

Confirmation métrologique d'enceintes climatiques et thermostatiques

Commission SFSTP, D. Louvel

C. Barbier, B. Baute, M.-D. Blanchin, M.-C. Bonenfant, D. Durand, X. Dua, R. Dybiak,

C. Imbernon, C. Lebranchu, J.-J. Poulain, M. Vandenhende

Experts consultés/*Consulted experts* : R. Platteau, B. Blanquart

Metrological confirmation of climatic and thermostatic chambers

L'utilisation d'enceintes climatiques et thermostatiques nécessite leur caractérisation et leur vérification afin de déterminer l'aptitude de l'ensemble à satisfaire le besoin de l'utilisateur. Cet article est le résultat d'une commission SFSTP et a pour but d'éclairer l'utilisateur sur les moyens à mettre en œuvre pour réaliser la caractérisation et la vérification. Le lecteur pourra s'inspirer du présent document pour rédiger ses procédures internes afin de vérifier ses enceintes climatiques et notamment de caractériser leur stabilité et leur homogénéité. Il pourra aussi s'en inspirer pour procéder à la qualification des performances à l'achat et en routine. Rappel : cette catégorie d'équipement est soumise aux règles d'hygiène et de sécurité (voir directive européenne correspondante), les intervenants veilleront à les respecter.

Mots clefs : Métrologie, Enceinte climatique, Enceinte thermostatée, Stabilité, Homogénéité, Température, Humidité, Incertitude de mesure.

The use of climatic and thermostatic chambers requires their characterization and verification in order to determine their ability to satisfy the user's needs. This paper is the result of a SFSTP working group and is intended to enlighten and help the user implement the means to carry out characterization and verification. The reader can find here a basis to write up internal verification procedures for climatic chambers and in particular, characterize their fluctuation and gradient. One can also find a basis to carry out qualification of commissioning and routine performances. Note: this category of equipment is subject to hygiene and safety regulations (see relevant European directive) which must be observed.

Keywords: Metrology, Climatic chamber, Thermostatic chamber, Fluctuation, Gradient, Temperature, Humidity, Measurement uncertainty.

OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le présent document a pour objet de définir les modalités et les moyens à mettre en œuvre pour vérifier les caractéristiques fonctionnelles d'une enceinte climatique ou thermostatique.

Le domaine d'application est le suivant :

- température : de -100 °C à +600 °C,
- hygrométrie (ce domaine correspond aux possibilités des laboratoires accrédités [exemple : Cetiati] ; le domaine proposé par la norme X15-140 est théorique, aucun laboratoire accrédité ne peut réaliser d'étalonnage avec les valeurs extrêmes présentées) : de 10 % HR à 100 % HR pour une gamme de température de -20 °C à +80 °C,
- volumes inférieurs à 20 m³.

Le terme « enceinte » sera utilisé dans l'ensemble de ce document pour désigner indifféremment une étuve, un réfrigérateur, un congélateur, une enceinte climatique, une enceinte thermostatique.

OBJECT AND SCOPE

This document is intended to specify the method and the means to be implemented for verifying climatic and thermostatic chambers functional characteristics.

The application range is:

- temperature: from -100 °C to +600 °C,
- relative humidity (this application field corresponds to accredited laboratories abilities [example: Cetiati]; the application field proposed in standard X15-140 is theoretical, no accredited laboratory can carry out calibrations for the proposed extreme values): from 10 % RH to 100 % RH for a temperature range from -20 °C to +80 °C,
- volumes smaller than 20 m³.

The term "chamber" will be used in this entire document to designate a furnace, a refrigerator, a freezer, a climatic chamber or a thermostatic chamber as well.

II DÉFINITIONS

Température de rosée ou de givre : température à laquelle un gaz doit être refroidi pour que la vapeur d'eau qu'il contient passe à l'état :

- liquide par condensation (point de rosée),
- solide sous forme de glace (point de givre).

Humidité relative de l'air dans l'enceinte : moyenne arithmétique des mesures d'humidité relative de l'air dans l'espace de travail.

Humidité relative de l'air humide par rapport à l'eau : l'humidité relative de l'air humide par rapport à l'eau H , à la pression p et à la température T , est le rapport, exprimé en pourcentage, entre la pression partielle de vapeur d'eau e' et la pression de vapeur saturante e'_w que l'air aurait s'il était saturé par rapport à l'eau, à la même pression p et à la même température T .

$$H = 100 \times (e'/e'_w)_{p,T}$$

e'_w est une fonction de p et T , e' est une fonction de T .

Espace de travail : partie du volume intérieur de l'enceinte dans laquelle les conditions d'environnement spécifiées sont maintenues dans les erreurs maximales tolérées.

Erreurs maximales tolérées EMT (VIM 2008) : valeur extrême de l'erreur de mesure, par rapport à une valeur de référence connue, qui est tolérée par les spécifications ou règlements pour un mesurage, un instrument de mesure ou un système de mesure donné. **Note** : si $EMT = \pm 1^\circ\text{C}$, alors l'étendue des EMT = valeur absolue de $2EMT$, soit 2°C .

Régime établi (NF X15-140) : état atteint par l'environnement quand les écarts, entre les valeurs en chaque point de l'espace de travail et la valeur de consigne, sont stabilisés pour chacun des paramètres d'environnement.

Régime établi (CEI 60068-3-11) : état d'équilibre atteint en température/humidité dans la chambre d'essais lorsque toutes les valeurs moyennes dans l'espace de travail sont constantes et se situent à l'intérieur d'une tolérance donnée en température/humidité.

Homogénéité (NF X15-140) : différence maximale, obtenue en régime établi, entre les moyennes des mesures, augmentées de leur incertitude élargie, dans l'espace de travail pendant la durée des mesures. Elle est exprimée dans la même unité que le paramètre considéré.

Homogénéité (CEI 60068-3-11) : différence maximale en valeur moyenne dans le temps, après stabilisation et à tout moment, entre deux points distincts situés dans l'espace de travail.

Spécimen : produit destiné à être essayé conformément aux méthodes de la norme NF EN 60068-1. **Note** : un spécimen est dit « dissipant » lorsqu'il dégage de la chaleur. Un spécimen est dit « absorbant » lorsqu'il absorbe de la chaleur.

II DEFINITIONS

Dew or frost temperature: temperature at which a gas must be cooled down so that the water steam inside moves to the condition:

- liquid by condensation (dew point),
- solid as ice (frost point).

Relative air humidity in the chamber: arithmetic mean of the relative air humidity measurements inside the working space.

Relative humidity of humid air with regard to water: the relative humidity of humid air with regard to water H , at pressure p and at temperature T , is the ratio, expressed as a percentage, between vapour partial pressure e' and saturation vapour pressure e'_w air would have if saturated with regard to water, at the same pressure p and at the same temperature T .

$$H = 100 \times (e'/e'_w)_{p,T}$$

e'_w is a function of p and T , e' is a function of T .

Working space: part of the chamber inner volume in which the specified environmental conditions are maintained within the maximum permissible errors.

Maximal permissible measurement error MPE (VIM 2008): extreme value of measurement error, with respect to a known reference quantity value, permitted by specifications or regulations for a given measurement, measuring instrument, or measuring system. **Note**: if $MPE = \pm 1^\circ\text{C}$, then the range of the MPE = absolute value of $2MPE$, i.e. 2°C .

Stabilization (NF X15-140): condition reached by the environment when the differences between the values for each point of the working space and the preset value are stabilized for each ambient parameter.

Stabilization (IEC 60068-3-11): achievement of the state of temperature/humidity in the chamber when all mean values in the working space are constant and have maintained temperature/humidity within a given tolerance.

Gradient (NF X15-140): maximum difference, obtained after stabilization, between measurements mean, increased by their expanded uncertainty, in the working space during measurements. It is expressed in the same unit as the considered parameter.

Gradient (IEC 60068-3-11): maximum difference in mean value, after stabilization, at any moment in time between two separate points in the working space.

Specimen: product designed to be tested according to the method described by the NF EN 60068-1 standard. **Note**: a specimen is called "dissipating" when it releases heat. A specimen is called "absorbing" when it absorbs heat.

III MÉTHODE

La caractérisation et la vérification sont réalisées selon la norme NF X 15-140 :

- la caractérisation d'une enceinte consiste à évaluer ses caractéristiques de fonctionnement,
- la vérification a pour but de comparer les résultats obtenus à des erreurs maximales tolérées (EMT), à des spécifications issues des méthodes d'essai ou à des données du constructeur.

1. PRINCIPE DE LA VÉRIFICATION

La vérification permet :

- lors de la mise en service de l'enceinte, de vérifier sa conformité aux exigences spécifiées (besoin exprimé, cahier des charges, normes, règlements),
- en fonction de l'utilisation spécifique de l'enceinte, de s'assurer que les conditions climatiques ou thermiques prédéterminées sont respectées, quel que soit le taux de remplissage de l'enceinte.

On peut définir la notion de remplissage de l'enceinte suivant cet exemple :

- vide : charge ≤ 10 % de la surface des plateaux,
- plein : charge > 75 % de la surface des plateaux,
- mi-charge : > 10 % et ≤ 75 % de la surface des plateaux.

Important : respecter les taux de remplissage définis par le constructeur et sensibiliser l'utilisateur à la circulation de l'air permettant de conserver les échantillons à la température souhaitée.

2. PRINCIPE DES MESURES

Le présent document traitera, à titre d'exemple, des mesures réalisées en régime établi, en présence ou absence de spécimens, et consistera à évaluer pour la température et/ou l'humidité :

- l'homogénéité,
- la stabilité,
- l'écart à la consigne,
- l'écart d'indication.

Le principe des mesures étant identique à celui de l'exemple traité, on se référera directement à la norme X 15-140, pour l'évaluation d'autres paramètres, comme les mesures en régime transitoire, le temps de récupération en température ou la détermination de l'effet de paroi.

IV CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT

Les conditions d'environnement doivent correspondre à celles préconisées par le constructeur de l'enceinte. D'une façon générale la norme NF EN 60068-1 recommande les conditions suivantes :

- température comprise entre $+15$ °C et $+35$ °C,
- humidité relative comprise entre 25 % HR et 75 % HR,
- pression atmosphérique comprise entre 860 hPa et 1060 hPa.

III METHOD

Characterization and verification are carried out according to standard NF X 15-140:

- characterizing a chamber consists in evaluating its functioning characteristics,
- the purpose of the verification is to compare measurement results to maximum permissible errors (MPE), specifications issued from test methods or manufacturer's data.

1. VERIFICATION PRINCIPLE

Verification allows:

- during the chamber commissioning, to verify its conformity to specified requests (expressed need, technical requirements, standards, regulations),
- according to the specific use of the chamber, to ensure that the preset climatic or thermal conditions are respected, whatever the chamber filling ratio.

One can define the notion of chamber filling ratio as follows:

- empty : load ≤ 10 % trays area,
- full : load > 75 % trays area,
- half-loaded: >10 % and ≤ 75 % trays area.

Important: observe filling rate as prescribed by the manufacturer and make the user aware of the minimum air circulation required to keep samples at the desired temperature.

2. MEASUREMENT PRINCIPLE

This document deals, as an example, with steady state measurements operated with or without specimen, and consists in evaluating for temperature and/or humidity:

- gradient,
- fluctuation,
- deviation to a preset value,
- indication deviation.

As the measurement principle is the same as this example, one can refer to standard NF X 15-140, for assessing other parameters, such as transitory state measurements, temperature recovery time or wall effect determination.

IV ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Environmental conditions must comply with the ones recommended by the chamber manufacturer. As a general rule, NF EN 60068-1 standard recommends the following conditions:

- temperature from $+15$ °C to $+35$ °C,
- relative humidity from 25 % RH to 75 % RH,
- atmospheric pressure from 860 hPa to 1060 hPa.

Note : le dégagement de chaleur inhérent au fonctionnement des enceintes, spécialement celles comportant un groupe frigorifique à refroidissement à air, peut provoquer une élévation de la température ambiante et entraîner une diminution des performances de l'enceinte.

V MOYENS DE VÉRIFICATION

1. ÉTALONNAGE DE LA CHAÎNE DE MESURE

Il est recommandé de disposer d'une centrale munie d'un logiciel d'acquisition, d'un PC ou d'une carte mémoire, éventuellement une imprimante, et composée de 9 à 30 voies selon le cas (voir § VI.3.1 et § VI.4). La chaîne de mesure (centrale + capteurs de température et d'humidité) aura une sensibilité suffisante pour détecter de faibles variations de température/humidité pendant une durée très brève (exemple : 0,1 °C et 10 s).

