junction mounting (Table 2).

Tableau 2. Trois schémas de connexion.
Table 2. Three mounting schemes.

Montage deux fils (le plus simple) Two-wire (most simple)	Montage trois fils (le plus utilisé) Three-wire (most used)	Montage quatre fils (le plus précis) Four-wire (most accurate)
<p>C'est la méthode la plus simple, mais les résistances de ligne (R_{L1} et R_{L2}) sont en série avec l'élément sensible. L'erreur correspond à $R_{L1} + R_{L2}$, d'où un décalage de la température mesurée et de la température réelle. C'est le montage à éviter.</p> <p>This method is the most simple, but the wire resistances (R_{L1} and R_{L2}) are in circuit series with the sensor. The error is: $R_{L1} + R_{L2}$, hence the measured temperature offset towards real temperature. This mounting is inadvisable.</p>	<p>Ce montage implique des résistances de ligne (R_{L1}, R_{L2}, R_{L3}) identiques, $R_{L2} + R_{L3}$ permettent de mesurer la résistance de lignes que l'on va soustraire à ce qui est mesuré aux bornes 1 et 2'. C'est actuellement le montage le plus utilisé.</p> <p>This mounting works with identical wire resistances (R_{L1}, R_{L2}, R_{L3}), $R_{L2} + R_{L3}$ allows measuring the wire resistance that will be subtracted to the value measured at the poles 1 and 2'. This is the most used mounting.</p>	<p>On fait passer un courant constant par les bornes 1' et 2' et l'on mesure directement la tension aux bornes de l'élément sensible, ce qui permet complètement de s'affranchir des résistances de lignes. C'est le montage le plus précis.</p> <p>A constant current flows through poles 1' and 2' and the voltage is measured directly at the sensor poles, which allows being free of the wire resistance. This is the most accurate mounting.</p>
<p>La section du câble de raccordement doit être choisie en fonction de sa longueur et de l'appareillage de mesure utilisé qui définit les résistances de lignes maximales admissibles. Dans le cas où l'appareillage de mesure ne peut pas compenser la résistance de ligne, il est conseillé d'utiliser des convertisseurs de mesure. Il est souhaitable de raccorder le Pt 100 avec un câble blindé. Le courant de mesure traversant un élément de Pt 100 ne doit pas être supérieur à 1 mA pour limiter l'auto-échauffement. Une sonde utilisée dans un liquide doit être immergée à une profondeur d'au moins dix fois son diamètre pour éviter les effets radiateurs qui influeraient sur la mesure.</p> <p>The connection cable section must be chosen according to its length and the measuring device used which determines the acceptable wire resistances. If the measuring instrument cannot compensate the wire resistance, it is advised to use measuring converters. Rather connect Pt 100 sensors with shielded cables. The measuring current flowing through a Pt 100 sensor must not be over 1mA in order to limit self-heating. If used in liquid, a sensor must be immersed at a depth being at least 10 times its diameter to limit radiating effects that could influence measurements.</p>		

La mesure des très basses températures ne se fera pas à l'aide d'un thermomètre à résistance ou thermistance.

Very low temperature measurements are not carried out with resistance thermometers or thermistors.

4. Classe des sondes platine

4. Platinum sensors class

4.1. Normes et tolérances

4.1. Standards and tolerances

France NFC 42330, Allemagne DIN 43760, Angleterre BS 1904, International CEI 751.
Tolérances admissibles en °C : $\pm (0,15 + 0,002[t])$ pour la classe A, $\pm (0,3 + 0,005[t])$ pour la classe B, [t] étant la valeur de la température en °C.

France NFC 42330, Germany DIN 43760, England BS 1904, International CEI 751.
Admissible tolerances in °C: $\pm (0,15 + 0,002[t])$ for class A, $\pm (0,3 + 0,005[t])$ for class B, where [t] is the temperature value in °C.

4.2. Sensibilité des différents éléments platine

4.2. Sensitivity of platinum elements

Élément Pt 100: 0,385 Ω/K.
Élément Pt 500: 1,925 Ω/K.
Élément Pt 1000: 3,850 Ω/K.
Récapitulatif des différentes classes de sonde platine en fonction de la tolérance (tolérances des sondes à résistance Pt100 Ω suivant la norme CEI 751) (tableau 3 et figure 6).

Element Pt 100: 0,385 Ω/K.
Element Pt 500: 1,925 Ω/K.
Element Pt 1000: 3,850 Ω/K.
Summary of platinum sensor classes as a function of tolerance (Pt100 Ω resistance sensors tolerances according to standard CEI 751) (Table 3 and Figure 6).

Tableau 3/ Table 3.

Temp. (°C)	Tolérances/Tolerances									
	Classe B Class B		Classe A Class A		1/3 classe B 1/3 class B		1/5 classe B 1/5 class B		1/10 classe B 1/10 class B	
	± °C	± Ω	± °C	± Ω	± °C	± Ω	± °C	± Ω	± °C	± Ω
- 200	1,3	0,56	0,55	0,24	0,44	0,19	0,26	0,11	0,13	0,06
- 100	0,8	0,32	0,35	0,14	0,27	0,11	0,16	0,06	0,08	0,03
0	0,3	0,12	0,15	0,06	0,1	0,04	0,06	0,02	0,03	0,01
+ 100	0,8	0,3	0,35	0,13	0,27	0,1	0,16	0,05	0,08	0,03
+ 200	1,3	0,48	0,55	0,2	0,44	0,16	0,26	0,1	0,13	0,05
+ 300	1,8	0,64	0,75	0,27	0,6	0,21	0,36	0,13	0,18	0,06
+ 400	2,3	0,79	0,95	0,33	0,77	0,26	0,46	0,16	0,23	0,08
+ 500	2,8	0,93	1,15	0,38	0,94	0,31	0,56	0,19	0,28	0,09
+ 600	3,3	1,06	1,35	0,43	1,1	0,35	0,66	0,21	0,33	0,1
+ 650	3,6	1,13	1,45	0,46	1,2	0,38	0,72	0,23	0,36	0,11
+ 700	3,8	1,17	-	-	-	-	-	-	-	-
+ 800	4,3	1,28	-	-	-	-	-	-	-	-
+ 850	4,6	1,34	-	-	-	-	-	-	-	-

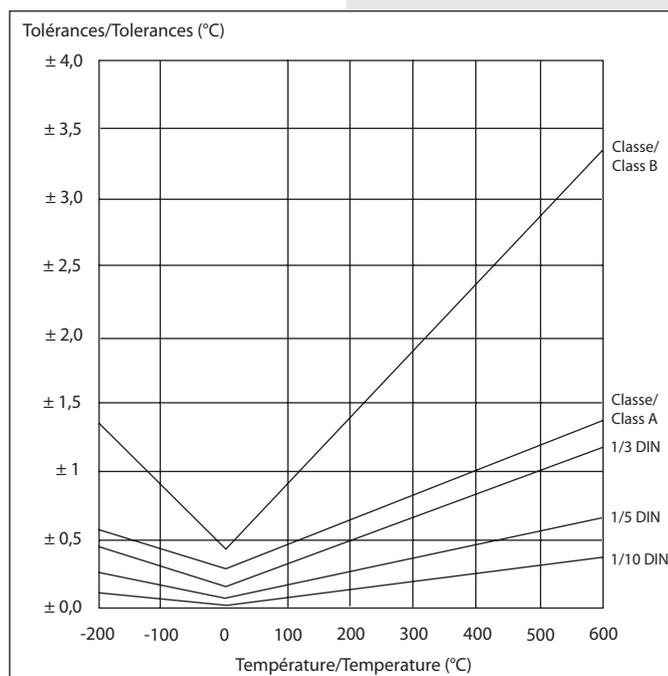


Figure 6.

5. Thermocouples

5.1. Effet thermoélectrique (figure 7)

L'effet Seebeck est la création d'une force électromotrice (f.é.m.), qui varie en fonction de la température, au point de contact de deux métaux.

Deux fils d'alliage métalliques différents soudés en un point forment un couple thermoélectrique. Lorsque l'on chauffe ou refroidit le point de jonction des deux fils (jonction de mesure ou soudure chaude), il se forme une f.é.m. entre le point de mesure et les bornes de raccordement du capteur placées à la température ambiante (jonction de référence ou soudure froide).

Le thermocouple mesure alors la différence de température entre le point de mesure et le point de compensation.

La valeur de la f.é.m. du thermocouple doit être corrigée en fonction de la température ambiante pour être référencée au 0 °C.

Pour la réalisation d'un couple thermoélectrique on choisit des fils utilisables dans la zone de température attendue pour la mesure et présentant des caractéristiques de précision et de sensibilité convenables. On tient compte également de l'action corrosive du milieu ambiant (atmosphère oxydante, réductrice, sulfureuse, etc.) sur les constituants du couple pour arrêter son choix.

Le tableau 4 donne les caractéristiques simplifiées des thermocouples les plus courants.

Tableau 4 / Table 4.