La chaîne de mesure doit avoir un certificat d'étalonnage avant d'être utilisée. Les points d'étalonnage doivent encadrer ceux de la vérification. Les capteurs de température peuvent être étalonnés selon la procédure SFSTP « Confirmation métrologique des thermomètres » [1].

Il faut surtout garder la notion du rapport métrologique suivant : l'incertitude U de la chaîne de mesure doit être quatre à dix fois plus petite que la tolérance de l'enceinte à caractériser (ce qu'on veut mesurer). Exemples :

$5\text{ °C} \pm 3\text{ °C} \rightarrow 0,3\text{ °C} \leq U \leq 0,75\text{ °C}$,
 $37\text{ °C} \pm 1\text{ °C} \rightarrow 0,1\text{ °C} \leq U \leq 0,25\text{ °C}$,
 $42\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C} \rightarrow 0,05\text{ °C} \leq U \leq 0,13\text{ °C}$.

2. CAPTEURS DE TEMPERATURE

Deux types de capteurs peuvent être utilisés, tous deux doivent être gainés pour des mesures en milieu humide, avoir un temps de réponse ≤ 60 s et une section de câble ≤ 3 mm.

La norme CEI 60068-3-5 préconise, pour chaque capteur, que le temps de réponse à 50 % dans l'air soit compris entre 10 s et 40 s, et que le temps de réponse global du système soit inférieur à 40 s.

2.1. Les capteurs à résistance de platine

Les plus courants sont de type Pt100, classe A (idéalement classe B 1/10 DIN). Il est recommandé d'utiliser des capteurs à quatre fils afin de s'affranchir des erreurs dues à la longueur du câblage. Pour plus de détails, consulter la norme NF EN 60751.

La norme CEI 60068-3-5 demande que l'incertitude de mesure du capteur soit, dans la plage de températures comprises entre -200 °C et +200 °C, conforme à la classe A de la CEI 60751.

2.2. Les thermocouples

Ils sont composés d'un couple de conducteurs

Note: the heat emission, inherent to enclosures functioning, particularly when they are equipped with an air-cooled refrigeration system, can generate an increase of ambient temperature and a decrease of the chamber performances.

V VERIFICATION MEANS

1. MEASUREMENT CHAIN CALIBRATION

It is recommended to use a processing system equipped with an operating software, 9 to 30 measuring points (see § VI.3.1 et § VI.4) and a printer if necessary. The measurement chain (system + temperature and humidity sensors) must have a sensitivity good enough to detect low temperature/humidity variations during a very short period of time (e.g. 0.1 °C and 10 s).

The measurement chain must have been calibrated before use. The calibration points shown on the calibration certificate must cover those of the verification. The temperature sensors can be calibrated according to the procedure described in SFSTP "Thermometers metrological confirmation" [1].

One must observe the metrological ratio as follows: the measurement chain uncertainty U must be four to ten times smaller than the characterized chamber MPE (what we want to measure). Examples:
 $5\text{ °C} \pm 3\text{ °C} \rightarrow 0.3\text{ °C} \leq U \leq 0.75\text{ °C}$.
 $37\text{ °C} \pm 1\text{ °C} \rightarrow 0.1\text{ °C} \leq U \leq 0.25\text{ °C}$.
 $42\text{ °C} \pm 0.5\text{ °C} \rightarrow 0.05\text{ °C} \leq U \leq 0.13\text{ °C}$.

2. TEMPERATURE SENSORS

Two types of sensors may be used, both must be sheathed when used in humid environment, have a response time ≤ 60 s and a cable section ≤ 3 mm.

Standard IEC 60068-3-5 recommends for each sensor that the 50 % response time in air be between 10 s and 40 s and the response time of the overall system be less than 40 s.

2.1. Platinum resistance sensors

The most used are type Pt100, class A sensors (ideally class B 1/10 DIN). It is recommended to use four wires sensors so as to be free of errors due to cable length. For more details, refer to standard NF EN 60751.

Standard IEC 60068-3-5, requires that the sensor measurement uncertainty be, in a temperature range from -200 °C to +200 °C, in accordance with class A of IEC 60751.

2.2. Thermocouples

They are made of a pair of two dissimilar conduc-

de matériaux différents, assemblés à l'une de leurs extrémités. Le choix du couple dépend de la gamme de température de travail, de la précision recherchée et du rapport qualité/prix.

Par exemple : dans le cadre de la vérification d'une enceinte climatique destinée à un essai de stabilité sur un médicament selon la recommandation réglementaire International Conference on Harmonisation, l'EMT en température est fixée à $\pm 2^\circ\text{C}$.

Pour une gamme de température identique, on a le choix entre un thermocouple de type K avec une incertitude de $\pm 2^\circ\text{C}$, un thermocouple de type T avec une incertitude de $\pm 1^\circ\text{C}$ et un thermocouple de type T Ultra Premium avec une incertitude de $\pm 0,25^\circ\text{C}$.

Afin de respecter un rapport de $\frac{1}{4}$ entre l'incertitude du thermocouple et l'EMT, on s'orientera vers le thermocouple de type T Ultra Premium (pour plus de détails, consulter la norme NF EN 60584-1).

3. CAPTEURS D'HUMIDITÉ DE L'AIR

Les principaux hygromètres sont :

- les hygromètres à condensation (NF X 15-112) : leur fonctionnement est basé sur la mesure du point de rosée ou de givre d'un gaz. Le gaz circule au voisinage d'un miroir que l'on peut refroidir. Lorsque l'abaissement de la température est suffisant pour créer un condensat sur le miroir, le refroidissement est stabilisé pour maintenir l'équilibre entre l'air humide et le condensat. La température mesurée à ce moment est appelée température du point de rosée ou de givre θ_d ;
- les psychromètres (NF X 15-118) : ce type d'instrument allie un thermomètre entouré d'un manchon mouillé qui, soumis à un courant d'air, indique une température θ_w inférieure à la température ambiante θ_s , mesurée par un deuxième thermomètre. Le taux d'humidité est une fonction de l'écart $(\theta_s - \theta_w)$. θ_s est appelé température sèche et θ_w température humide ;
- les hygromètres à variation d'impédance (NF X 15-113) : l'appareil est constitué d'une substance hygroscopique dont les propriétés électriques varient en fonction de l'humidité ambiante. Au-delà de 90 % HR, le capteur peut dériver en raison de phénomènes de saturation et d'hystérésis.

En général, les hygromètres donnent également une indication en température ; on les appelle alors des thermo-hygromètres.

Comme pour la mesure de la température, la sélection de l'hygromètre respectera les mêmes rapports que ceux décrits dans le § V.1. Pour un essai de stabilité dont la tolérance est de $\pm 5\%$ HR, un hygromètre à variation d'impédance est, dans la majorité des cas, suffisant. Attention au choix de l'hygromètre à impédance et à son étalonnage. En pratique, après étalonnage et éventuellement ajustage on peut arriver à une combinaison incertitude + écart (ou erreur) $< 2\%$ HR mais pas mieux sur un moyen terme (trois mois sur retour d'expérience). L'écart (ou erreur) sont des données reprises sur le certificat d'étalonnage. La dérive des hygromètres à

tors, connected at one end. The choice of the couple depends on the working temperature range, on the desired accuracy and on the quality/price ratio.

For instance: for verifying a climatic chamber designed to a fluctuation test on a drug according to the International Conference on Harmonisation recommendation, the temperature MPE is set to $\pm 2^\circ\text{C}$.

For an identical temperature range, we can choose a type K thermocouple with an uncertainty of $\pm 2^\circ\text{C}$, a type T thermocouple with an uncertainty of $\pm 1^\circ\text{C}$ or a type T Ultra Premium thermocouple with an uncertainty of $\pm 0.25^\circ\text{C}$.

So as to observe a ratio $\frac{1}{4}$ between the thermocouple uncertainty and MPE, one will choose a type T Ultra Premium thermocouple (for details refer to standard NF EN 60584-1).

3. AIR HUMIDITY SENSORS

The major types of hygrometers are:

- cooled hygrometers (NF X 15-112): their functioning principle is the measurement of a gas dew or frost point. The gas flows near a mirror which can be cooled. When the temperature decreases, the water vapour condensates on the mirror, chilling is stabilized to maintain the equilibrium between humid air and condensate. The temperature measured at that instant is called dew or frost point θ_d ;
- psychrometers (NF X 15-118): this type of instrument combines a sensor equipped with a humid fabric sheathing which, when exposed to an air flow, displays a temperature θ_w smaller than ambient temperature θ_s , measured by a second thermometer. Relative humidity is a function of the difference $(\theta_s - \theta_w)$. θ_s is called dry temperature and θ_w humid temperature;
- impedance variation hygrometer (NF X 15-113): the device is made of a hygroscopic material whose electrical properties vary with ambient humidity. Above 90 % RH, the sensor can drift because of saturation and hysteresis phenomena.

Most hygrometers measure also temperature; they are called thermo-hygrometers.

As for temperature measurement, the choice of a hygrometer will depend on the required ratio as described in § V.1. For a fluctuation test whose tolerance is $\pm 5\%$ RH, an impedance variation hygrometer is, in most cases sufficient. Take care with impedance variation hygrometer calibration. Practically, after calibration and possible adjustment one may obtain a combination uncertainty + error $< 2\%$ RH but not better on medium term (three months on experience feedback). Errors are mentioned on the calibration certificate. Impedance variation hygrometers drift can reach as much as several % RH according to functioning conditions. Attention is also required to choose

impédance peut atteindre plusieurs % HR selon les conditions de fonctionnement. Attention aussi au choix du laboratoire d'étalonnage pour atteindre des incertitudes de mesure aussi basses.

Les hygromètres à condensation et les psychromètres sont plus précis, mais nécessitent une technique d'échantillonnage plus complexe.

VI VÉRIFICATION

1. PÉRIODICITÉ

La périodicité de la vérification est fonction de la fréquence et des conditions d'utilisation, des éventuelles dérives dans le temps, de l'usure, des contraintes réglementaires...

La périodicité initiale peut être modifiée en fonction de la variation des résultats obtenus entre deux vérifications successives.

Dans des conditions « normales » de fonctionnement et sans exigence réglementaire particulière, une périodicité initiale annuelle peut être adoptée.

2. POINTS DE VÉRIFICATION

Lorsque l'enceinte est destinée à une utilisation spécifique, la vérification est réalisée aux valeurs de consigne.

Lorsque l'enceinte est utilisée dans des conditions variables, la vérification est réalisée en trois points de la gamme d'utilisation : deux points aux valeurs extrêmes et un point à la valeur médiane.

Si les points d'étalonnages du thermo-hygromètre ne correspondent pas à ceux de la vérification de l'enceinte, on peut utiliser une régression linéaire, un polynôme pour calculer la correction à appliquer pour réduire l'incertitude de mesure.

Les valeurs brutes des mesures doivent être corrigées en fonction des valeurs indiquées sur le certificat d'étalonnage ; si celles-ci ne sont pas prises en compte, il est nécessaire de les intégrer dans le calcul de l'incertitude de mesure.

3. EMPLACEMENT DES CAPTEURS DE TEMPÉRATURE

Les capteurs sont introduits dans la chambre de l'enceinte, via un passe-paroi muni d'un presse-étoupe, un volet d'aération ou par la porte.

Dans ce dernier cas, les précautions nécessaires sont prises pour éviter toute déperdition ambiante pendant les relevés et tout cisaillement lors de la fermeture de la porte. Notamment, le câblage des capteurs doit être positionné à plat et en « râteau » (pas de chevauchement) sur le joint de porte (une pâte spéciale peut être utilisée pour assurer l'étanchéité). Identifier le positionnement de chaque capteur (voir figure 1).

the proper calibration laboratory, able to reach low enough measurement uncertainties.

Cooled hygrometers and psychrometers are more accurate, but require a more complex sampling technique.

VI VERIFICATION

1. FREQUENCY

Verification frequency is function of use frequency and conditions, of possible drift in time, of ageing, of regulations...

The initial frequency can be modified according to the variation between results obtained for successive verifications.

In "regular" functioning conditions and with no particular regulation requirements, an initial annual frequency can be chosen.

2. VERIFICATION POINTS

When the chamber is dedicated to a specific use, verification is carried out at the specified values.

When the chamber is used in various conditions, verification is operated at three points of the range of utilization: two points at extreme values and one median point.

If the thermo-hygrometer calibration points are different from those of the chamber verification, one can use a linear regression, a polynomial to calculate the correction to be applied for reducing measurement uncertainty.

Measurement raw values must be corrected with values mentioned on the calibration certificate; if they are not taken into account, it is necessary to integrate them in the measurement uncertainty calculation.

3. LOCATION OF TEMPERATURE SENSORS

Sensors are inserted in the chamber, through a gland grommet, an exhaust ventilation flap or through the door.

In this last case, caution is taken to prevent any ambient loss during measurements and any cutting when closing the door. In particular, sensors cables must be placed flat as a "rake" (no overlapping) on the door joint (adapted paste can be used to ensure airtightness). Identify each sensor location (Figure 1).

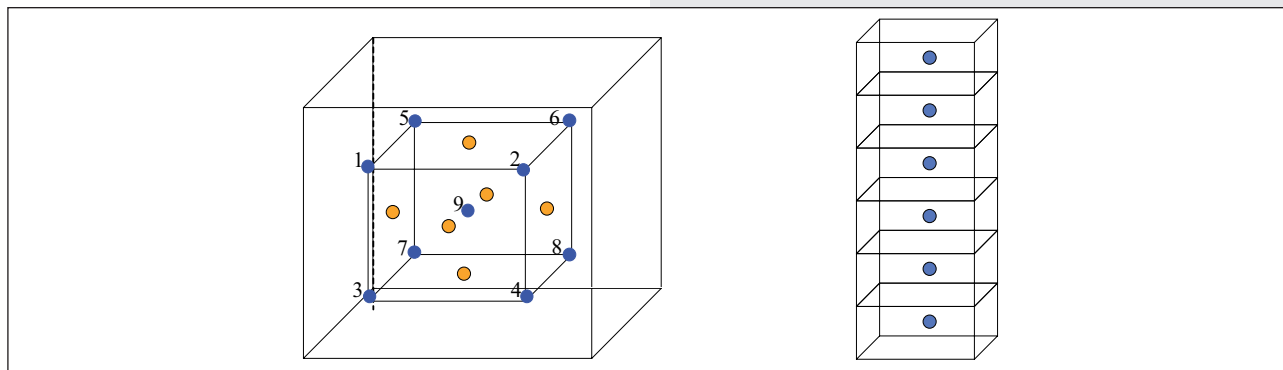


Figure 1. À gauche : positionnement des capteurs dans l'enceinte climatique. À droite : exemple de positionnement des capteurs dans un réfrigérateur comportant six plateaux.

Figure 1. Left: Sensors location in a climatic chamber. Right: example of sensors location in a six trays fridge.

3.1. En l'absence de spécimen (NF X 15-140)

Les capteurs sont placés à une distance des parois égale au $1/10^{\text{e}}$ de chacune des dimensions du volume intérieur (largeur, hauteur, profondeur).

Attention : si le volume est très grand (chambre froide ou bâtiment frigo) on peut abandonner cette notion de $1/10^{\text{e}}$ (on peut perdre jusqu'à 50 % du volume !) et fixer une distance minimale à 10 cm des parois pour éviter les phénomènes de rayonnement. Lorsque le volume intérieur est $\leq 2 \text{ m}^3$, utiliser neuf capteurs : un à chaque angle et un au milieu de l'espace de travail. Lorsque le volume est compris entre 2 m^3 et 20 m^3 , utiliser quinze capteurs : neuf placés comme précédemment et un au milieu de chaque face de l'espace de travail.

Remarque : en prévision d'un éventuel défaut de capteur, en prévoir un supplémentaire au nombre requis.

3.2. En l'absence de spécimen (CEI 60068-3-5)

Les capteurs sont placés à une distance X des parois égale au $1/10^{\text{e}}$ de chacune des dimensions du volume intérieur (largeur, hauteur, profondeur), avec une distance minimum de X requise :

- 50 mm pour les enceintes de petite taille jusqu'à 1 m^3 ,
- 100 mm pour les enceintes de moyenne taille entre 1 m^3 et 2 m^3 ,
- 150 mm pour les enceintes de grande taille supérieure à 2 m^3 .

Le nombre de capteurs est identique à la NF X 15-140, lors de l'absence de spécimen.

3.3. En présence de spécimens (NF X 15-140)

Même configuration qu'au § VI.3.1, mais :

- si le spécimen est non dissipant, le placer à plus de 50 mm d'un capteur ;
- si le spécimen est dissipant, le placer de façon à ce qu'il ne perturbe pas la mesure d'un des capteurs.

La norme CEI 60068-3-7 demande une protection des thermomètres contre le rayonnement thermique direct des sources chaudes et froides. Les capteurs fixés aux parois et sur les charges sont protégés du

3.1. With no specimen (NF X 15-140)

Sensors are placed at a distance from inner walls equal to $1/10^{\text{th}}$ of each dimension of the inner volume (width, height, depth).

Caution: if the volume is very large (cold room or refrigerated building) one can abandon this $1/10^{\text{th}}$ notion (one would miss 50 % of the total volume!) and take a minimum distance at 10 cm from the walls to prevent thermal radiation phenomena. When the inner volume is $\leq 2 \text{ m}^3$, use nine sensors: one at each angle and one in the middle of the working space. When the volume is between 2 m^3 and 20 m^3 , use fifteen sensors: nine placed as previously and one in the middle of each face.

Note: to anticipate a possible sensor defect, it is recommended to have an extra one available.

3.2. With no specimen (IEC 60068-3-5)

Sensors are placed at a distance X from inner walls equal to $1/10^{\text{th}}$ of each dimension of the inner volume (width, height, depth), with a minimum required distance X:

- 50 mm for small chambers $\leq 1 \text{ m}^3$,
- 100 mm for medium chambers between 1 m^3 and 2 m^3 ,
- 150 mm for large chambers $> 2 \text{ m}^3$.

The number of sensors is the same as in standard NF X 15-140, without specimen.

3.3. With specimen (NF X 15-140)

Same configuration as § VI.3.1, but:

- if the specimen is not dissipating, place it at more than 50 mm from a sensor;
- if the specimen is dissipating, place it so that it does not disturb sensors measurements.

Standard IEC 60068-3-7 requires protecting the thermometers from hot and cold sources direct thermal radiations. Sensors fixed on inner walls and loads are protected from heat dissipation with adapted

transfert calorifique par convection à l'aide d'une isolation adaptée.

3.4. Positionnement des capteurs

Lorsque les caractéristiques dimensionnelles de l'enceinte (petits volumes par exemple) ne permettent pas le positionnement des neuf capteurs, le choix du nombre de capteurs et leur emplacement doit être défini avant intervention entre métrologue et responsable de l'équipement.

La norme CEI 60068-3-11 recommande l'utilisation de quatre sondes minimum pour les petits volumes, en charge la sonde centrale est supprimée.

4. EMPLACEMENT DES CAPTEURS D'HUMIDITÉ (NF X 15-140)

Les capteurs d'humidité sont introduits, positionnés et identifiés comme pour les capteurs de température.

Si on ne dispose que d'un seul capteur d'humidité, celui-ci est juxtaposé au capteur de température central.

5. EMPLACEMENT DES CAPTEURS D'HUMIDITÉ (CEI 606098-3-11)

L'hygromètre est placé d'une manière centrale sur le coté du produit ou au centre.

Les indications du capteur d'humidité permettront de calculer la pression partielle de vapeur d'eau afin de déterminer l'humidité relative aux emplacements des autres capteurs de température.

6. MESURES

6.1. Traçabilité des opérations

Afin d'assurer la traçabilité des opérations de vérification, il est recommandé d'utiliser un document préétabli et spécifique à l'enceinte à vérifier.

Ce document peut être formalisé sous forme de « fiche d'instruction » dont un exemple est donné en annexe 1.

L'opérateur dispose ainsi d'une trame de la chronologie des actions à mener et complète au fur et à mesure, en temps réel, le document.

6.2. Contrôle des capteurs

Avant de procéder à la vérification, il est recommandé de contrôler les capteurs de température et d'humidité afin de s'assurer qu'aucun capteur n'a dérivé dans le temps par rapport au certificat d'étalonnage (voir § V.1). S'il existe une dérive, celle-ci doit être intégrée lors du traitement des mesures (calculs).

Pour les autoclaves, un étalonnage des capteurs, et non un contrôle, est requis avant et après utilisation.

insulation.

3.4. Sensors location

When the chamber dimensional characteristics (small volumes for instance) do not allow placing nine sensors, the choice of the number and position of sensors must be defined before operating between metrology and the equipment responsible.

Standard IEC 60068-3-11 recommends the use of at least 4 sensors for small volumes; when the chamber is loaded the central sensor is not installed.

4. LOCATION OF HUMIDITY SENSORS (NF X 15-140)

Humidity sensors are inserted, positioned and identified like temperature sensors.

If only one humidity sensor is available, it is juxtaposed to the center temperature sensor.

5. LOCATION OF HUMIDITY SENSORS (IEC 60068-3-11)

The hygrometer is positioned centrally on the incident air side of the test item or in the centre of an empty chamber.

Humidity sensor measurements allow calculating water vapor partial pressure in order to determine relative humidity at the other temperature sensors locations.

6. MEASUREMENTS

6.1. Traceability of operations

To ensure traceability of verifications, it is recommended to use a model form specific for the chamber to be verified.

This document can be recorded as "instruction form"; an example is shown in Appendix 1.

This way, the operator has the chronological plan of actions to be carried out and fills in the document in real time.

6.2. Sensors control

Before starting a verification, it is recommended to control temperature and humidity sensors to ensure that no sensor has drifted in time, since its last calibration (see § V.1). If there is a drift, it must be integrated when processing measurements (calculations).

For autoclaves, the sensors calibration is required before and after use.

6.3. Stabilisation

L'introduction des capteurs dans la chambre de l'enceinte engendre des perturbations ambiantes. Il est donc nécessaire, avant de procéder à l'acquisition des données, d'attendre que la température et/ou l'hygrométrie se stabilisent. Pour ce faire, procéder comme suit :

- attendre que les valeurs de température et/ou l'hygrométrie affichée(s) par l'enceinte correspondent aux consignes programmées ;
- attendre que le régime soit établi. Le régime est dit établi dès que l'on observe que la dispersion et la moyenne du paramètre étudié ne varient pas significativement en fonction du temps.

Lorsque la centrale d'acquisition permet un affichage graphique des mesures, la stabilisation est visuellement facile à repérer. Quand ce n'est pas le cas, l'enregistrement numérique est récupéré et traité à l'aide d'un tableur pour obtenir la représentation graphique équivalente.

6.4. Acquisition des données

Procéder à l'acquisition selon les conditions suivantes : relever les indications des capteurs au maximum toutes les minutes (un minimum de trente relevés est requis, après stabilisation de l'enceinte).

La durée d'acquisition des mesures est de 30 min minimum avec au moins un cycle de régulation (norme NFX 15-140).

- Les mesures en 24 h sont recommandées pour :
- les congélateurs, car certains ont des cycles de dégivrage qui provoquent une hausse temporaire de la température,
 - les chambres climatiques pouvant avoir un système de régénération du générateur d'humidité,
 - des enceintes placées dans un local mal ou pas climatisé pour mettre en évidence une différence entre la journée et la nuit.

Un nombre de relevés $n \geq 30$ est requis, car plus n sera grand, plus la variance S_j^2 observée sur l'échantillon sera représentative de la variance vraie σ^2 (loi statistique des grands échantillons) et l'incertitude U_{mj} (voir § VIII.1.2) sera faible.

La durée d'acquisition des mesures peut être étendue à 24 h en fonction de la durée du cycle de régulation de l'enceinte et des conditions habituelles d'utilisation (exemple : durée de stockage de produits).

Lorsque la centrale d'acquisition est dotée d'une imprimante, faire imprimer les données dans les mêmes conditions. L'impression constitue alors la donnée brute de la vérification et doit être conservée afin d'assurer la traçabilité des mesures.

Sur l'enceinte :

- relever les valeurs de consigne X_{co} ,
- relever les valeurs affichées en début et en fin d'acquisition X_{in} .

En fin d'acquisition, récupérer le fichier informatique de la centrale (voir annexe 2) et le transférer sur un tableur pour réaliser les calculs du § VII. Vérifier la

6.3. Stabilization

The introduction of sensors in the chamber generates ambient disturbances. Therefore a delay is necessary, before data logging, to obtain stabilization of temperature and humidity. To this end, proceed as follows:

- wait until temperature and/or humidity values on the chamber display correspond to preset values;
- wait until stabilization. The stabilization is achieved as soon as the studied parameter dispersion and mean do not vary significantly in time

When the data logger allows the measurements graphic display, stabilization is easy to visualize. When it is not possible, the digital recording is processed afterwards in a spreadsheet to obtain the equivalent graphic display.

6.4. Data logging

Record data as follows: record sensors measurements at least every minute (thirty measurements minimum are required after stabilization).