Symbole Symbol	Composition Junction		Étendue d'emploi continu/intermittent/ Measuring range continuous/intermittent use	Commentaires Comments
J	Fer/Iron	+	20-700 °C	Pour milieu réducteur, le fer non protégé pouvant s'oxyder – fortement magnétique Suitable in reducing media, if not isolated iron shall oxidize – strongly magnetic
	Cuivre-nickel Copper-nickel	-	-210-760 °C	
T	Cuivre/Copper	+	-185-300 °C	Bonne répétabilité entre -200 °C et +200 °C Good repeatability from -200 °C to +200 °C
	Cuivre-nickel Copper-nickel	-	-270-400 °C	
K	Nickel-chrome Nickel-chromium	+	0-1100 °C	Bien adapté aux milieux oxydants Suitable in oxidizing media
	Nickel-aluminium	-	-270-1370 °C	
E	Nickel-chrome Nickel-chromium	+	0-800 °C	Utilisation sous vide ou milieu légèrement oxydant – adapté aux basses températures Vacuum or slightly oxidizing media – suitable for low temperatures
	Cuivre-nickel Copper-nickel	-	-270-1000 °C	
R	Platine-13% rhodium Platinum-13% rhodium	+	0-1600 °C	Utilisation en milieu oxydant ou inerte – possible en milieu réducteur ou sous vide à condition que les matériaux utilisés soient exempts de silice Suitable for use in oxidising or inert atmospheres and may be used under reducing conditions or in a vacuum provided that the refractory materials are free from siliceous materials
	Platine/Platinum	-	-50-1760 °C	
S	Platine-10% rhodium Platinum-10% rhodium	+	0-1550 °C	Résistance à l'oxydation ou à la corrosion Oxidation and corrosion resistant
	Platine/Platinum	-	-50-1760 °C	
B	Platine-30% rhodium Platinum-30% rhodium	+	600-1700 °C	Utilisation à haute température > 600 °C Suitable for high temperature > 600 °C
	Platine-6% rhodium Platinum-6% rhodium	-	0-1820 °C	

5. Thermocouples

5.1. Thermoelectric effect (Figure 7)

The Seebeck effect is the creation of an electromotive force (emf) which varies as a function of temperature at the junction between two dissimilar metals.

Two dissimilar alloy or metal wires welded at a point form a thermoelectric couple. When this junction is heated (measure junction or hot welding), a voltage is generated at the extremities (junctions), which are connected to cables (reference junction or cold welding), going to the temperature zone to be tested.

The thermocouple measures temperature difference between measure junction and reference junction.

The thermocouple emf value must be corrected, according to ambient temperature, to take 0 °C as the reference junction temperature.

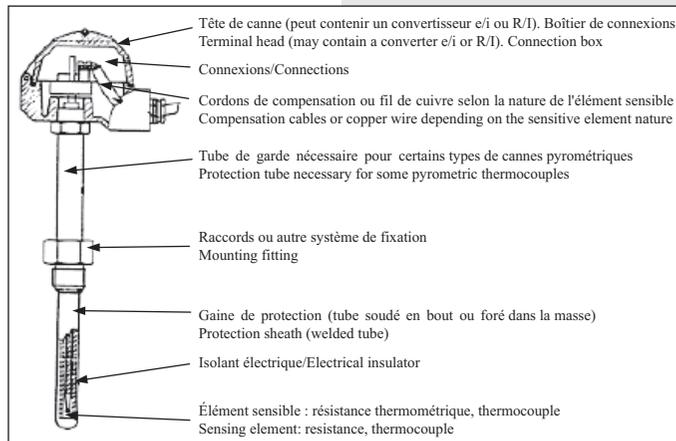


Figure 7.

Making a thermocouple implies choosing wires usable in the desired temperature measuring range and whose precision and sensitivity characteristics are convenient. The ambient media possible corrosive action on the thermocouple components must also be taken into account (oxidizing, reducing, sulphurous atmosphere...) to make the choice.

Table 4 gives the main characteristics for the most used thermocouples.

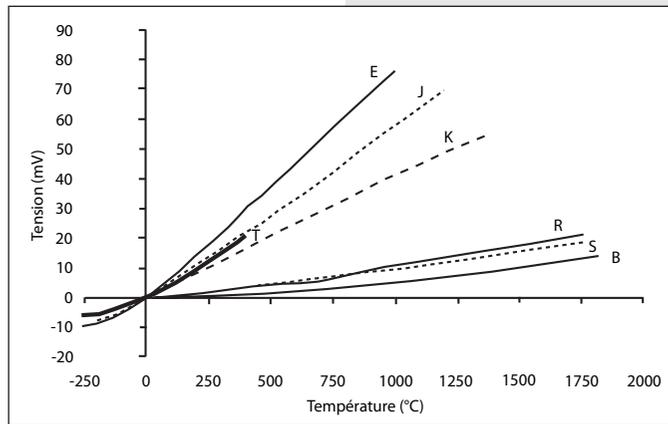


Figure 8.

5.2. Classe des thermocouples (tableau 5)

5.2. Thermocouples class (table 5)

Couple		Classes de tolérance suivant CEI 584/Tolerance classes according to CEI 584	
Fe-CuNi	J	Classe 1 - 40 à/to + 750 °C : $\pm 0,004 \times t$	ou/or $\pm 1,5$ °C
		Classe 2 - 40 à/to + 750 °C : $\pm 0,0075 \times t$	ou/or $\pm 2,5$ °C
		Classe 3	
Cu-CuNi	T	Classe 1 - 40 à/to + 350 °C : $\pm 0,004 \times t$	ou/or $\pm 0,5$ °C
		Classe 2 - 40 à/to + 350 °C : $\pm 0,0075 \times t$	ou/or $\pm 1,0$ °C
		Classe 3 - 200 à/to + 40 °C : $\pm 0,015 \times t$	ou/or $\pm 1,0$ °C
Ni-CrNi	K	Classe 1 - 40 à/to + 1000 °C : $\pm 0,004 \times t$	ou/or $\pm 1,5$ °C
NiCrSi-NiSi	N	Classe 2 - 40 à/to + 1200 °C : $\pm 0,0075 \times t$	ou/or $\pm 2,5$ °C
		Classe 3 - 200 à/to + 40 °C : $\pm 0,015 \times t$	ou/or $\pm 2,5$ °C
NiCr-CuNi	E	Classe 1 - 40 à/to + 800 °C : $\pm 0,004 \times t$	ou/or $\pm 1,5$ °C
		Classe 2 - 40 à/to + 900 °C : $\pm 0,0075 \times t$	ou/or $\pm 2,5$ °C
		Classe 3 - 200 à/to + 40 °C : $\pm 0,015 \times t$	ou/or $\pm 2,5$ °C
Pt10Rh-Pt	S	Classe 1 - 0 à/to + 1600 °C : $[1+(t-1100) \times 0,003]$	ou/or $\pm 1,0$ °C
Pt13Rh-Pt	R	Classe 2 - 40 à/to + 1600 °C : $\pm 0,0025 \times t$	ou/or $\pm 1,5$ °C
		Classe 3	
Pt30Rh-Pt6Rh	B	Classe 1	
		Classe 2 600 à/to 1700 °C : $\pm 0,0025 \times t$	ou/or $\pm 1,5$ °C
		Classe 3 600 à/to 1700 °C : $\pm 0,005 \times t$	ou/or $\pm 4,0$ °C

Annexe 2 Caractérisation du générateur de température

La caractérisation du générateur est une opération indépendante de l'étalonnage et fait l'objet d'une procédure propre. La périodicité peut en être différente, par exemple une fois par an, tous les deux ans, ou après une opération de maintenance importante.

1. Vérification de l'homogénéité du générateur

Cette opération consiste à mesurer les réponses des deux capteurs de nature identique placés dans deux logements d'un bloc d'égalisation d'un four ou dans deux puits thermiques d'un bain.

Les réponses relevées permettent de calculer l'incertitude sur l'écart de température entre les deux logements.

La caractérisation du générateur sera effectuée pour chaque température d'étalonnage (figure 1).

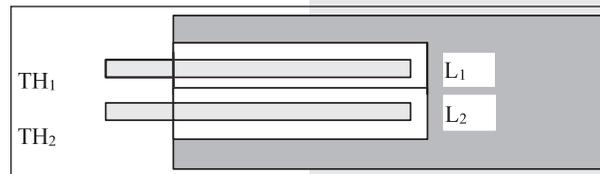


Figure 1.

L_1 et L_2 sont les deux logements utilisés dans lesquels on insère les capteurs. On relève les réponses corrigées des capteurs de la manière suivante :

- r_1 la réponse de TH_1 dans L_1
 - r_2 la réponse de TH_2 dans L_2
 - r_3 la réponse de TH_2 dans L_1
 - r_4 la réponse de TH_1 dans L_2
- et on calcule $\epsilon = [(r_2 - r_1) + (r_4 - r_3)]/2$

Tableau 1. Exemple de relevé de mesures.

T (°C)	r_1 (°C)	r_2 (°C)	r_3 (°C)	r_4 (°C)	ϵ (°C)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
40	40,01	40,01	40,01	40,02	0,005
45	45,00	45,00	45,00	45,00	0,000
50	50,00	50,00	50,00	50,00	0,000
55	55,00	55,00	55,00	55,00	0,000
60	60,00	60,00	60,00	60,00	0,000

2. Vérification de la stabilité du générateur

On relève « en continu » la température du générateur pour chaque logement du bloc ou du puits et pour chaque point d'étalonnage pendant 1 h. On calcule l'écart entre les deux valeurs extrêmes (ΔT).

Tableau 2. Relevé de mesures pour un logement.

T (°C)	Temps (min)				ΔT (°C)
	0	20	40	60	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	40,01	40,01	40,01	40,02	0,01
45	45,00	45,00	45,00	45,00	0,00
50	50,00	50,00	50,01	49,99	0,02
55	55,00	55,00	55,00	55,00	0,00
60	60,00	60,00	60,00	60,00	0,00

Il est conseillé de faire un relevé de mesure toutes les minutes.

Appendix 2 Temperature generator characterisation

The generator characterisation is independent of the thermometer calibration and requires a specific procedure. The frequency may be different, for instance once or twice a year, every two years, or after an important maintenance operation.

1. Generator homogeneity control

This operation consists in measuring the responses of two sensors of same nature placed into two different locations of an equalizing block in a furnace or in two thermal wells in a bath.