The measurement recording time is at least 30 min with at least one full regulation cycle (NFX 15-140).

- Measurements during 24 h are recommended for:
- freezers, because they sometimes have a defrost periodic cycle that generates a temporary temperature increase,
 - climatic chambers if they have a humidity regeneration system,
 - chambers placed in a badly ventilated or without air-conditioning room to make visible a difference between day and night.

A number of data $n \geq 30$ is required, because the greater n , the more representative the observed variance S_j^2 will be of the true variance σ^2 (statistical law of large numbers) and the smaller the uncertainty U_{mj} (see § VIII.1.2).

The duration of measurements recording can be extended to 24 h according to the length of the chamber regulation cycle and its usual use conditions (e.g: products storage duration).

When the data logger is equipped with a printer, print data in the same conditions. The printout constitutes then the verification raw data and must be kept to provide measurements traceability.

On the chamber:

- record set point value X_{co} ,
- record displayed values at the beginning and at the end of recording X_{in} .

At the end of the recording, save the data logger file (see Appendix 2) and transfer it on a spreadsheet to carry out the calculations of § VII. Verify the coher-

cohérence des données entre l'impression, si celle-ci est disponible, et le fichier informatique.

VII CALCULS

Un exemple de vérification d'une enceinte climatique à l'aide de huit capteurs de température et d'un capteur de température/humidité (figure 2) est donné dans l'annexe 3.

On remarque clairement dans les figures 3 et 4 l'importance de disposer uniquement de réfrigérateurs ventilés. En effet, ceux-ci permettent une meilleure homogénéité de la température : sur la figure 4 les températures min et max enregistrées sont comprises entre 4,6 °C et 6,1 °C, alors qu'un appareil non ventilé (figure 3) a des températures min et max enregistrées comprises entre 1,2 °C et 8,0 °C.

Il s'agit ici d'appareils d'années de fabrication différentes mais les tendances restent identiques.

Attention, lors du choix d'un équipement, à privilégier les claies grillagées plutôt que des plaques pleines en verre ou inox, car cela favorise la libre circulation de l'air. De même, on évitera autant que possible l'utilisation de bac aux parois pleines qui empêchent la libre circulation de l'air.

On constate sur la figure 6 que le congélateur est équipé d'une fonction de régulation automatique de la température ; il faut vérifier que les « pics » de régulation ne sortent pas des EMT lors de la mise en service. Ce type d'équipement est vivement recommandé car les écarts entre températures min et max sont beaucoup plus réduits (-24,1 °C et -21,5 °C) alors que celui sans régulation (figure 5) a des écarts plus importants (-19 °C et -27,5 °C).

On constate, sur les figures 7 et 8, qu'il y a un temps de stabilisation assez important ; il est primordial de le déterminer lors de la mise en service de manière à pouvoir en tenir compte dans le futur.

Il est donc important de déterminer le temps de récupération en température en fonction du temps d'ouverture de porte.

1. TEMPÉRATURE

1.1. Homogénéité

Température moyenne par capteur

Moyenne arithmétique des n relevés pendant la durée d'acquisition :

$$X_{mj} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_{ji}$$

avec :

n : nombre de relevés,

X_{ji} : température du capteur j mesurée au i^e relevé,

j : identification du capteur concerné (voir § VI.3).

ence between printed data and spreadsheet file.

VII CALCULATIONS

An example of climatic chamber verification with eight temperature sensors and one temperature/humidity sensor (Figure 2) is given in Appendix 3.

One notices clearly on Figures 3 and 4 the importance of using only ventilated refrigerators. They show a better temperature gradient. On Figure 4, minimum and maximum recorded temperatures fluctuate from 4.6 °C to 6.1 °C, whereas, for a not ventilated device (Figure 3), minimum and maximum recorded temperatures fluctuate from 1.2 °C to 8.0 °C.

These devices were manufactured at different years but the trends are identical.

Take care, when choosing an equipment, to prefer wire rack shelves rather than full glass or inox trays, because this makes free air circulation easier. Avoid also bins or drawers that will stop free air circulation.

One notices on Figure 6 that the freezer is equipped with an automatic temperature regulation, one must verify that the regulation peaks do not go over MPE when commissioning. This category of equipment is strongly recommended because differences between minimum and maximum temperatures are much smaller (-24.1 °C and -21.5 °C) whereas the one without regulation (Figure 5) has more important differences (-19 °C and -27.5 °C).

One notices, on Figures 7 and 8, that the stabilization time is rather long; it is most important to determine it on commissioning, so as to take this into account for future use.

It is also important to determine temperature recovery time according to door opening time.

1. TEMPERATURE

1.1. Gradient

Mean temperature for each sensor

Arithmetic mean of the n records during the logging period:

$$X_{mj} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_{ji}$$

with

n : records number,

X_{ji} : sensor temperature for sensor j at i measurement,

j : sensor identification (see § VI.3).

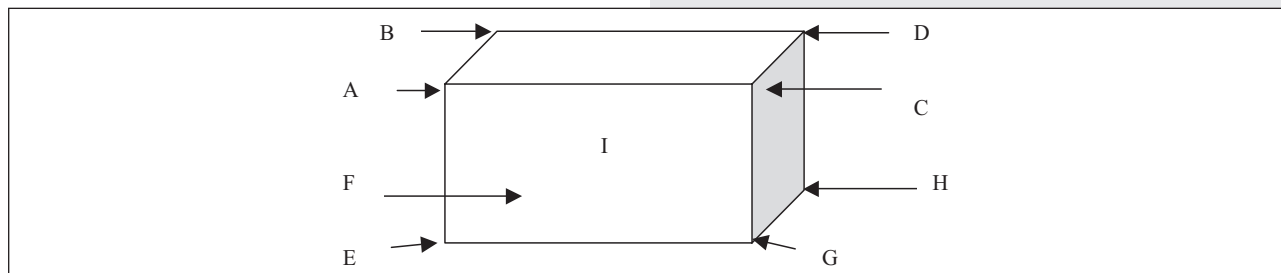


Figure 2. Désignation des emplacements des capteurs.

Figure 2. Sensors location.

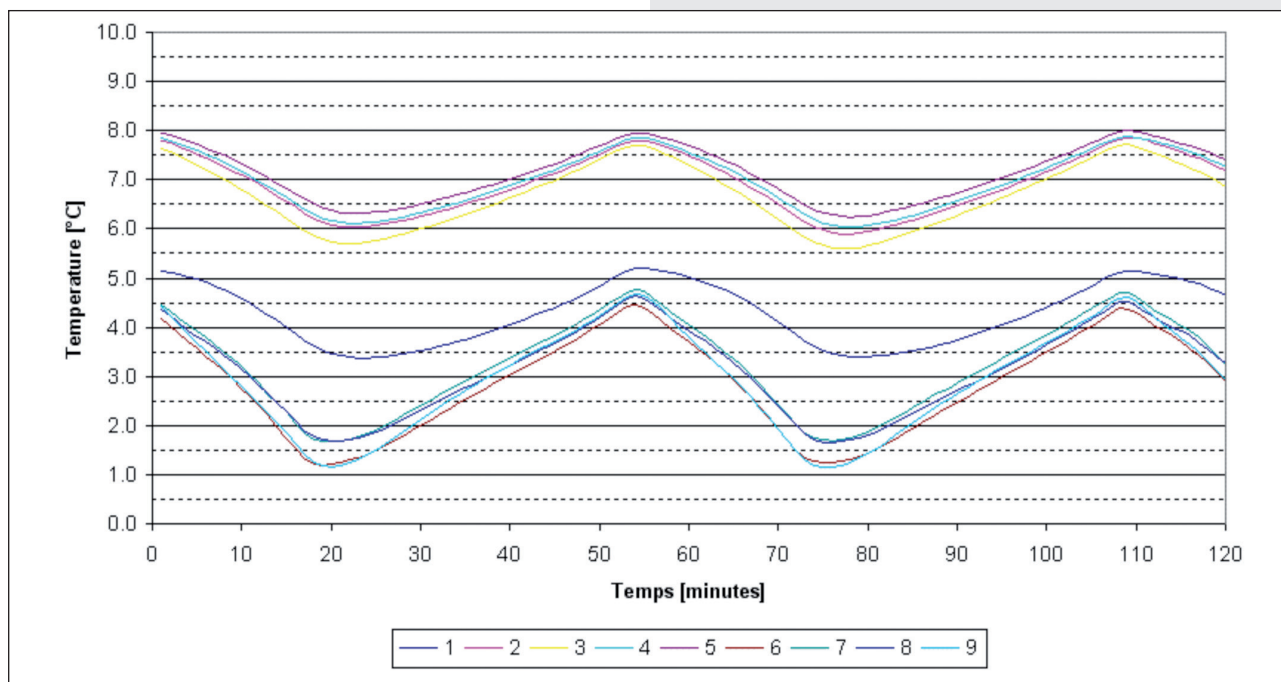


Figure 3. Réfrigérateur non ventilé (année 1999).

Figure 3. Refrigerator (no ventilation) (year 1999).

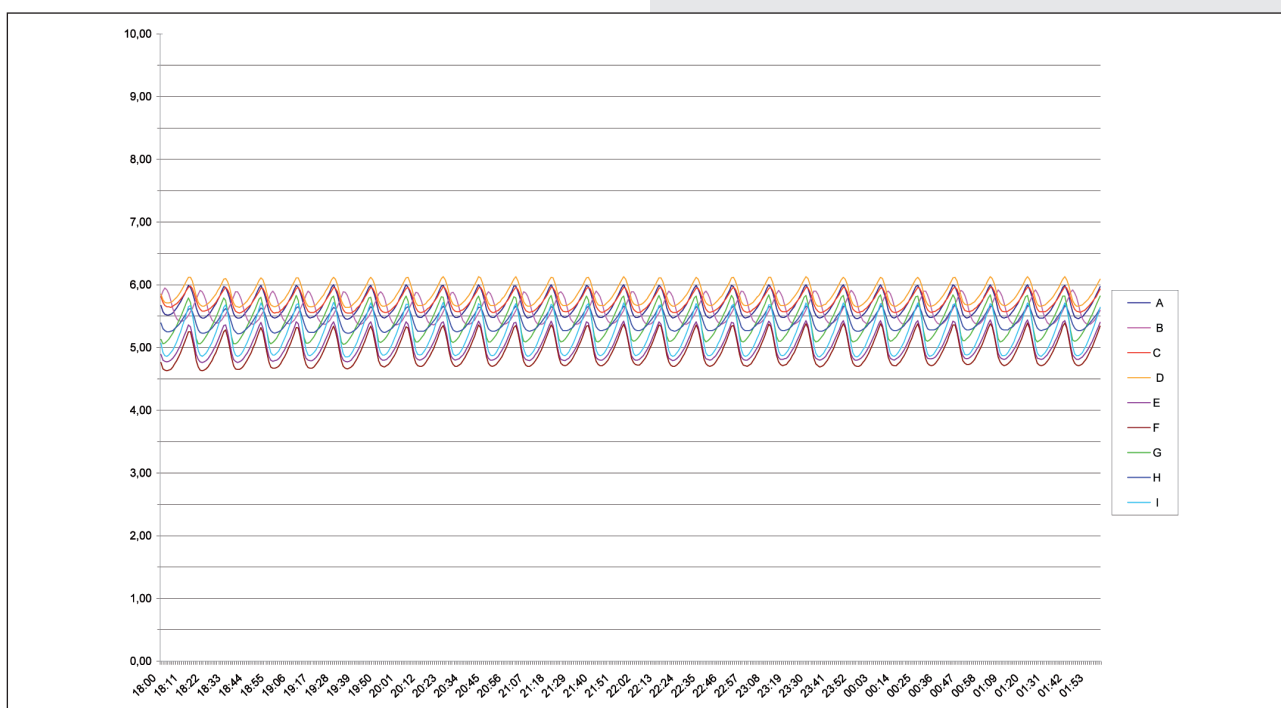


Figure 4. Réfrigérateur ventilé (année 2006).

Figure 4. Refrigerator (ventilated) (year 2006).

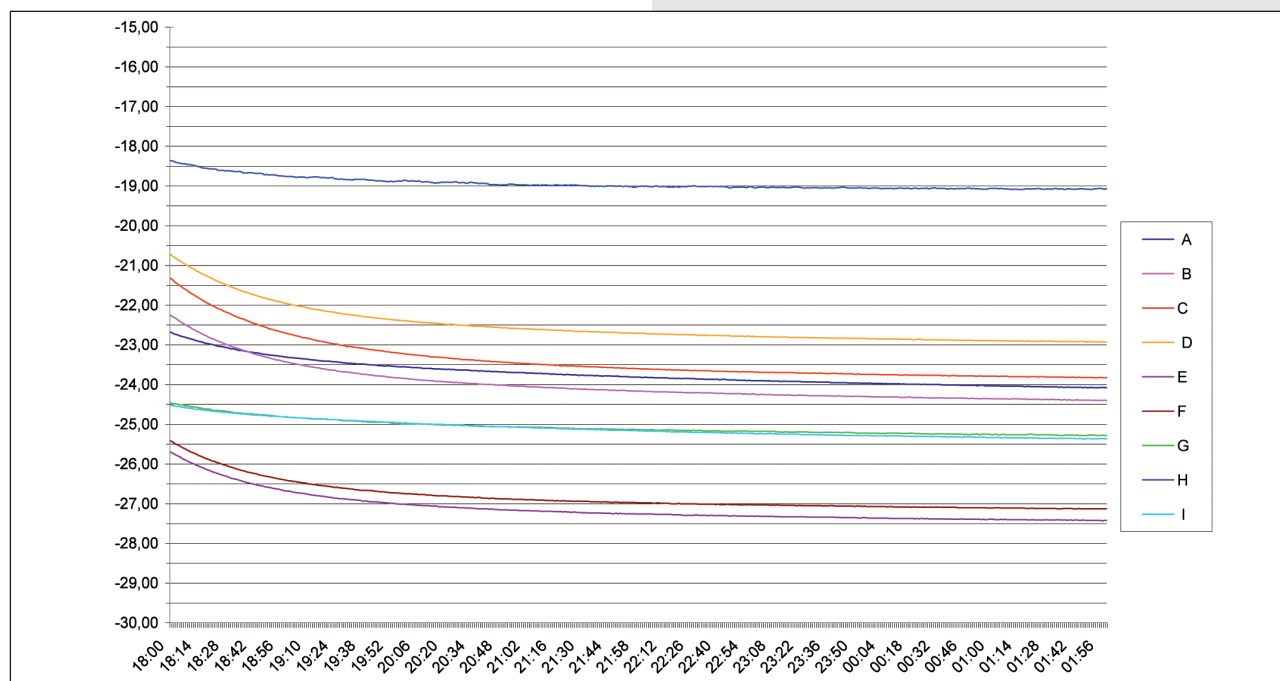


Figure 5. Congélateur année 1993 sans régulation automatique.
Figure 5. Freezer year 1993 without automatic regulation.

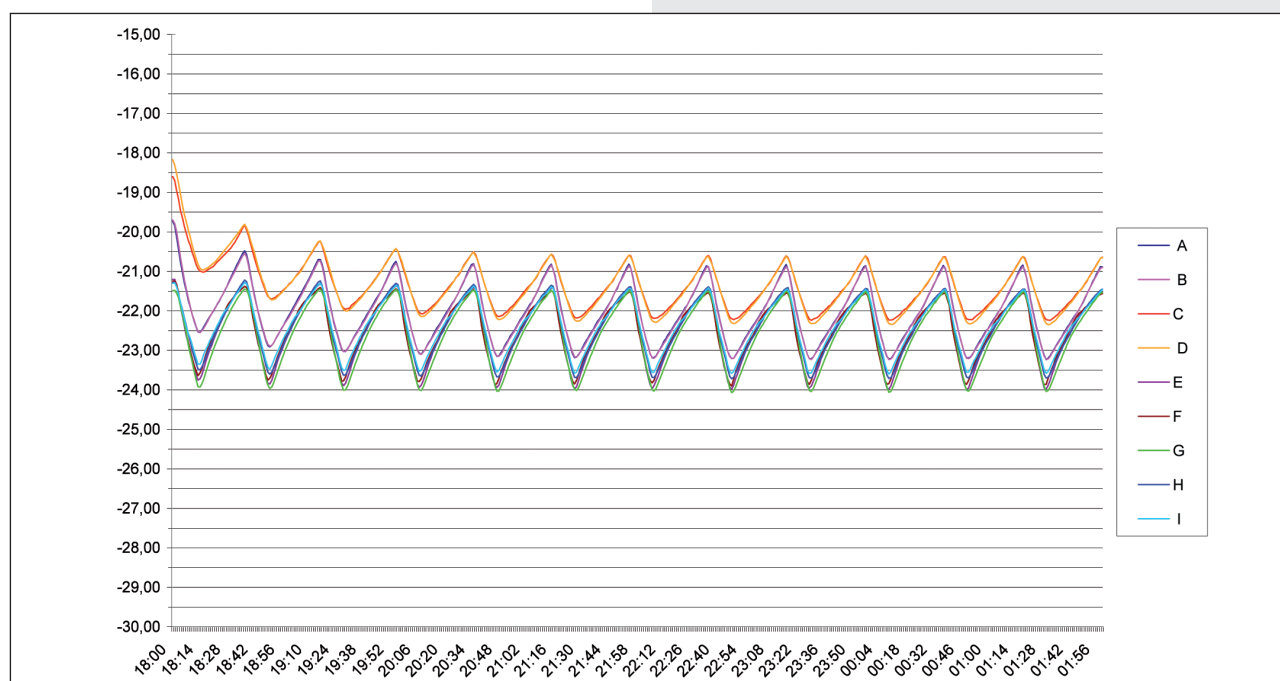


Figure 6. Un autre congélateur année 1993 avec régulation automatique.
Figure 6. Another freezer year 1993 with automatic regulation.

Température de l'air

Moyenne arithmétique des valeurs moyennes par capteur pendant la durée d'acquisition :

$$X_{air} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N X_{mj}$$

avec N : nombre de capteurs.

Homogénéité de l'environnement GX_E

GX_E : différence entre les moyennes arithmétiques X_{mj} extrêmes augmentée pour la valeur max et diminuée pour la valeur min de l'incertitude élargie

Air temperature

Arithmetic mean of the mean values of the N sensors during the logging period:

$$X_{air} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N X_{mj}$$

with N: number of sensors.

Environment gradient GX_E

GX_E : difference between extreme arithmetic means X_{mj} increased for the maximum value and decreased for the minimum value with the expanded uncer-

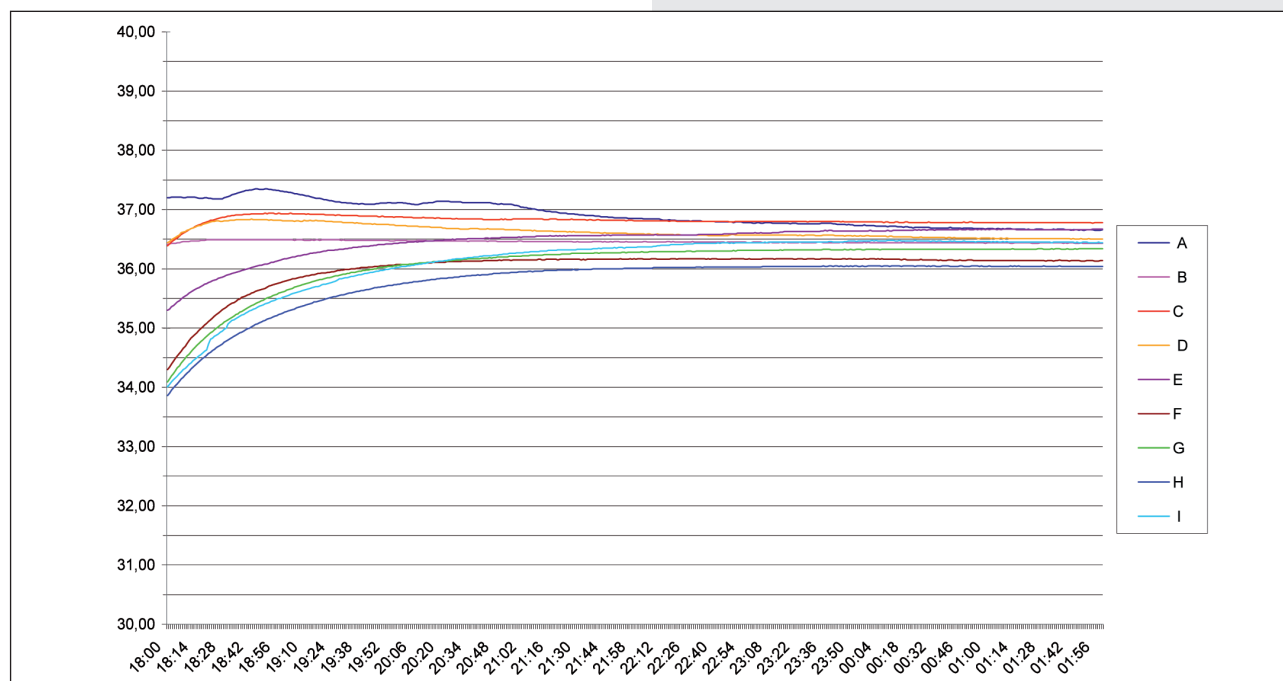


Figure 7. Étuve à 36 °C.
Figure 7. Incubator 36 °C.

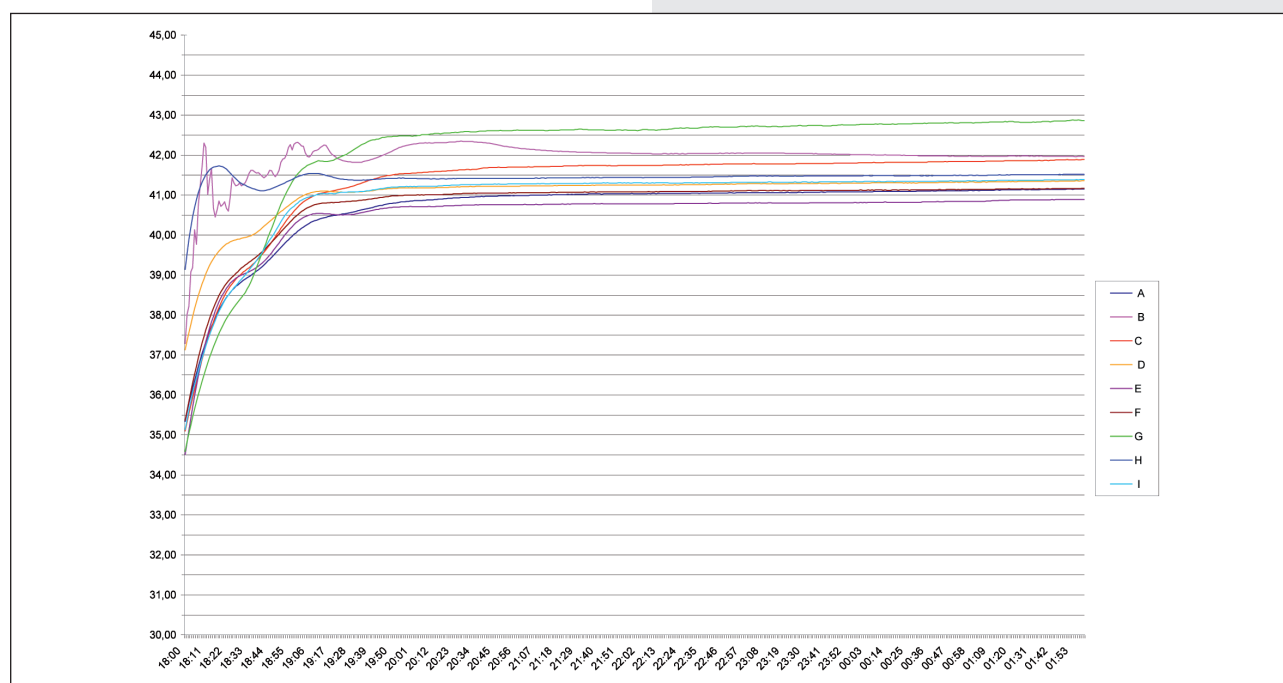


Figure 8. Étuve à 42 °C.
Figure 8. Incubator 42 °C.