The measured responses allow calculating the temperature deviation uncertainty between the two locations.

The generator characterisation must be performed at each calibration temperature (Figure 1).

L_1 and L_2 are the two locations into which the sensors are inserted. We record the sensors corrected responses as follows:

- r_1 the response of TH_1 in L_1
 - r_2 the response of TH_2 in L_2
 - r_3 the response of TH_2 in L_1
 - r_4 the response of TH_1 in L_2
- and we calculate $\epsilon = [(r_2 - r_1) + (r_4 - r_3)]/2$

Table 1. Example of measurement table.

T (°C)	r_1 (°C)	r_2 (°C)	r_3 (°C)	r_4 (°C)	ϵ (°C)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
40	40.01	40.01	40.01	40.02	0.005
45	45.00	45.00	45.00	45.00	0.000
50	50.00	50.00	50.00	50.00	0.000
55	55.00	55.00	55.00	55.00	0.000
60	60.00	60.00	60.00	60.00	0.000

2. Control of the generator stability

We make a "continuous" record of the generator temperature for each block or well location and for each calibration point during 1 h. We calculate the deviation between the two extreme values (ΔT).

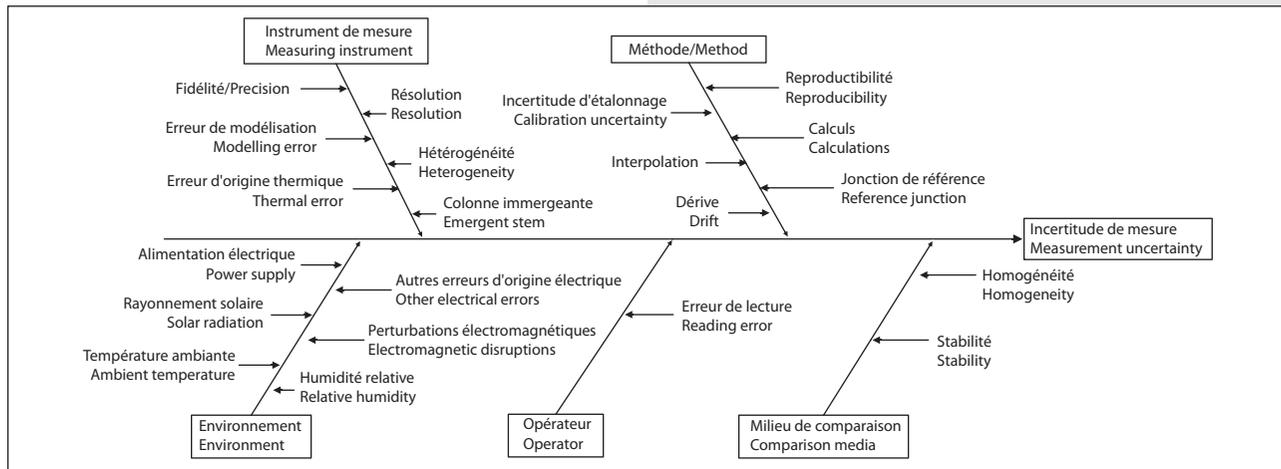
Table 2. Measurement record for one location.

T (°C)	Time (min)				ΔT (°C)
	0	20	40	60	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	40.01	40.01	40.01	40.02	0.01
45	45.00	45.00	45.00	45.00	0.00
50	50.00	50.00	50.01	49.99	0.02
55	55.00	55.00	55.00	55.00	0.00
60	60.00	60.00	60.00	60.00	0.00

It is recommended to record values every minute.

Annexe 3 Composantes d'incertitude : démarche générale

Appendix 3 Uncertainty components: general procedure



Source	Composantes d'incertitude Uncertainty components	Thermomètre à résistance Resistance thermometer	Thermo-couple	Thermomètre à dilatation Liquid-in-glass thermometer	Chaîne de mesure (capteur + indicateur) Measurement chain (sensor + indicator)
Méthode Method	Incertitude d'étalonnage Calibration uncertainty	x	x	x	x
	Interpolation	x	x		x
	Calculs/Calculations	x	x	x	x
	Reproductibilité/Reproducibility	x	x	x	x
	Jonction de référence Reference junction		x		x
	Dérive/Drift	x	x	x	x
Instrument de mesure Measuring instrument	Fidélité/Precision	x	x	x	x
	Résolution/Readability	x	x	x	x
	Hétérogénéité/Heterogeneity		x		x
	Erreur d'origine thermique Thermal error	x	x	x	x
	Colonne immergeante Emergent stem			x	
Opérateur/Operator	Erreur de lecture/Reading error	x	x	x	x
	Milieu de comparaison Comparison media				
Environnement Environment	Stabilité/Stability	x	x	x	x
	Homogénéité/Homogeneity	x	x	x	x
	Alimentation électrique Power supply				x
	Autres erreurs d'origine électrique Other electrical errors	x	x		
	Perturbations électromagnétiques Electromagnetic disruptions	x			x
	Rayonnement solaire/Solar radiation			x	
Température ambiante Ambient temperature				x	
Humidité relative/Relative humidity				x	

x : composante à prendre en compte/component to be taken into account. Case vide/empty cell: non applicable/not applicable.

Composantes d'incertitude selon les familles d'instruments de mesure de température : démarche approchée

Uncertainty components according to temperature measurement instruments types: simplified procedure

Source	Composantes d'incertitude Uncertainty components	Thermomètre à résistance Resistance thermometer	Thermo-couple	Thermomètre à dilatation Liquid-in-glass thermometer	Chaîne de mesure (capteur + indicateur) Measurement chain (sensor + indicator)
Méthode Method	Incertitude d'étalonnage Calibration uncertainty	x	x	x	x
	Interpolation	Négligeable Negligible	Négligeable Negligible		Négligeable Negligible
	Calculs/Calculations	Négligeable Negligible	Négligeable Negligible	Négligeable Negligible	Négligeable Negligible
	Reproductibilité/Reproducibility	Négligeable Negligible	Négligeable Negligible	Négligeable Negligible	Négligeable Negligible
	Jonction de référence Reference junction		Négligeable Negligible		Négligeable Negligible
	Dérive/Drift	x	x	x	x
Instrument de mesure Measuring instrument	Fidélité/Precision	x	x	x	x
	Résolution/Readability	x	x	x	x
	Hétérogénéité/Heterogeneity		x		x
	Erreur d'origine thermique Thermal error	Négligeable* Negligible*	Négligeable* Negligible*		Négligeable* Negligible*
	Colonne immergée Emergent stem			Négligeable Negligible	
Opérateur/Operator	Erreur de lecture/Reading error	x	x	x	x
Milieu de comparaison Comparison media	Stabilité/Stability	x	x	x	x
	Homogénéité/Homogeneity	x	x	x	x
Environnement Environment	Alimentation électrique Power supply				Négligeable Negligible
	Autres erreurs d'origine électrique Other electrical errors	Négligeable Negligible	Négligeable Negligible		
	Perturbations électromagnétiques Electromagnetic disruptions	Négligeable Negligible			Négligeable Negligible
	Rayonnement solaire/Solar radiation			Négligeable Negligible	
	Température ambiante Ambient temperature				Négligeable Negligible
	Humidité relative/Relative humidity				Négligeable Negligible

x : composante à prendre en compte/component to be taken into account. *Si le milieu de comparaison est homogène en température (exemple : bain liquide)/*If the comparison media is thermally homogeneous (e.g.: liquid bath). Case vide/empty cell: non applicable/not applicable.

La démarche approchée consiste à prendre en compte les incertitudes types prépondérantes pour un niveau d'exactitude donné, à négliger les incertitudes qui ne contribuent pas significativement au résultat et à ajouter au résultat une incertitude forfaitaire pour tenir compte des termes négligés en augmentant d'au minimum 20% la valeur de l'incertitude composée.

The simplified procedure consists in taking into account the main uncertainties for a given exactness level, neglecting uncertainties that don't significantly contribute to the result and adding a basic uncertainty to the result to take into account the neglected components, increasing the combined uncertainty value by at least 20%.

Annexe 4a
Feuille de mesures et de calculs :
thermomètres à dilatation

Les moyens d'étalonnage									
Thermomètre de référence n° 123456				Erreur maximale tolérée = ± 0,5 °C					
Incertitude élargie U_e : 0,02 °C				Nombre de séries de mesures (n) : 3					
Résolution d : 0,01 °C				Interpolation d : 0,02 °C					
Thermomètre à étalonner n° 743									
Étendue de mesure : 60 °C									
Intervalle de graduation : 0,1 °C									
Les mesures									
Points de mesure :		0	60	55	50	45	40	0	°C
Série 1	Température ambiante début :	19,75	°C						
	Étalon référence : A_1	0,00	60,00	55,00	50,00	45,00	40,00	0,00	°C
	a_1 :	0,02	0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,02	°C
	Étalon référence corrigé : T_1	0,02	60,01	55,01	49,99	45,01	39,99	0,02	°C
	Étalon travail : B_1	0,00	60,00	54,96	50,02	45,00	40,00	0,00	°C
	Température ambiante fin :	19,85	°C						
	H_1	5	5	5	5	5	5	5	°C
Correction colonne émergente Cc_1 :	-0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	-0,01	°C	
$X_1 = (B_1 - T_1) + Cc_1$:	-0,03	0,02	-0,03	0,05	0,02	0,02	-0,03	°C	
Série 2	Température ambiante début :	20,02	°C						
	Étalon référence : A_2	0,00	60,00	55,00	50,00	45,00	40,00	0,00	°C
	a_2 :	0,02	0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,02	°C
	Étalon référence corrigé : T_2	0,02	60,01	55,01	49,99	45,01	39,99	0,02	°C
	Étalon travail : B_2	0,00	60,00	54,96	50,02	45,00	40,00	0,00	°C
	Température ambiante fin :	20,34	°C						
	H_2	5	5	5	5	5	5	5	°C
Correction colonne émergente Cc_2 :	-0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	-0,01	°C	
$X_2 = (B_2 - T_2) + Cc_2$:	-0,03	0,02	-0,03	0,05	0,02	0,02	-0,03	°C	
Série 3	Température ambiante début :	20,48	°C						
	Étalon référence : A_3	0,00	60,00	55,00	50,00	45,00	40,00	0,00	°C
	a_3 :	0,02	0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,02	°C
	Étalon référence corrigé : T_3	0,02	60,01	55,01	49,99	45,01	39,99	0,02	°C
	Étalon travail : B_3	0,00	60,00	54,96	50,02	45,00	40,00	0,00	°C
	Température ambiante fin :	20,65	°C						
	H_3	5	5	5	5	5	5	5	°C
Correction colonne émergente Cc_3 :	-0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	-0,01	°C	
$X_3 = (B_3 - T_3) + Cc_3$:	-0,03	0,02	-0,03	0,05	0,02	0,02	-0,03	°C	
Les calculs									
Moyenne des écarts X =	-0,03	0,02	-0,03	0,05	0,02	0,02	-0,03	°C	
Étendue des écarts W_{max} =	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	°C	
Moyenne des températures lues B =	0,00	60,00	54,96	50,02	45,00	40,00	0,00	°C	
Correction de l'étalon de travail =	0,03	-0,02	0,03	-0,05	-0,02	-0,02	0,03	°C	
Moyenne des températures de référence T =	0,02	60,01	55,01	49,99	45,01	39,99	0,02	°C	
Composantes d'incertitude									
Répétition u_t :	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	°C	
Thermomètre de référence u_{ce} :	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	°C	
Pérennité u_{pe} :	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	°C	
Lecture numérique u_{num} :	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	°C	
Lecture analogique u_{ana} :	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	°C	
Homogénéité du générateur u_g :	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	°C	
Stabilité du générateur u_{st} :	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	°C	
Incertitude type combinée u_c :	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	°C	
Incertitude élargie $U (\pm)$:	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	°C	
Vérification									
$U \leq EMT/4$:	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui		
Erreur de justesse E_j :	-0,03	0,02	-0,03	0,05	0,02	0,02	-0,03	°C	
$\Sigma = (U_e + E_j)$:	0,09	0,08	0,09	0,11	0,08	0,08	0,09	°C	
$\Sigma \leq EMT/4$:	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui		

Date de l'étalonnage :

Visa de l'opérateur

Appendix 4a
Measurement and calculation sheet:
liquid-in-glass thermometers

Calibration equipment									
Reference thermometer n°		123456							
Expanded uncertainty U_e :		0.02 °C			Maximal permissible error: ± 0.5 °C				
Scale interval d :		0.01 °C			Series measurements number (n): 3				
Calibrated thermometer n°		743			Interpolation d : 0.02 °C				
Measurement range:		60 °C							
Scale interval:		0.1 °C							
Measurements									
Measuring points:		0	60	55	50	45	40	0	°C
Series 1	Start ambient temperature:	19.75	°C						
	Reference standard: A_1	0.00	60.00	55.00	50.00	45.00	40.00	0.00	°C
	a_1 :	0.02	0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02	°C
	Corrected reference standard: T_1	0.02	60.01	55.01	49.99	45.01	39.99	0.02	°C
	Working standard: B_1	0.00	60.00	54.96	50.02	45.00	40.00	0.00	°C
	End ambient temperature:	19.85	°C						
	H_1	5	5	5	5	5	5	5	°C
Emergent stem correction Cc_1 :	-0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	-0.01	°C	
$X_1 = (B_1 - T_1) + Cc_1$:	-0.03	0.02	-0.03	0.05	0.02	0.02	-0.03	°C	
Series 2	Start ambient temperature:	20.02	°C						
	Reference standard: A_2	0.00	60.00	55.00	50.00	45.00	40.00	0.00	°C
	a_2 :	0.02	0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02	°C
	Corrected reference standard: T_2	0.02	60.01	55.01	49.99	45.01	39.99	0.02	°C
	Working standard: B_2	0.00	60.00	54.96	50.02	45.00	40.00	0.00	°C
	End ambient temperature:	20.34	°C						
	H_2	5	5	5	5	5	5	5	°C
Emergent stem correction Cc_2 :	-0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	-0.01	°C	
$X_2 = (B_2 - T_2) + Cc_2$:	-0.03	0.02	-0.03	0.05	0.02	0.02	-0.03	°C	
Series 3	Start ambient temperature:	20.48	°C						
	Reference standard: A_3	0.00	60.00	55.00	50.00	45.00	40.00	0.00	°C
	a_3 :	0.02	0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02	°C
	Corrected reference standard: T_3	0.02	60.01	55.01	49.99	45.01	39.99	0.02	°C
	Working standard: B_3	0.00	60.00	54.96	50.02	45.00	40.00	0.00	°C
	End ambient temperature:	20.65	°C						
	H_3	5	5	5	5	5	5	5	°C
Emergent stem correction Cc_3 :	-0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	-0.01	°C	
$X_3 = (B_3 - T_3) + Cc_3$:	-0.03	0.02	-0.03	0.05	0.02	0.02	-0.03	°C	
Calculations									
Mean of the deviations X =	-0.03	0.02	-0.03	0.05	0.02	0.02	-0.03	°C	
Range of the deviations W_{max} =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	°C	
Working standard mean \bar{B} =	0.00	60.00	54.96	50.02	45.00	40.00	0.00	°C	
Working standard correction =	0.03	-0.02	0.03	-0.05	-0.02	-0.02	0.03	°C	
Reference temperatures mean \bar{T} =	0.02	60.01	55.01	49.99	45.01	39.99	0.02	°C	
Uncertainty components									
Repeatability u_r :	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	°C	
Reference thermometer u_{ce} :	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	°C	
Drift u_{pe} :	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	°C	
Digital reading u_{num} :	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	°C	
Analogical reading u_{ana} :	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	°C	
Generator homogeneity u_e :	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	°C	
Generator stability u_s :	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	°C	
Combined uncertainty u_c :	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	°C	
Expanded uncertainty $U (\pm)$:	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	°C	
Validation									
$U \leq MPE/4$:	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes		
Bias E_j :	-0.03	0.02	-0.03	0.05	0.02	0.02	-0.03	°C	
$\Sigma = (U_e + E_j)$:	0.09	0.08	0.09	0.11	0.08	0.08	0.09	°C	
$\Sigma \leq MPE/4$:	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes		

Calibration date:

Operator's signature

Annexe 4b
Feuille de mesures et de calculs :
thermomètres à résistance électrique

Les moyens d'étalonnage									
Thermomètre de référence n° 123456				Profondeur d'insertion : 200 mm					
Incertitude élargie U_e : 0,02 °C				EMT : ± 0,3 °C					
Résolution d : 0,01 °C				Nombre de série de mesures (n) : 3					
Thermomètre à étalonner n° AZ24587									
Étendue de mesure : 100 °C									
Résolution d : 0,01 °C									
Les mesures									
Points de mesure :		0	100	80	60	40	20	0	°C
Série 1	Étalon référence : A_1	0,00	100,00	80,00	60,00	40,00	20,00	0,00	°C
	Correction a_1 :	0,02	0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,02	°C
	Étalon référence corrigé : T_1	0,02	100,01	80,01	59,99	40,01	19,99	0,02	°C
	Étalon travail : B_1	0,00	100,00	79,96	60,02	40,00	20,00	0,00	°C
	$X_1 = (B_1 - T_1)$:	-0,02	-0,01	-0,05	0,03	0,00	0,01	-0,02	°C
Série 2	Étalon référence : A_2	0,00	100,00	80,00	60,00	40,00	20,00	0,00	°C
	Correction a_2 :	0,02	0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,02	°C
	Étalon référence corrigé : T_2	0,02	100,01	80,01	59,99	40,01	19,99	0,02	°C
	Étalon travail : B_2	0,00	100,00	79,96	60,02	40,00	20,00	0,00	°C
	$X_2 = (B_2 - T_2)$:	-0,02	-0,01	-0,05	0,03	0,00	0,01	-0,02	°C
Série 3	Étalon référence : A_3	0,00	100,00	80,00	60,00	40,00	20,00	0,00	°C
	Correction a_3 :	0,02	0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,02	°C
	Étalon référence corrigé : T_3	0,02	100,01	80,01	59,99	40,01	19,99	0,02	°C
	Étalon travail : B_3	0,00	100,00	79,96	60,02	40,00	20,00	0,00	°C
	$X_3 = (B_3 - T_3)$:	-0,02	-0,01	-0,05	0,03	0,00	0,01	-0,02	°C
Les calculs									
Moyenne des écarts X =		-0,02	-0,01	-0,05	0,03	0,00	0,01	-0,02	°C
Étendue des écarts W_{max} =		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	°C
Moyenne des températures lues B =		0,00	100,00	79,96	60,02	40,00	20,00	0,00	°C
Correction de l'étalon de travail =		0,02	0,01	0,05	-0,03	0,00	-0,01	0,02	°C
Moyenne des températures de référence T =		0,02	100,01	80,01	59,99	40,01	19,99	0,02	°C
Composantes d'incertitude									
Répétition u_r :		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	°C
Thermomètre de référence u_{ce} :		0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	°C
Pérennité u_{pe} :		0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	°C
Lecture numérique référence u_{num1} :		0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	°C
Lecture numérique travail u_{num2} :		0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	°C
Homogénéité du générateur u_g :		0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	°C
Stabilité du générateur u_{st} :		0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	°C
Incertitude type combinée u_c :		0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	°C
Incertitude élargie $U (\pm)$:		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	°C
Vérification									
$U \leq EMT/4$:		oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	
Erreur de justesse E_j :		-0,02	-0,01	-0,05	0,03	0,00	0,01	-0,02	°C
$\Sigma = (U_e + E_j)$ =		0,05	0,04	0,08	0,06	0,03	0,04	0,05	°C
$\Sigma \leq EMT/4$:		oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	