U_{mj} associée à la valeur moyenne des mesures des capteurs (voir § VIII.1.2) :

$$GX_E = \text{valeur max. } (X_{mj} + U_{mj}) - \text{valeur min. } (X_{mj} - U_{mj})$$

Homogénéité maximale GX_M

GX_M : différence entre les moyennes arithmétiques X_{mj} extrêmes augmentée pour la valeur max et diminuée pour la valeur min de l'incertitude élargie U_j (voir § VIII.1.3) associée à la mesure de ces moyennes :

$$GX_M = \text{valeur max. } (X_{mj} + U_j) - \text{valeur min. } (X_{mj} - U_j)$$

tainty U_{mj} associated to the mean value of the sensors measurements (see § VIII.1.2):

$$GX_E = \text{max. value } (X_{mj} + U_{mj}) - \text{min. value } (X_{mj} - U_{mj})$$

Maximum gradient GX_M

GX_M : difference between extreme arithmetic means X_{mj} increased for the max value and decreased for the min value with the expanded uncertainty U_j (see § VIII.1.3) associated to these measurements means:

$$GX_M = \text{max. value } (X_{mj} + U_j) - \text{min. value } (X_{mj} - U_j)$$

1.2. Stabilité

C'est la variation de température maximale en un point de mesure de l'espace de travail pendant la durée d'acquisition. On calcule :

- la stabilité du point j , SX_j , différence entre les valeurs maximale et minimale relevées en ce point pendant la durée d'acquisition (stabilité représentative du cycle de régulation) ;
- la stabilité maximale, SX_M , valeur maximale des valeurs de stabilité pendant la durée d'acquisition (plus grande amplitude enregistrée).

Ces valeurs sont calculées à titre indicatif pour connaître l'amplitude de la régulation.

1.3. Écart de consigne ΔX_{CO}

C'est l'écart entre la valeur de consigne X_{CO} et la température de l'air X_{air} :

$$\Delta X_{CO} = X_{CO} - X_{air}$$

1.4. Erreur d'indication ΔX_{in}

C'est l'écart entre la valeur moyenne d'indication de l'enceinte X_{in} (voir § VI.6.4) et la température de l'air X_{air} :

$$\Delta X_{in} = X_{in} - X_{air}$$

Cette erreur d'indication permet de vérifier l'exactitude de l'afficheur de température.

2. HUMIDITÉ RELATIVE

2.1. Principe de traitement des données

2.1.1. Hygromètre à variation d'impédance

Le calcul des moyennes des températures et hygrométries relatives se fait directement à partir des indications données par l'instrument.

2.1.2. Psychromètre

Pour chaque relevé, l'humidité relative est calculée à partir de la température sèche θ_s comme suit :

$$\Delta T = (\theta_s - \theta_w)$$

avec θ_s la température sèche et θ_w la température humide.

L'humidité relative H est donnée pour θ_s et ΔT par la table psychrométrique de l'annexe 5.

Exemple :

$\theta_s = 20,0\text{ °C}$ et $\theta_w = 9,8\text{ °C}$

$\Delta T = 10,2\text{ °C}$

Pour $\theta_s = 20,0\text{ °C}$ et $\Delta T = 10,2\text{ °C}$, la table indique une humidité relative $H = 22,5\text{ \% HR}$.

1.2. Fluctuation

It is the greatest temperature variation at one measurement point of the working space during the recording period. One calculates:

- fluctuation at the point j , SX_j , difference between maximum and minimum values recorded at this point during the recording period (fluctuation representative of the regulation cycle);
- maximum fluctuation, SX_M , greatest value among the fluctuation values recorded during the recording period (greatest recorded amplitude).

These values are calculated as an indication of the regulation amplitude.

1.3. Setting deviation ΔX_{CO}

It is the deviation between preset value X_{CO} and air temperature X_{air} :

$$\Delta X_{CO} = X_{CO} - X_{air}$$

1.4. Error of indication ΔX_{in}

It is the difference between the chamber mean indication value X_{in} (see § VI.6.4) and air temperature X_{air} :

$$\Delta X_{in} = X_{in} - X_{air}$$

This error of indication allows verifying the temperature display system correctness.

2. RELATIVE HUMIDITY

2.1. Data processing principle

2.1.1. Impedance variation hygrometer

Calculation of the mean temperature and relative humidity is carried out using raw data given by the instrument.

2.1.2. Psychrometer

For each record, relative humidity is calculated from dry temperature θ_s as follows:

$$\Delta T = (\theta_s - \theta_w)$$

with θ_s dry temperature and θ_w humid temperature.

Relative humidity H is given for θ_s and ΔT by the psychrometric table in Appendix 5.

Example:

$\theta_s = 20,0\text{ °C}$ and $\theta_w = 9,8\text{ °C}$

$\Delta T = 10,2\text{ °C}$

For $\theta_s = 20,0\text{ °C}$ et $\Delta T = 10,2\text{ °C}$, the table shows a relative humidity $H = 22,5\text{ \% RH}$.

2.1.3. Hygromètre à condensation

Pour chaque relevé, l'humidité relative est calculée à partir de θ_s et du point de rosée ou de givre θ_d .

Procéder de la façon suivante : dans la table de l'annexe 4, rechercher la valeur de :

- la pression partielle e' pour θ_d ,
- la pression de vapeur saturante e'_w pour θ_s ,
- l'humidité relative $H = 100 \times (e'/e'_w)$.

Exemple :

$\theta_s = 20,00^\circ\text{C}$ et $\theta_d = 10,00^\circ\text{C}$

Pour $\theta_d = 10,00^\circ\text{C}$, la table indique $e' = 1\,228,13\text{ Pa}$

Pour $\theta_s = 20,00^\circ\text{C}$, la table indique $e'_w = 2\,339,25\text{ Pa}$

L'humidité relative $H = 100 \times (1228,13/2339,25) = 52,5\%$ HR.

2.2. Cas de plusieurs capteurs

Lorsque les capteurs d'humidité sont en nombre égal aux capteurs de température, procéder selon la démarche ci-dessous.

2.2.1. Homogénéité

Humidité relative moyenne par capteur

Moyenne arithmétique des n relevés pendant la durée d'acquisition :

$$H_{mj} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n H_{ji}$$

avec :

n : nombre de relevés,

H_{ji} : humidité relative du capteur j mesurée au i^{e} relevé,

j : identification du capteur concerné (voir § VI.4).

Humidité relative de l'air

Moyenne arithmétique des valeurs moyennes par capteur pendant la durée d'acquisition :

$$H_{air} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N H_{mj}$$

avec N : nombre de capteurs.

Homogénéité de l'environnement GH_E

GH_E : différence entre les moyennes arithmétiques H_{mj} extrêmes augmentée pour la valeur max et diminuée pour la valeur min de l'incertitude élargie U_{mj} (voir § VIII.1.2) associée à la valeur moyenne des mesures des capteurs.

Homogénéité maximale GH_M

GH_M : différence entre les moyennes arithmétiques H_{mj} extrêmes augmentée pour la valeur max et diminuée pour la valeur min de l'incertitude élargie U_j (voir § VIII.1.3) associée à la mesure de ces moyennes.

2.2.2. Stabilité

C'est la variation de l'humidité relative maximale en un point de mesure de l'espace de travail pendant la durée d'acquisition. On calcule :

2.1.3. Cooled hygrometer

For each measurement, relative humidity is calculated from θ_s and from the dew or frost point θ_d .

Proceed as follows: in Appendix 4, search the value of:

- partial pressure e' for θ_d ,
- saturated vapour pressure e'_w for θ_s ,
- relative humidity $H = 100 \times (e'/e'_w)$.

Example :

$\theta_s = 20.00^\circ\text{C}$ and $\theta_d = 10.00^\circ\text{C}$

For $\theta_d = 10.00^\circ\text{C}$, the table shows $e' = 1\,228.13\text{ Pa}$

For $\theta_s = 20.00^\circ\text{C}$, the table shows $e'_w = 2\,339.25\text{ Pa}$

Relative humidity $H = 100 \times (1228.13/2339.25) = 52.5\%$ RH.

2.2. Case of several sensors

When the number of humidity sensors is equal to the number of temperature sensors, proceed as follows.

2.2.1. Gradient

Mean relative humidity by sensor

Arithmetic mean of the n measurements during logging period:

$$H_{mj} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n H_{ji}$$

with:

n : number of measurements,

H_{ji} : sensor relative humidity j measured at measurement i ,

j : concerned sensor identification (see § VI.4).

Air relative humidity

Arithmetic mean of the N sensors means during logging period:

$$H_{air} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N H_{mj}$$

with N : number of sensors.

Environment gradient GH_E

GH_E : difference between extreme arithmetic means H_{mj} increased for max value and decreased for min value with expanded uncertainty U_{mj} (see § VIII.1.2) associated to the mean sensor measurement value.

Maximum gradient GH_M

GH_M : difference between extreme arithmetic means H_{mj} increased for max value and decreased for min value with expanded uncertainty U_j (see § VIII.1.3) associated to the measurement of these means.

2.2.2. Fluctuation

It is the maximum variation of the relative humidity in one point of the working space during the logging period. One calculates:

- la stabilité du point j , SH_j , différence entre les valeurs maximale et minimale relevées en ce point pendant la durée d'acquisition,
- la stabilité maximale SH_M , valeur maximale des valeurs de stabilité pendant la durée d'acquisition.

2.2.3. Écart de consigne ΔH_{CO}

C'est l'écart entre la valeur de consigne H_{CO} et l'humidité relative de l'air H_{air} :

$$\Delta H_{CO} = H_{CO} - H_{air}$$

2.2.4. Erreur d'indication ΔH_{in}

C'est l'écart entre la valeur moyenne d'indication de l'enceinte H_{in} et l'humidité relative de l'air H_{air} :

$$\Delta H_{in} = H_{in} - H_{air}$$

2.3. Cas d'un seul capteur

Lorsqu'on ne dispose que d'un seul capteur d'humidité, procéder comme ci-dessous. L'humidité est calculée pour chaque relevé de température X_{ji} , enregistrée par chacun des capteurs, après avoir déterminé la pression partielle de vapeur d'eau e' .

2.3.1. Pression partielle de vapeur d'eau e'

Cas d'un hygromètre à variation d'impédance ou d'un psychromètre

$$H_m = 100 \times (e'/e'_w)$$

avec :

e' : pression partielle de vapeur d'eau,
 e'_w : pression de vapeur saturante, fonction de la température.

$$e' = (H_{ji} \times e'_w)/100$$

e'_w est défini, en fonction de la température θ_{wji} enregistrée par le capteur central, dans la table de l'annexe 4. Si cela est nécessaire, réaliser une interpolation.

Exemple :

Le capteur central a enregistré une température $\theta_{wji} = 25^\circ\text{C}$ et une hygrométrie $H_{ji} = 60\%$ HR.

Pour 25°C , la table indique une pression de vapeur saturante $e'_w = 3\,169,90\text{ Pa}$.

$$e' = (60 \times 3\,169,90)/100$$

$$e' = 1\,901,94\text{ Pa}$$

Cas d'un hygromètre à condensation

La pression partielle e' a été précédemment définie au § VII.2.1.3.

2.3.2. Humidité relative en différents points de l'espace de travail

La connaissance de e' nous permet de calculer

- point j fluctuation, SH_j , difference between max and min values measured at that point during logging period,
- maximal fluctuation SH_M , maximum value of fluctuation values during logging period.

2.2.3. Set point error ΔH_{CO}

It is the difference between set point value H_{CO} and air relative humidity H_{air} :

$$\Delta H_{CO} = H_{CO} - H_{air}$$

2.2.4. Indication error ΔH_{in}

It is the difference between the mean chamber indication value H_{in} and air relative humidity H_{air} :

$$\Delta H_{in} = H_{in} - H_{air}$$

2.3. Case of one sensor

When only one humidity sensor is available, proceed as follows. Humidity is calculated for each temperature measurement X_{ji} , recorded by each sensor, after water vapour partial pressure e' has been determined.

2.3.1. Water vapour partial pressure e'

Case of an impedance variation hygrometer or of a psychrometer

$$H_m = 100 \times (e'/e'_w)$$

with:

e' : water vapour partial pressure,
 e'_w : saturated vapour pressure as a function of temperature.

$$e' = (H_{ji} \times e'_w)/100$$

e'_w is defined, as a function of temperature θ_{wji} recorded by the central sensor, in Appendix 4 table. Interpolate if needed.

Example:

The central sensor has recorded the temperature $\theta_{wji} = 25^\circ\text{C}$ and humidity $H_{ji} = 60\%$ RH.

For 25°C , the table shows a saturated vapour pressure $e'_w = 3\,169.90\text{ Pa}$.

$$e' = (60 \times 3\,169.90)/100$$

$$e' = 1\,901.94\text{ Pa}$$

Case of a cooled hygrometer

Partial pressure e' has already been defined in § VII.2.1.3.

2.3.2. Relative humidity at different points of the working space

Knowing e' allows calculating relative humidity

l'humidité relative en d'autres points que celui du capteur d'humidité.

Le calcul s'effectue à partir des températures individuelles X_{ji} de chaque capteur de température.

Définir e'_w en fonction de la température X_{ji} (voir § VII.1.1), dans la table de l'annexe 4.

Si cela est nécessaire, réaliser une interpolation.

Puis calculer l'humidité relative :

$$H_{ji} = 100 \times (e'/e'_w)$$

avec e' défini au § VII.2.3.1.