Date de l'étalonnage :

Visa de l'opérateur

Appendix 4b
Measurement and calculation sheet:
resistance thermometers

Calibration equipments									
Reference thermometer n°		123456			Insertion depth: 200 mm				
Expanded uncertainty U_e :		0.02 °C			Maximal permissible error: ± 0.3 °C				
Resolution d :		0.01 °C			Number of measurement series (n): 3				
Calibrated thermometer n°		AZ24587							
Measurement range:		100 °C							
Scale interval d :		0.01 °C							
Measurements									
Measuring points:		0	100	80	60	40	20	0	°C
Series 1	Reference standard: A_1	0.00	100.00	80.00	60.00	40.00	20.00	0.00	°C
	Correction a_1 :	0.02	0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02	°C
	Corrected reference standard: T_1	0.02	100.01	80.01	59.99	40.01	19.99	0.02	°C
	Working standard: B_1	0.00	100.00	79.96	60.02	40.00	20.00	0.00	°C
	$X_1 = (B_1 - T_1)$:	-0.02	-0.01	-0.05	0.03	0.00	0.01	-0.02	°C
Series 2	Reference standard: A_2	0.00	100.00	80.00	60.00	40.00	20.00	0.00	°C
	Correction a_2 :	0.02	0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02	°C
	Corrected reference standard: T_2	0.02	100.01	80.01	59.99	40.01	19.99	0.02	°C
	Working standard: B_2	0.00	100.00	79.96	60.02	40.00	20.00	0.00	°C
	$X_2 = (B_2 - T_2)$:	-0.02	-0.01	-0.05	0.03	0.00	0.01	-0.02	°C
Series 3	Reference standard: A_3	0.00	100.00	80.00	60.00	40.00	20.00	0.00	°C
	Correction a_3 :	0.02	0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02	°C
	Corrected reference standard: T_3	0.02	100.01	80.01	59.99	40.01	19.99	0.02	°C
	Working standard: B_3	0.00	100.00	79.96	60.02	40.00	20.00	0.00	°C
	$X_3 = (B_3 - T_3)$:	-0.02	-0.01	-0.05	0.03	0.00	0.01	-0.02	°C
Calculations									
Mean of the deviations X =		-0.02	-0.01	-0.05	0.03	0.00	0.01	-0.02	°C
Range of the deviations W_{max} =		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	°C
Mean of the reading temperatures B =		0.00	100.00	79.96	60.02	40.00	20.00	0.00	°C
Working standard correction =		0.02	0.01	0.05	-0.03	0.00	-0.01	0.02	°C
Mean of the reference temperatures T =		0.02	100.01	80.01	59.99	40.01	19.99	0.02	°C
Uncertainty components									
Repeatability u_r :		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	°C
Reference thermometer u_{ce} :		0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	°C
Drift u_{pe} :		0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	°C
Reference digital reading u_{num1} :		0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	°C
Working digital reading u_{num2} :		0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	°C
Generator homogeneity u_e :		0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	°C
Generator stability u_{st} :		0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	°C
Combined uncertainty u_c :		0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	°C
Expanded uncertainty $U (\pm)$:		0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	°C
Validation									
$U \leq MPE/4$:		yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	
Bias E_j :		-0.02	-0.01	-0.05	0.03	0.00	0.01	-0.02	°C
$\Sigma = (U_e + E_j)$:		0.05	0.04	0.08	0.06	0.03	0.04	0.05	°C
$\Sigma \leq MPE/4$:		yes	yes	no	yes	yes	yes	yes	

Calibration date:

Operator's signature

Annexe 4c
Feuille de mesures et de calculs : thermocouples

Les moyens d'étalonnage									
Thermomètre de référence n°	123456								
Incertitude élargie U_e :	voir données ci-dessous								
Résolution d :	0,01 °C							EMT : ± 4 °C	
Thermocouple à étalonner n°	743							Type de couple : K	
Étendue de mesure :	200 °C							Profondeur d'insertion : 200 mm	
Résolution d du mesureur :	0,1 °C							Nombre de séries de mesure n : 4	
Incertitude BSF U_{bsf} :	0,3 °C							Incertitude du mesureur U_m : 1 µV	
Les données									
Points de mesure :	0	200	170	120	80	40	0	°C	
Incertitude élargie de l'étalon U_e	0,01	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,01	°C	
Stabilité du générateur	0,50	0,90	0,8	0,65	0,60	0,55	0,50	°C	
Coefficient de sensibilité	0,026	0,025	0,024	0,024	0,024	0,025	0,026	°C/µV	
Les mesures									
Points de mesure :	0	200	170	120	80	40	0	°C	
Série 1	Étalon référence : A_1	0,01	199,90	169,80	119,85	79,90	39,95	0,01	°C
	Correction : a_1	0,01	-0,54	-0,64	-0,59	-0,32	-0,16	0,01	°C
	Étalon référence corrigé : T_1	0,02	199,36	169,16	119,26	79,58	39,79	0,02	°C
	f.é.m. référence correspondante : f_1	1,000	8 114	6 908	4 890	3 250	1 604	1,000	µV
	Étalon travail f.é.m. lue : e_1	1,001	8 141	6 931	4 896	3 254	1 606	1,001	µV
Écart $X_1 : (e_1 - f_1)$	0,001	27	23,000	6,113	4,063	2,005	0,001	µV	
Série 2	Étalon référence : A_2	0,01	200,02	169,90	119,92	79,95	39,97	0,01	°C
	Correction : a_2	0,01	-0,54	-0,64	-0,59	-0,32	-0,16	0,01	°C
	Étalon référence corrigé : T_2	0,02	199,48	169,26	119,33	79,63	39,81	0,02	°C
	f.é.m. référence correspondante : f_2	1,000	8 118	6 912	4 893	3 252	1 605	1,000	µV
	Étalon travail f.é.m. lue : e_2	1,002	8 133	6 937	4 902	3 258	1 608	1,002	µV
Écart $X_2 : (e_2 - f_2)$	0,002	15	25	9	6	3	0,002	µV	
Série 3	Étalon référence : A_3	0,01	200,26	170,10	120,07	80,04	40,02	0,01	°C
	Correction : a_3	0,01	-0,54	-0,64	-0,59	-0,32	-0,16	0,01	°C
	Étalon référence corrigé : T_3	0,02	199,72	169,46	119,47	79,72	39,86	0,02	°C
	f.é.m. référence correspondante : f_3	1,000	8 128	6 920	4 899	3 256	1 607	1,000	µV
	Étalon travail f.é.m. lue : e_3	1,002	8 145	6 950	4 910	3 263	1 610	1,002	µV
Écart $X_3 : (e_3 - f_3)$	0,002	35	30	11	7	3	0,002	µV	
Série 4	Étalon référence : A_4	0,01	200,02	169,90	119,92	79,95	39,97	0,01	°C
	Correction : a_4	0,01	-0,54	-0,64	-0,59	-0,32	-0,16	0,01	°C
	Étalon référence corrigé : T_4	0,02	199,48	169,26	119,33	79,63	39,81	0,02	°C
	f.é.m. référence correspondante : f_4	1,000	8 118	6 912	4 893	3 252	1 605	1,000	µV
	Étalon travail f.é.m. lue : e_4	1,004	8 153	6 942	4 904	3 259	1 608	1,002	µV
Écart $X_4 : (e_4 - f_4)$	0,004	35	30	11	7	3	0,002	µV	
Les calculs									
Moyenne des écarts : X	0,002	23,477	27	9	6	3	0	µV	
Étendue des écarts : W_{max}	0,003	19,907	7	4	3	1	0	µV	
Moyenne des f.é.m. lues : e	1	8 143	6 940	4 903	3 258	1 608	1	µV	
Correction de l'étalon de travail	0	-23	-27	-9	-6	-3	0	µV	
Moyenne des températures de référence $T =$	0,02	199,51	169,29	119,35	79,64	39,82	0,02	°C	
Composantes d'incertitude									
Répétition u_t :	0,002	9,664	3,399	2,146	1,427	0,704	0,001	µV	
Étalon de référence u_{ce} :	0,000	0,242	0,083	0,052	0,035	0,017	0,000	°C	
Pérennité u_{pe} :	0,005	0,030	0,030	0,030	0,025	0,025	0,005	°C	
Pas de quantification de l'étalon de réf. u_{num} :	0,003	0,030	0,030	0,030	0,025	0,025	0,005	°C	
Pas de quantification du mesureur :	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	µV	
Étalonnage du mesureur u_m :	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	°C	
Pérennité du mesureur u_{pm} :	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	µV	
	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013	°C	
Boîte de soudure froide u_{bsf} :	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	°C	
Homogénéité du générateur u_{st} :	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	°C	
Stabilité du générateur u_{st} :	0,144	0,260	0,231	0,188	0,173	0,159	0,144	°C	
Incertitude type combinée u_c :	0,34	0,47	0,40	0,37	0,36	0,35	0,34	°C	
Incertitude élargie $U (\pm)$:	0,68	0,94	0,80	0,74	0,72	0,70	0,68	°C	
Vérification									
$U \leq EMT/4$:	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui		
Erreur de justesse E_j :	0,00	0,59	0,66	0,22	0,15	0,07	0,00	°C	
$\Sigma = (U_e + E_j) =$	0,68	1,53	1,46	0,96	0,87	0,77	0,68	°C	
$\Sigma \leq EMT/4$:	oui	non	non	oui	oui	oui	oui		

Date de l'étalonnage :

Visa de l'opérateur

Appendix 4c Measurement and calculation sheet: thermocouples

Les moyens d'étalonnage									
Reference Thermometer n°	123456								
Expanded uncertainty U_e :	see data below								
Scale interval d :	0.01 °C								
Calibrated thermocouple n°	743								
Range of measurement:	200 °C								
Measurer resolution d :	0.1 °C								
WJB Uncertainty U_{bsf} :	0.3 °C								
		MPE: ± 4 °C							
		Couple type: K							
		Insertion depth: 200 mm							
		Number of measurement series: 4							
		Measurer uncertainty U_m : 1 µV							
Data									
Measurement points:	0	200	170	120	80	40	0	°C	
Standard expanded uncertainty U_e	0.01	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.01	°C	
Generator stability	0.50	0.90	0.8	0.65	0.60	0.55	0.50	°C	
Sensitivity coefficient	0.026	0.025	0.024	0.024	0.024	0.025	0.026	°C/µV	
Measurements									
Measurement points:	0	200	170	120	80	40	0	°C	
Series 1	Reference standard: A_1	0.01	199.90	169.80	119.85	79.90	39.95	0.01	°C
	Correction: a_1	0.01	-0.54	-0.64	-0.59	-0.32	-0.16	0.01	°C
	Corrected reference standard: T_1	0.02	199.36	169.16	119.26	79.58	39.79	0.02	°C
	Corresponding reference emf: f_1	1.000	8 114	6 908	4 890	3 250	1 604	1.000	µV
	Working standard emf: e_1	1.001	8 141	6 931	4 896	3 254	1 606	1.001	µV
	Deviation X_1 : ($e_1 - f_1$):	0.001	27	23.000	6.113	4.063	2.005	0.001	µV
Series 2	Reference standard: A_2	0.01	200.02	169.90	119.92	79.95	39.97	0.01	°C
	Correction: a_2	0.01	-0.54	-0.64	-0.59	-0.32	-0.16	0.01	°C
	Corrected reference standard: T_2	0.02	199.48	169.26	119.33	79.63	39.81	0.02	°C
	Corresponding reference emf: f_2	1.000	8 118	6 912	4 893	3 252	1 605	1.000	µV
	Working standard emf: e_2	1.002	8 133	6 937	4 902	3 258	1 608	1.002	µV
	Deviation X_2 : ($e_2 - f_2$):	0.002	15	25	9	6	3	0.002	µV
Series 3	Reference standard: A_3	0.01	200.26	170.10	120.07	80.04	40.02	0.01	°C
	Correction: a_3	0.01	-0.54	-0.64	-0.59	-0.32	-0.16	0.01	°C
	Corrected reference standard: T_3	0.02	199.72	169.46	119.47	79.72	39.86	0.02	°C
	Corresponding reference emf: f_3	1.000	8 128	6 920	4 899	3 256	1 607	1.000	µV
	Working standard emf: e_3	1.002	8 145	6 950	4 910	3 263	1 610	1.002	µV
	Deviation X_3 : ($e_3 - f_3$):	0.002	35	30	11	7	3	0.002	µV
Series 4	Reference standard: A_4	0.01	200.02	169.90	119.92	79.95	39.97	0.01	°C
	Correction: a_4	0.01	-0.54	-0.64	-0.59	-0.32	-0.16	0.01	°C
	Corrected reference standard: T_4	0.02	199.48	169.26	119.33	79.63	39.81	0.02	°C
	Corresponding reference emf: f_4	1.000	8 118	6 912	4 893	3 252	1 605	1.000	µV
	Working standard emf: e_4	1.004	8 153	6 942	4 904	3 259	1 608	1.002	µV
	Deviation X_4 : ($e_4 - f_4$):	0.004	35	30	11	7	3	0.002	µV
Calculations									
Mean of the deviations: X	0.002	23.477	27	9	6	3	0	µV	
Range of the deviations: W	0.003	19.907	7	4	3	1	0	µV	
Mean of the reading emf: \bar{e}	1	8 143	6 940	4 903	3 258	1 608	1	µV	
Correction of the working standard	0	-23	-27	-9	-6	-3	0	µV	
Mean of the reference temperatures $T =$	0.02	199.51	169.29	119.35	79.64	39.82	0.02	°C	
Uncertainty components									
Repeatability u_i :	0.002	9.664	3.399	2.146	1.427	0.704	0.001	µV	
	0.000	0.242	0.083	0.052	0.035	0.017	0.000	°C	
Reference standard u_{ce} :	0.005	0.030	0.030	0.030	0.025	0.025	0.005	°C	
Drift u_{pe} :	0.005	0.030	0.030	0.030	0.025	0.025	0.005	°C	
Resolution of the reference standard u_{num} :	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	°C	
Resolution of the measurer:	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029	µV	
	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	°C	
Calibration of the measurer u_m :	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	µV	
	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.013	°C	
Drift of the measurer u_{pm} :	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	µV	
	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.013	°C	
Cold welding box u_{bsf} :	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	°C	
Generator homogeneity u_g :	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	°C	
Generator stability u_{st} :	0.144	0.260	0.231	0.188	0.173	0.159	0.144	°C	
Combined uncertainty u_c :	0.34	0.47	0.40	0.37	0.36	0.35	0.34	°C	
Expanded uncertainty $U (\pm)$:	0.68	0.94	0.80	0.74	0.72	0.70	0.68	°C	
Validation									
$U \leq MPE/4$:	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes		
Bias E_i :	0.00	0.59	0.66	0.22	0.15	0.07	0.00	°C	
$\Sigma = (U_e + E_i) =$	0.68	1.53	1.46	0.96	0.87	0.77	0.68	°C	
$\Sigma \leq MPE/4$:	yes	no	no	yes	yes	yes	yes		

Calibration date:

Operator's signature

Annexe 5a
Page 1 des certificats d'étalonnage

<p>(Nom et adresse de la société) (logo de la société)</p> <p>CERTIFICAT D'ÉTALONNAGE N°AA-MM-XXX</p> <p>DÉLIVRÉ À : (nom du service)</p> <p>INSTRUMENT ÉTALONNÉ</p> <p>Désignation : thermomètre à dilatation de mercure</p> <p>Constructeur : ASPIN</p> <p>Type : -10 à 80 °C N° de série : 743</p> <p>Ce certificat comprend 2 pages Date d'étalonnage :</p> <p>LE RESPONSABLE DU LABORATOIRE</p> <p>Nom du signataire</p> <p>LA REPRODUCTION DE CE CERTIFICAT N'EST AUTORIZÉE QUE SOUS LA FORME DE FAC-SIMILÉ PHOTOGRAPHIQUE INTÉGRAL</p>	<p>(Nom et adresse de la société) (logo de la société)</p> <p>CERTIFICAT D'ÉTALONNAGE N°AA-MM-XXX</p> <p>DÉLIVRÉ À : (nom du service)</p> <p>INSTRUMENT ÉTALONNÉ</p> <p>Désignation : thermomètre à résistance de platine</p> <p>Constructeur : ASPIN</p> <p>Type : 0 to 100 °C N° de série : A2154</p> <p>Ce certificat comprend 2 pages Date d'étalonnage :</p> <p>LE RESPONSABLE DU LABORATOIRE</p> <p>Nom du signataire</p> <p>LA REPRODUCTION DE CE CERTIFICAT N'EST AUTORISÉE QUE SOUS LA FORME DE FAC-SIMILÉ PHOTOGRAPHIQUE INTÉGRAL</p>
<p>(Nom et adresse de la société) (logo de la société)</p> <p>CERTIFICAT D'ÉTALONNAGE N°AA-MM-XXX</p> <p>DÉLIVRÉ À : (nom du service)</p> <p>INSTRUMENT ÉTALONNÉ</p> <p>Désignation : Thermocouple</p> <p>Constructeur : ASPIN</p> <p>Type : 0 to 200 °C N° de série : FR1589753</p> <p>Ce certificat comprend 2 pages Date d'étalonnage :</p> <p>LE RESPONSABLE DU LABORATOIRE</p> <p>Nom du signataire</p> <p>LA REPRODUCTION DE CE CERTIFICAT N'EST AUTORISÉE QUE SOUS LA FORME DE FAC-SIMILÉ PHOTOGRAPHIQUE INTÉGRAL</p>	