Exemple :

Un capteur de température a enregistré une température $X_{ji} = 26^\circ\text{C}$.

Pour 26°C , la table indique une pression de vapeur saturante $e'_w = 3\,363,88\text{ Pa}$.

$$H_{ji} = 100 \times (1901,94/3363,88)$$

$$H_{ji} = 56,54\% \text{ RH}$$

2.3.3. Automatisation du calcul de l'humidité relative

La quantité de calcul à effectuer est assez importante, il est recommandé d'automatiser cette partie à l'aide des formules suivantes :

$$\ln(e' w_{Ref}) = A \times T_{Ref}^{-1} + B + C \times T_{Ref} + D \times T_{Ref}^2 + E \times \ln(T_{Ref})$$

$e'w$ pourra être déterminé à l'aide de la fonction inverse du logarithme népérien, c'est-à-dire la fonction exponentielle.

$$e' = \frac{H \times (e'w)}{100}$$

$$\ln(e' w_{Xji}) = A \times T_{Xji}^{-1} + B + C \times T_{Xji} + D \times T_{Xji}^2 + E \times \ln(T_{Xji})$$

$$H_{Xji} = \frac{100 \times e'}{e' w_{Xji}}$$

avec :

$e'w$ est en Pascal,

T est en Kelvin,

e' : pression partielle de vapeur d'eau,

e'_w : pression de vapeur saturante, fonction de la température,

$A = -6\,096,9385$, $B = 21,2409642$, $C = -2,711193\text{E}^{-2}$,

$D = 1,673952\text{E}^{-5}$, $E = 2,433502$.

at points other than the humidity sensor point.

Calculation is made from individual temperatures X_{ji} of each temperature sensor.

Search e'_w , as a function of temperature X_{ji} (voir § VII.1.1), in Appendix 4 table.

Interpolate if needed.

Then calculate relative relative humidity:

$$H_{ji} = 100 \times (e'/e'_w)$$

with e' as defined in § VII.2.3.1.

Example :

A temperature sensor has recorded a temperature $X_{ji} = 26^\circ\text{C}$.

For 26°C , the table shows a saturated vapour pressure $e'_w = 3\,363.88\text{ Pa}$.

$$H_{ji} = 100 \times (1901.94/3363.88)$$

$$H_{ji} = 56.54\% \text{ RH}$$

2.3.3. Automatic relative humidity calculation

The calculation to be performed is rather important, so it is recommended to automate it with the following formula:

$e'w$ will then be determined with the exponential function, the inverse of the natural (neperian) logarithmic function.

with:

$e'w$ in Pascal,

T in Kelvin,

e' : water vapour partial pressure,

e'_w : saturated vapour pressure, as a function of temperature,

$A = -6\,096.9385$, $B = 21.2409642$, $C = -2.711193\text{E}^{-2}$,

$D = 1.673952\text{E}^{-5}$, $E = 2.433502$.

VIII ESTIMATION DE L'INCERTITUDE DE MESURE

Les calculs ci-dessous sont applicables pour l'évaluation des incertitudes relatives aux capteurs de température ou d'hygrométrie.

1. CALCUL DE L'INCERTITUDE LIÉE À CHAQUE CAPTEUR

1.1. Écart type expérimental

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ji} - X_{mj})^2}$$

avec :

X_{mj} : moyenne des n relevés du capteur j ,
 X_{ji} : valeur du i^e relevé.

1.2. Incertitude U_{mj}

U_{mj} représente la fluctuation de la valeur moyenne X_{mj} des n relevés pour le capteur j .
 L'incertitude élargie associée à cette valeur moyenne est :

$$U_{mj} = k \cdot \sqrt{\frac{S_j^2}{n} + u_{cj}^2}$$

avec :

u_{cj} : incertitude composée de la chaîne de mesure associée au capteur j ,
 S_j : écart type expérimental des n relevés pour le capteur j ,
 k : facteur d'élargissement égal à 2.

Conformément aux règles fixées par le GUM (paragraphe 4.4.3), l'écart type expérimental de la moyenne X_{ji} doit être divisé par \sqrt{n} pour obtenir l'incertitude type de la moyenne, n étant le nombre de relevés.

1.3. Incertitude U_j

U_j représente la fluctuation des valeurs individuelles X_{ji} pour le capteur j .

L'incertitude élargie associée à une valeur individuelle est :

$$U_j = k \cdot \sqrt{S_j^2 + u_{cj}^2}$$

avec k : facteur d'élargissement égal à 2.

2. CALCUL DE L'INCERTITUDE LIÉE À LA VALEUR X_{AIR}

2.1. Écart type de répétabilité S_r

Si les écarts types S_j ne sont pas significativement différents, l'écart type de répétabilité est estimé selon la formule :

VIII ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY

Calculations below are applicable for evaluating uncertainties related to temperature or humidity sensors.

1. CALCULATION OF UNCERTAINTY FOR EACH SENSOR

1.1. Experimental standard deviation

with:

X_{mj} : mean of the n measurements for sensor j ,
 X_{ji} : measurement value i for sensor j .

1.2. Uncertainty U_{mj}

U_{mj} represents the mean value X_{mj} variation of the n measurement values for sensor j .

The expanded uncertainty associated to this mean value is:

with:

u_{cj} : combined uncertainty of the measurement chain associated to sensor j ,
 S_j : experimental standard deviation of n measurements for sensor j ,
 k : coverage factor equal to 2.

According to the rules defined by GUM (§ 4.4.3), the mean experimental standard deviation X_{ji} must be divided by \sqrt{n} to obtain the mean standard uncertainty, n being the number of measurements.

1.3. Uncertainty U_j

U_j represents individual values X_{ji} fluctuation for sensor j .

The expanded uncertainty associated to one individual value is:

with k : coverage factor equal to 2.

2. CALCULATION OF THE UNCERTAINTY RELATED TO THE VALUE X_{AIR}

2.1. Repeatability standard deviation S_r

If standard deviations S_j are not significantly different, the repeatability standard deviation is estimated as:

$$S_r = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j^2}$$

avec :

S_j : défini au § VIII.1.1,

N : nombre de capteurs.

Si les écarts types S_j sont significativement différents, l'écart type de répétabilité devient :

$$S_r = \max. (S_j)$$

2.2. Écart type de reproductibilité S_R

Il caractérise l'hétérogénéité spatio-temporelle de l'enceinte :

$$S_R = \sqrt{S_r^2 \left(1 - \frac{1}{n}\right) + \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (X_{mj} - X_{air})^2}$$

avec :

N : nombre de capteurs,

n : nombre de relevés.

2.3. Incertitude élargie U , suivant NFX 15-140

$$U = k \cdot \sqrt{S_r^2 + u_c^2}$$

u_c : incertitude type composée de la chaîne de mesure,
 $u_c = \max. (u_{c_j})$.

2.4. Incertitude élargie U , suivant CEI 60068-3-11

$$U = k \cdot \sqrt{S_{jmax}^2 + u_c^2} + (SD)^2 + \left(\frac{S_R}{N \cdot n}\right)^2$$

S_{jmax} : écart type de la valeur moyenne du capteur mesurant S_j maximum,

U : incertitude type de la chaîne de mesure,

(SD) : écart type spatial le plus défavorable,

$S_R/N \cdot n$: incertitude sur la moyenne générale.

La série des normes CEI 60068-3 décrit en trois fascicules (partie 5 pour les enceintes thermostatiques, partie 6 pour les enceintes climatiques et partie 7 pour les enceintes avec spécimen) ce que la norme française NF X 15-140 intègre en un seul document.

Les principales différences proviennent de la partie 11 et de l'analyse des incertitudes de mesure associées à la détermination de la température et de l'humidité relative de l'espace de travail caractérisé :

- pour la détermination de la valeur moyenne de la température et de l'humidité relative, la norme CEI 60068-3 n'exploite que les huit sondes placées à la périphérie de l'espace de travail alors que neuf sondes sont prises en compte dans le calcul de la norme NF X 15-140 (huit périphériques + sonde centrale),
- l'incertitude type spatiale est calculée à partir de la valeur moyenne à chaque emplacement de mesure dans la norme NF X 15-140 alors que la norme CEI

with:

S_j : as defined in § VIII.1.1,

N : number of sensors.

If standard deviations S_j are significantly different, the repeatability standard deviation is:

$$S_r = \max. (S_j)$$

2.2. Reproducibility standard deviation S_R

It characterises the spatial and temporal chamber heterogeneity:

$$S_R = \sqrt{S_r^2 \left(1 - \frac{1}{n}\right) + \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (X_{mj} - X_{air})^2}$$

with:

N : number of sensors,

n : number of measurements.

2.3. Expanded uncertainty U , according to NFX 15-140

$$U = k \cdot \sqrt{S_r^2 + u_c^2}$$

u_c : combined uncertainty of the measurement chain,
 $u_c = \max. (u_{c_j})$.

2.4. Expanded uncertainty U , according to IEC 60068-3-11

$$U = k \cdot \sqrt{S_{jmax}^2 + u_c^2} + (SD)^2 + \left(\frac{S_R}{N \cdot n}\right)^2$$

S_{jmax} : standard deviation mean value of the sensor measuring S_j maximum,

U : standard deviation of the measurement chain,

(SD) : largest standard deviation in space,

$S_R/N \cdot n$: uncertainty on overall mean.

The standard IEC 60068-3 series describe in three parts (part 5 for thermostatic chambers, part 6 for climatic chambers and part 7 for chambers with specimen) what the French standard NF X 15-140 integers in a unique document.

Main differences between these standards are in part 11 and come from the analysis of measurement uncertainties related to temperature and humidity determinations in the characterized working space:

- for determining the mean value of temperature and relative humidity, the standard IEC 60068-3 calculates only eight sensors placed at each corner of the working space, whereas nine sensors are taken into account in standard NF X 15-140 (eight at the corners + one at the center),
- the standard deviation in space is calculated from the mean value at each measurement point in standard NF X 15-140 whereas standard IEC 60068-3

60068-3 prend en compte la ligne des relevés des différentes mesures ayant l'écart type le plus défavorable,

- la norme CEI 60068-3 ajoute une composante d'incertitude forfaitaire sur la température de rosée de 0,1 °C.

Si l'équipement vérifié a une régulation sinusoïdale propre, sans parasites, les résultats de l'exploitation des différentes caractéristiques à analyser (stabilité, incertitudes associées à la détermination de la température et de l'humidité relative de l'air de l'espace de travail) sont semblables d'une norme à l'autre.

Dans le cas contraire, la norme internationale CEI 60068-3 conduit à une probabilité de non-conformité de l'équipement plus importante. L'importance des écarts entre les deux normes dépend du type d'équipement caractérisé : réfrigérateur ou étuve ventilés ou non ventilés, congélateur, etc.

IX CRITÈRES DE CONFORMITÉ

1. HOMOGÉNÉITÉ

Pour chaque paramètre, l'intervalle ($X_{mj} - U_{mj}$; $X_{mj} + U_{mj}$) doit être situé à l'intérieur de l'étendue des EMT (voir figure 9).

On notera que la norme NFX 15-140 fixe l'intervalle de conformité à ($X_{mj} - U_j$; $X_{mj} + U_j$), ce qui revient à encadrer la valeur moyenne des relevés par l'incertitude liée à une valeur individuelle X_{ji} (voir § VIII.1.3).

On notera également que la norme CEI 60068-3-11, déclare la conformité lorsque la valeur de X_{air} et son incertitude élargie U_{air} associée appartiennent à l'étendue des erreurs maximales tolérées, ($X_{air} \pm U_{air}$) \in (2 x EMT).

takes into account the measurements record which largest standard deviation,

- standard IEC 60068-3 adds a fixed uncertainty component of 0.1 °C on dew point.

If the verified equipment has a clean sinusoidal regulation, without interferences, the calculation results of the different characteristics to be measured (fluctuation, uncertainties related to the working space air temperature and relative humidity determination) are identical for the two standards.

If not, the international standard IEC 60068-3 leads to a higher probability of equipment being non conform. The importance of the differences between the two standards depends on the category of equipment characterized: refrigerator or incubator ventilated or not, freezer, etc.

IX CONFORMITY CRITERIA

1. GRADIENT

For each parameter, the interval ($X_{mj} - U_{mj}$; $X_{mj} + U_{mj}$) must be situated within the MPE limits (see Figure 9).

We notice that NF X 15-140 sets conformity interval as ($X_{mj} - U_j$; $X_{mj} + U_j$), which amounts to bracketing the measurements mean value by uncertainty related to one individual value X_{ji} (see § VIII.1.3).