Appendix 5a
Calibration certificate, page 1

<p>(Name and address of the company) (Company logo)</p> <p style="text-align: center;">CALIBRATION CERTIFICATE N° AA-MM-XXX</p> <p>ISSUED TO: (name of the division)</p> <p>CALIBRATED INSTRUMENT</p> <p>Designation: Mercury-in-glass thermometer</p> <p>Manufacturer: ASPIN</p> <p>Type: -10 to 80 °C Serial number: 743</p> <p>This certificate includes 2 pages Date of calibration:</p> <p>THE LABORATORY RESPONSIBLE</p> <p>Name of the signatory</p> <p style="text-align: center;">THE REPRODUCTION OF THIS CERTIFICATE IS ONLY AUTHORIZED AS A COMPLETE PHOTOGRAPHIC FAC -SIMILE</p>	<p>(Name and address of the company) (Company logo)</p> <p style="text-align: center;">CALIBRATION CERTIFICATE N° AA-MM-XXX</p> <p>ISSUED TO: (name of the division)</p> <p>CALIBRATED INSTRUMENT</p> <p>Designation: Resistance thermometer</p> <p>Manufacturer: ASPIN</p> <p>Type: 0 to 100 °C Serial number: A2154</p> <p>This certificate includes 2 pages Date of calibration:</p> <p>THE LABORATORY RESPONSIBLE</p> <p>Name of the signatory</p> <p style="text-align: center;">THE REPRODUCTION OF THIS CERTIFICATE IS ONLY AUTHORIZED AS A COMPLETE PHOTOGRAPHIC FAC -SIMILE</p>
<p>(Name and address of the company) (Company logo)</p> <p style="text-align: center;">CALIBRATION CERTIFICATE N° AA-MM-XXX</p> <p>ISSUED TO: (name of the division)</p> <p>CALIBRATED INSTRUMENT</p> <p>Designation: Thermocouple</p> <p>Manufacturer: ASPIN</p> <p>Type: 0 to 200 °C Serial number: FR1589753</p> <p>This certificate includes 2 pages Date of calibration:</p> <p>THE LABORATORY RESPONSIBLE</p> <p>Name of the signatory</p> <p style="text-align: center;">THE REPRODUCTION OF THIS CERTIFICATE IS ONLY AUTHORIZED AS A COMPLETE PHOTOGRAPHIC FAC -SIMILE</p>	<p>(Name and address of the company) (Company logo)</p> <p style="text-align: center;">CALIBRATION CERTIFICATE N° AA-MM-XXX</p> <p>ISSUED TO: (name of the division)</p> <p>CALIBRATED INSTRUMENT</p> <p>Designation: Thermocouple</p> <p>Manufacturer: ASPIN</p> <p>Type: 0 to 200 °C Serial number: FR1589753</p> <p>This certificate includes 2 pages Date of calibration:</p> <p>THE LABORATORY RESPONSIBLE</p> <p>Name of the signatory</p> <p style="text-align: center;">THE REPRODUCTION OF THIS CERTIFICATE IS ONLY AUTHORIZED AS A COMPLETE PHOTOGRAPHIC FAC -SIMILE</p>

Annexe 5b Page 2 du certificat d'étalonnage (thermomètre à dilatation)

Nom de la société - Laboratoire d'étalonnage
Certificat d'étalonnage n° AA-MM-XXX

Étalonnage de thermomètre

Description

Gamme de température d'étalonnage : -10 °C à 80 °C
Conditionnement : coffret de transport
Le thermomètre porte un numéro pour permettre l'identification et la traçabilité.

Mode opératoire

Le thermomètre est étalonné par comparaison à un thermomètre à résistance de platine, étalon de référence du laboratoire d'étalonnage, sur trois séries de comparaisons, au moyen d'un générateur de température.

Résultats

Les résultats de mesure ont été corrigés, si nécessaire (par exemple : colonne émergente).

Les incertitudes mentionnées sont celles correspondant à deux incertitudes types. Les incertitudes types ont été calculées en tenant compte des différentes sources d'incertitudes, étalons de référence, homogénéité et stabilité du générateur de température, conditions d'environnement, contribution de l'instrument étalonné, répétabilité, etc.

La méthode employée pour effectuer l'étalonnage et la référence aux étalons utilisés sont décrites dans les documents de prescription de notre société. Ces documents sont consultables auprès du laboratoire d'étalonnage.

Ce certificat d'étalonnage garantit la traçabilité des résultats d'étalonnage aux étalons nationaux.

Tableau des résultats

Points de mesure (°C)	Valeurs moyennes (°C)		Correction (°C)	Incertitude (°C)
	Thermomètre de référence	Thermomètre étalonné		
0	0,02	- 0,01	+ 0,03	± 0,06
60	60,01	60,03	- 0,02	± 0,06
55	55,01	54,98	+ 0,03	± 0,06
50	49,99	50,04	- 0,05	± 0,06
45	45,01	45,02	- 0,02	± 0,06
40	39,99	40,01	- 0,02	± 0,06
0	0,02	- 0,01	+ 0,03	± 0,06

Nom de l'opérateur :

Date de l'étalonnage : du ... au ...

Annexe 5c Page 2 du certificat d'étalonnage (thermomètre à résistance)

Nom de la société - Laboratoire d'étalonnage
Certificat d'étalonnage n° AA-MM-XXX

Étalonnage de thermomètre

Description

Gamme de température d'étalonnage : 0 °C-100 °C
Conditionnement : coffret de transport
Le thermomètre porte un numéro pour permettre l'identification et la traçabilité.

Appendix 5b Calibration certificate, page 2 (liquid-in-glass thermometer)

Name of the company - Calibration laboratory
Calibration certificate n° AA-MM-XXX

Calibration of thermometer

Description

Range of temperature for the calibration: -10 °C to 80 °C
Packaging: Transport box
The thermometer bears a number to allow its identification and its traceability.

Operating mode

The thermometer is calibrated by comparison to a platinum resistance thermometer, standard reference of the calibration laboratory, with three series of comparisons, by means of a temperature generator.

Results

The results of measurement have been corrected, if necessary (for instance: emergent stem).

The specified uncertainties are those corresponding to two standard uncertainties. The standard uncertainties were calculated by taking into account the various sources of uncertainty, the reference standard, homogeneity and stability of the temperature generator, ambient conditions, contribution of the calibrated instrument, repeatability, etc.

The calibration method and the reference to the used standards are described in the documents of prescription of our company. These documents are available at the calibration laboratory.

This calibration certificate provides the calibration results traceability to the national standards.

Results table

Measurement points (°C)	Mean values (°C)		Correction (°C)	Uncertainty (°C)
	Reference thermometer	Working thermometer		
0	0.02	- 0.01	+ 0.03	± 0.06
60	60.01	60.03	- 0.02	± 0.06
55	55.01	54.98	+ 0.03	± 0.06
50	49.99	50.04	- 0.05	± 0.06
45	45.01	45.02	- 0.02	± 0.06
40	39.99	40.01	- 0.02	± 0.06
0	0.02	- 0.01	+ 0.03	± 0.06

Operator name:

Calibration date: from ... to ...

Appendix 5c Calibration certificate, page 2 (resistance thermometer)

Name of the company - Calibration laboratory
Calibration certificate n° AA-MM-XXX

Calibration of thermometer

Description

Range of temperature for the calibration: -10 °C to 80 °C
Packaging: Transport box
The thermometer bears a number to allow its identification and its traceability.

Mode opératoire

Le thermomètre est étalonné par comparaison à un thermomètre à résistance de platine, étalon de référence du laboratoire d'étalonnage, sur trois séries de comparaisons, au moyen d'un générateur de température.

Résultats

Les résultats de mesure ont été corrigés, si nécessaire. Les incertitudes mentionnées sont celles correspondant à deux incertitudes types. Les incertitudes types ont été calculées en tenant compte des différentes sources d'incertitudes, étalons de référence, homogénéité et stabilité du générateur de température, conditions d'environnement, contribution de l'instrument étalonné, répétabilité, etc. La méthode employée pour effectuer l'étalonnage et la référence aux étalons utilisés sont décrites dans les documents de prescription de notre société. Ces documents sont consultables auprès du Laboratoire d'étalonnage. Ce certificat d'étalonnage garantit la traçabilité des résultats d'étalonnage aux étalons nationaux.

Tableau des résultats

Profondeur d'immersion (mm)	Points de mesure (°C)	Valeurs moyennes (°C)		Correction d'incertitude (°C)	Incertitude (°C)
		Thermomètre de référence	Thermomètre étalonné		
200	0	0,02	0,00	+ 0,02	± 0,03
200	100	100,01	100,00	+ 0,01	± 0,03
200	80	80,01	79,96	+ 0,05	± 0,03
200	60	59,99	60,02	- 0,03	± 0,03
200	40	40,01	40,01	- 0,00	± 0,03
200	20	19,99	20,00	- 0,01	± 0,03
200	0	0,02	0,00	+ 0,02	± 0,03

Nom de l'opérateur :

Date de l'étalonnage : du ... au ...

Annexe 5d Page 2 du certificat d'étalonnage (thermocouple)

Nom de la société - Laboratoire d'étalonnage
Certificat d'étalonnage n° AA-MM-XXX

Étalonnage de thermomètre**Description**

Gamme de température d'étalonnage : de 0 à 200 °C
Générateurs de température utilisés : Bains thermostatés
Procédure d'étalonnage n° : XXXX

Mode opératoire

Le thermomètre est étalonné par comparaison à un thermomètre à résistance de platine, étalon de référence du laboratoire d'étalonnage, sur quatre séries de comparaisons, au moyen d'un générateur de température.

Résultats

Les résultats de mesure ont été corrigés, si nécessaire.

Les incertitudes mentionnées sont celles correspondant à deux incertitudes types. Les incertitudes types ont été calculées en tenant compte des différentes sources d'incertitudes, étalons de référence, homogénéité et stabilité du générateur de température, conditions d'environnement, contribution de l'instrument étalonné, répétabilité, etc. La méthode employée pour effectuer l'étalonnage et la référence aux étalons utilisés sont décrites dans les documents

Operating mode

The thermometer is calibrated by comparison to a platinum resistance thermometer, standard reference of the calibration laboratory, with three series of comparisons, by means of a temperature generator.

Results

The measurement results have been corrected, if necessary. The specified uncertainties are those corresponding to two standard uncertainties. The standard uncertainties were calculated by taking into account the various sources of uncertainty, the reference standard, homogeneity and stability of the temperature generator, ambient conditions, contribution of the calibrated instrument, repeatability, etc. The calibration method and the reference to the used standards are described in the documents of prescription of our company. These documents are available at the calibration laboratory. This calibration certificate provides the calibration results traceability to national standards.

Results table

Immersion depth (mm)	Measurement points (°C)	Mean values (°C)		Correction (°C)	Uncertainty (°C)
		Reference thermometer	Working thermometer		
200	0	0.02	0.00	+ 0.02	± 0.03
200	100	100.01	100.00	+ 0.01	± 0.03
200	80	80.01	79.96	+ 0.05	± 0.03
200	60	59.99	60.02	- 0.03	± 0.03
200	40	40.01	40.01	- 0.00	± 0.03
200	20	19.99	20.00	- 0.01	± 0.03
200	0	0.02	0.00	+ 0.02	± 0.03

Operator name:

Calibration date: from ... to ...

Appendix 5d Calibration certificate, page 2 (thermocouple)

Name of the company - Calibration laboratory
Calibration certificate n° AA-MM-XXX

Calibration of thermometer**Description**

Range of temperature for the calibration: from 0 to 200 °C
Temperature generators: baths with thermal regulation
Calibration procedure n° : XXXX

Operating mode

The thermometer is calibrated by comparison to a platinum resistance thermometer, standard reference of the calibration laboratory, with four series of comparisons, by means of a temperature generator.

Results

The results of measurement have been corrected, if necessary. The specified uncertainties are those corresponding to two standard uncertainties. The standard uncertainties were calculated by taking into account the various sources of uncertainty, the reference standard, homogeneity and stability of the temperature generator, ambient conditions, contribution of the calibrated instrument, repeatability, etc. The calibration method and the reference to the used standards are described in the documents of prescription of our

de prescription de notre société. Ces documents sont consultables auprès du Laboratoire d'étalonnage.
Ce certificat d'étalonnage garantit la traçabilité des résultats d'étalonnage aux étalons nationaux.

Tableau des résultats

Immersion des capteurs (mm)	Points de mesure (°C)	Valeurs moyennes			Incertitude sur la détermination de la correction (°C)
		Thermomètre de référence (°C)	Réponse du capteur (µV)	Correction (µV)	
200	0	0,02	1	0	± 0,68
200	200	199,51	8143	-23	± 0,94
200	170	169,29	6940	-27	± 0,80
200	120	119,35	4903	-9	± 0,74
200	80	79,64	3258	-6	± 0,72
200	40	39,82	1608	-3	± 0,70
200	0	0,02	1	0	± 0,68

Nom de l'opérateur :

Date de l'étalonnage : du ... au ...

company. These documents are available at the calibration laboratory.

This calibration certificate provides the calibration results traceability to the national standards.

Results table

Immersion depth (mm)	Measurement points (°C)	Mean values			Uncertainty on the correction determination (°C)
		Reference thermometer (°C)	Sensor response (µV)	Correction (µV)	
200	0	0.02	1	0	± 0.68
200	200	199.51	8143	-23	± 0.94
200	170	169.29	6940	-27	± 0.80
200	120	119.35	4903	-9	± 0.74
200	80	79.64	3258	-6	± 0.72
200	40	39.82	1608	-3	± 0.70
200	0	0.02	1	0	± 0.68

Operator name:

Calibration date: from ... to ...

Bibliographie/Bibliography

Documents normatifs et techniques Standards and technical documents

NF EN ISO 9000. - Systèmes de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire. Quality management systems – Fundamentals and vocabulary. - 2005.

NF ENV 13005. - Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure. Guide to the expression of uncertainty in measurement. - 1999.

NFX 07-001. - Normes fondamentales – Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie. Fundamental standards – International vocabulary of basic and general terms in metrology. - 1994.

ISO/CEI Guide 99. - Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM). International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). - 2007.

NF EN ISO10012. - Systèmes de management de la mesure – Exigences pour les processus et les équipements de mesure. Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measurement equipment. - 2003.

FD X 07-012. - Métrologie – Métrologie dans l'entreprise – Certificat d'étalonnage des moyens de mesure. Metrology. Company metrology – Calibration certificate of the measuring means. - 1995.

FD X 07-021. - Normes fondamentales – Métrologie et applications de la statistique – Aide à la démarche pour l'estimation et l'utilisation de l'incertitude des mesures et des résultats d'essais. Fundamental standards – Metrology and application of the statistics – Help to the process for the estimation and the use of the measurement and test results uncertainty. - 1999.

NF X 07-011. - Métrologie – Essais – Métrologie dans l'entreprise – Constat de vérification des moyens de mesure.

Metrology – Tests – Company metrology – Checking report of means of measurement. - 1994.

FD X07-015. - Métrologie – Raccordement des résultats de mesure au Système International d'unités (SI). Metrology – Traceability of measurement results to the international System of Units (SI). - 2007.

X 07-016. - Métrologie – Essais – Métrologie dans l'entreprise – Modalités pratiques pour l'établissement des procédures d'étalonnage et de vérification des moyens de mesure. Metrology. Tests. Company metrology. Practical methods for establishing the calibration and verification procedures of the measuring means. - 1993.

NF B 35-500. - Verrerie de Laboratoire - Thermomètres de laboratoire à dilatation de liquide dans une gaine de verre – Principes de conception, de construction et d'utilisation. Laboratory glassware. Liquid-in-glass laboratory thermometers. Principles of design, construction and use. - 1983.

FD X 07-028. - Métrologie – Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres – Estimation des incertitudes sur les mesures de température. Metrology – Calibration and verification procedure for thermometers – Estimation of the uncertainties on temperature measurements. - 2002.

FD X 07-029-1. - Métrologie – Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres – Partie 1 : procédure d'étalonnage et de vérification des sondes et thermomètres à résistance. Metrology – Calibration and verification procedure for thermometers – Part 1 : calibration and verification procedure for probes and resistance thermometers. - 2002.

FD X 07-029-2. - Métrologie – Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres – Partie 2 : procédures d'étalonnage et de vérification des couples thermoélectriques seuls et des thermomètres à couple thermoélectrique. Metrology – Thermometer verification and calibration procedures – Part 2 : verification and calibration procedures for thermocouples alone and thermocouple thermometers. - 2005.

FD X 07-029-3. - *Métrieologie – Procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres – Partie 3 : procédure d'étalonnage et de vérification des thermomètres à dilatation de liquide. Metrology - Thermometer calibration and verification procedure - Part 3 : calibration and verification procedure for liquid in glass thermometers.* - 2008.

NFB 35-501. - *Verrerie de Laboratoire – Thermomètres à échelle protégée ajustable. Laboratory glassware. Enclosed-scale adjustable-range thermometers.* - 1983.

NF B 35-502. - *Verrerie de Laboratoire – Thermomètres de précision, sur tige, type long. Laboratory glassware. Long-solid-stem thermometers for precision use.* - 1983.

NF B 35-503. - *Verrerie de Laboratoire – Thermomètres de précision, sur tige, type court. Laboratory glassware. Short solid-stem thermometers for precision use.* - 1983.

NF B 35-504. - *Verrerie de Laboratoire – Thermomètres de précision à échelle protégée, type long. Laboratory glassware. Long enclosed-scale thermometers for precision use.* - 1983.

NF B 35-505. - *Verrerie de Laboratoire – Thermomètres de précision à échelle protégée, type court. Laboratory glassware. Short enclosed-scale thermometers for precision use.* - 1983.

NFB 35-506. - *Verrerie de Laboratoire – Thermomètres sur tige d'usage général. Laboratory glassware. Solid-stem general purpose thermometers.* - 1983.

NF B 35-507. - *Verrerie de Laboratoire – Thermomètres à échelle protégée d'usage général. Laboratory glassware. Enclosed-scale general purpose thermometers.* - 1983.

NF EN 60584-1. - *Couples thermoélectriques – Première partie : tables de référence (C 42-321). Thermocouples. Part 1 : reference tables.* - 1996.

NF EN 60584-2. - *Couples thermoélectriques – Deuxième partie : tolérances (C 42-322). Thermocouples. Part 2 : tolerances.* - 1993.

NF EN 60584-3. - *Couples thermoélectriques – Partie 3 : câbles d'extension et de compensation – Tolérances et système d'identification. Thermocouples - Part 3 : extension and compensating cables – Tolerances and identification system.* - 2008.

EAL G31. - *Calibration of thermocouples.* - 1997.

NF EN 60751. - *Capteur industriel à résistance thermoélectrique de platine.* - 1995.

NF EN 60751. - *Thermomètres à résistance de platine industriels et capteurs thermométriques en platine. Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors.* - 2008.

LAB GTA 08. - *Cofrac, Guide technique d'accréditation en température.* - 2005.

Autres sources Additional sources

<http://jfllemen.iutlan.univ-rennes1.fr/CMMEST/mestheti.htm>

<http://www.loreme.fr/fichierscapteursIntroductionthermometrirev1A.pdf>

<http://aviatechno.free.fr/thermo/thermoo00.php>

Adresses des auteurs/Authors' addresses

■ Denis Louvel, Mettler-Toledo SAS, 18-20, avenue de la Pépinière, 78222 Viroflay Cedex - denis.louvel@mt.com

■ Catherine Barbier (Ethypharm).

■ Marie-Dominique Blanchin (Faculté de pharmacie de Montpellier).

■ Marie-Christine Bonenfant (Laboratoire central de la préfecture de police).

■ Caroline Chmieliewski (Laboratoire central de la préfecture de police).

■ Xavier Dua (Mettler-Toledo SAS).

■ Richard Dybiak (ENSTIMD).

■ Christine Imbernon (Theramex).

■ Claude Lebranchu (Laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris).

■ Luc Louvet (Centre international de toxicologie).

■ Michael Vandenhende (GSK Biologicals Belgique).