We shall observe also that standard IEC 60068-3-11 declares conformity when X_{air} and its expanded uncertainty U_{air} is within the extent of maximum permissible errors, ($X_{air} \pm U_{air}$) \in (2 x MPE).

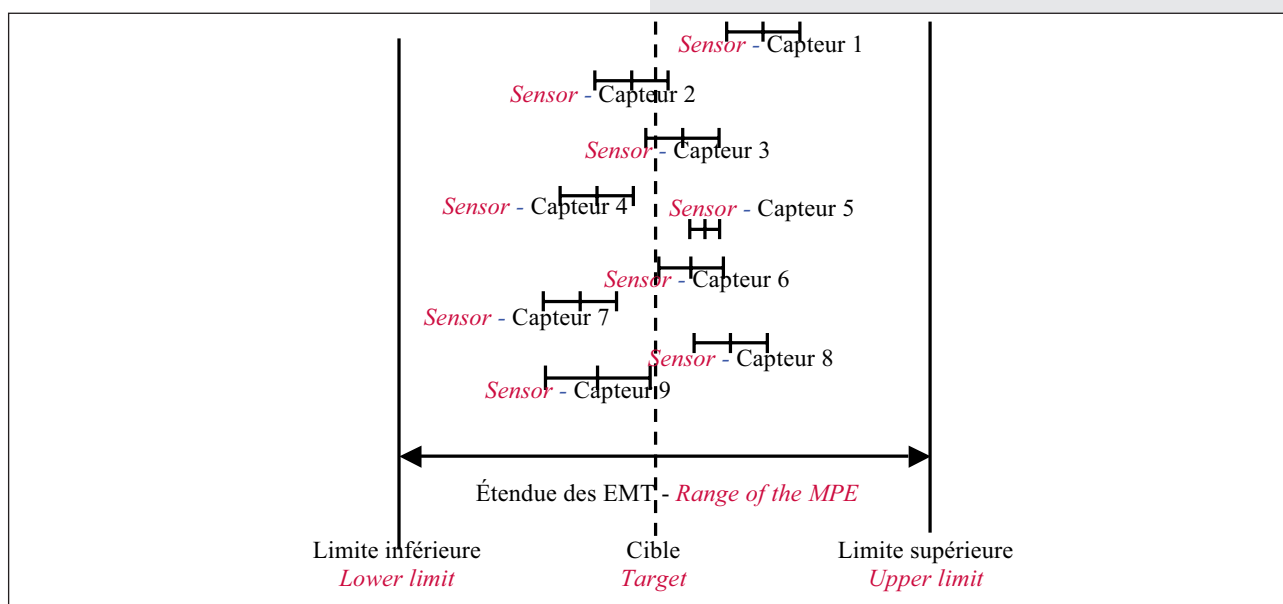


Figure 9. Étendue des EMT.
Figure 9. Range of the MPE.

Cet intervalle plus large que celui qui aurait utilisé l'incertitude liée à une valeur moyenne X_{mj} de n relevés peut engendrer un impact financier non négligeable pour le détenteur du matériel. En effet, lorsque la moyenne est située près d'une des limites supérieures ou inférieures, l'utilisation de U au lieu de U_{mj} peut faire basculer le statut de conforme à **non** conforme avec toutes les conséquences qui en découlent :

- proscription de l'utilisation de l'enceinte,
- transfert des échantillons,
- réparation ou achat d'un matériel neuf.

L'utilisation de U_{mj} respecte le principe des lois statistiques et permet de garantir la qualité du matériel, d'autant plus que le facteur d'élargissement k pris en compte est égal à 2 (pour un niveau de confiance à 95 %).

2. TEMPÉRATURE DE L'AIR

La valeur absolue de la différence entre la température de l'air et la température de consigne doit être inférieure ou égale à l'incertitude élargie U :

$$\text{valeur absolue } (X_{air} - X_{CO}) \leq U$$

avec :

X_{air} : température de l'air,
 X_{CO} : température de consigne,
 U : incertitude élargie.

3. TEMPÉRATURE INDIQUÉE PAR L'ENCEINTE

La valeur absolue de la différence entre la température de l'air et la température indiquée par l'enceinte doit être inférieure ou égale à l'incertitude élargie U :

$$\text{valeur absolue } (X_{air} - X_{in}) \leq U$$

avec :

X_{air} : température de l'air,
 X_{in} : température indiquée par l'enceinte,
 U : incertitude élargie.

4. DÉCISION

4.1. Conformité et non-conformité

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

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

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

Si les critères de conformité ne sont pas vérifiés pour une zone de l'espace de travail, on pourra continuer à utiliser l'enceinte en proscrivant l'utilisation de la zone concernée. Cette situation est mentionnée sur la fiche de vie et clairement indiquée sur l'enceinte.

This interval, broader than the one which would have used the uncertainty related to a mean value X_{mj} of n measurements can generate a substantial financial impact for the equipment owner. Actually, when the mean is close to the lower or upper limits, using U_j instead of U_{mj} can switch the conform status to **non** conform, with all the corresponding consequences:

- chamber use proscription,
- samples transfer,
- repair or purchase of new equipment.

The use of U_{mj} respects the principle of statistical laws and allows guaranteeing the equipment quality, and even more with the coverage factor k taken into account being equal to 2 (for a confidence level of 95 %).

2. AIR TEMPERATURE

The absolute value of the difference between air temperature and temperature setpoint must be less than or equal to the expanded uncertainty U :

$$\text{absolute value } (X_{air} - X_{CO}) \leq U$$

with:

X_{air} : air temperature,
 X_{CO} : set point temperature,
 U : expanded uncertainty.

3. TEMPERATURE READ ON THE CHAMBER DISPLAY

The absolute value of the difference between air temperature and the temperature read on the chamber display must be less than or equal to the expanded uncertainty U :

$$\text{absolute value } (X_{air} - X_{in}) \leq U$$

with:

X_{air} : air temperature,
 X_{in} : temperature read on the chamber display,
 U : expanded uncertainty.

4. DECISION

4.1. Conformity and non-conformity

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

When they are not met, the operator can operate an adjustment of the chamber temperature with the help of the manufacturer instructions and recommendations (see chamber manual).

A second series of measurements will be carried out. This is written on the data sheet.

If the conformity criteria are not met in one part of the working space, one can still use the chamber while proscribing this area. This situation is written on the data sheet and the proscribed area is clearly marked on the chamber.

4.2. Réparation

Si la réparation est envisageable, une nouvelle vérification devra être effectuée. Cette situation est mentionnée sur la fiche de vie.

4.3. Déclassement et réforme

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

La réforme de l'enceinte 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.

5. VALIDATION DES RÉSULTATS

L'opérateur valide les résultats issus de la fiche d'instruction et de calcul, en y apposant sa signature.

6. CONSTAT DE CONFORMITÉ ET FICHE DE VIE

L'opérateur complète la fiche de vie.

7. CLASSEMENT DES DOCUMENTS

La feuille d'instruction et de calcul est classée.

8. CAS DE LA SOUS-TRAITANCE

Quand la vérification est réalisée par un sous-traitant, la revue de contrat est primordiale. Le cahier des charges mentionnera clairement les critères pour lesquels la conformité sera déclarée.

X

NOUVELLES NORMES CEI 60068-3

Suite à la parution des normes de la série CEI 60068-3, qui ont de nombreuses similitudes avec la norme NF X 15-140, celle-ci devrait être supprimée du catalogue Afnor à moyen terme dans un souci d'harmonisation au niveau européen, mais rien n'interdit la caractérisation et vérification d'enceintes thermostatiques et climatiques sur base d'une norme périmée.

La norme CEI 60068-3-11 propose la caractérisation d'une enceinte à vide et en charge :

- la caractérisation à vide requiert un capteur à chaque coin et un au milieu de chaque face, soit huit capteurs pour des volumes inférieurs à 2 m³ et quatorze capteurs pour les volumes supérieurs, et un capteur au centre de l'enceinte,
- la caractérisation en charge requiert le même positionnement des capteurs mais sans celui au centre de l'enceinte.

« Le régime établi est atteint lorsque toutes les valeurs moyennes (température et humidité) sont constantes. »

L'homogénéité est la différence maximale, en

4.2. Repair

If repair is possible, a new verification has to be carried out before use. This situation is written on the data sheet.

4.3. Downgrading and reform

When repairing a chamber does not make it conform again, downgrading is possible (e.g.: increasing maximum permissible errors).

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

5. RESULTS VALIDATION

The operator validates the measurement and calculation sheets results, by appending one's signature.

6. CONFORMITY CERTIFICATE AND DATA SHEET

The operator fulfils the data sheet.

7. DOCUMENTS CLASSIFICATION

The instructions and calculation sheets are stored.

8. OUTSOURCING

When the verification is made by a subcontractor, the contract conditions are very important. The specifications must include clearly the criteria to comply with to declare conformity.

X

NEW STANDARDS IEC 60068-3

Following standards IEC 60068-3 issue, which present many similarities with standard NF X 15-140, this last should be suppressed from the Afnor catalogue at medium term, for the sake of European harmonization, but nothings forbids carrying out characterization and verification of thermostatic and climatic according to an outdated standard.

Standard IEC 60068-3-11 proposes to characterize an chamber both empty and loaded:

- characterization of an empty chamber, requires one sensor at each corner and one ninth in the middle, i.e. nine sensors for volumes smaller than 2 m³ and fourteen sensors for larger volumes,
- characterization of a loaded chamber requires the same sensors locations, but without the center sensor.

"Stabilization is achieved when all the mean values (temperature and humidity) are constant."

Gradient is the maximum difference in mean value

valeur moyenne dans le temps, entre deux points distincts situés dans l'espace de travail, après stabilisation.

Actuellement, la norme CEI est incomplète au sujet de la partie vérification et jugement de conformité du paramètre mesuré par rapport à des spécifications demandées pour la plupart des utilisateurs.

XI CONTRÔLE ANNEXE

1. PRINCIPE

Lorsque l'enceinte est munie d'un capteur indépendant relié à un système de supervision (de type GTC, pour gestion technique centralisée, par exemple), il est recommandé de contrôler la fonctionnalité de la chaîne de supervision par rapport au cahier des charges de l'utilisateur. Le système de supervision est utilisé pour surveiller en continu les conditions ambiantes à l'intérieur de l'enceinte et déclencher des alarmes si celles-ci ne sont pas respectées.

Le *tableau 1* présente l'exemple d'un cahier des charges pour la surveillance d'une enceinte climatique. Dans ce cadre, il faut vérifier que :

- la réponse du capteur indépendant est exacte,
- les alarmes se déclenchent effectivement pour les seuils min., max. et temporisation définis,
- la temporisation correspond à la durée admissible pour un dépassement de seuil sans déclenchement d'alarme.

2. EMPLACEMENT DE LA SONDE GTC

Il est défini durant les phases de qualification (cartographie) et dépend de l'utilisation (niveau et type de charge) de l'enceinte.

3. MÉTHODE

3.1. Avant la mise en service

Avant d'être connecté au système de supervision, le capteur indépendant doit avoir fait l'objet d'un étalonnage (certificat) afin de s'assurer que ses réponses (écarts max. tolérés de +1 °C et +2 % HR, par

moyenne at any moment in time, between two separate points in the working space, after stabilization.

Currently, the IEC standard is incomplete regarding the part that concerns verification and measured parameter conformity judgement towards the users' most common specifications.

XI MONITORING

1. PRINCIPLE

When the chamber is equipped with an independent sensor connected to a remote monitoring system (e.g. type CTM for centralized technical monitoring), it is recommended to check the functioning of the monitoring chain against the user specifications. The monitoring system is used to monitor continuously ambient conditions inside the chamber and activate alarms if they are off limit.

Table 1 presents an example of specifications for monitoring a climatic chamber. In this aspect, one must verify that:

- the independent sensor response is accurate,
- alarms activate effectively for the defined minimum, maximum thresholds and alarm delay,
- alarm delay refers to the admissible alarm activation delay after a limit is exceeded.

2. CTM SENSOR LOCATION

Its location is determined during qualification phases (mapping) and depends on the chamber use (load amount and type).

3. METHOD

3.1. Before commissioning

Before being connected to the monitoring system, the independent sensor must have been calibrated (certificate) so as to assure its responses (MPE: +1 °C and +2 % RH, for instance) comply with the speci-

Table 1. Exemple d'un cahier des charges pour la surveillance d'une enceinte climatique.

Table 1. Example of specifications for monitoring a climatic chamber.

| Normes ICH à respecter ICH criteria to respect | Enceinte climatique n° XYZ à 40 °C et 75 % HR/Climatic chamber n° XYZ at 40 °C and 75%RH | | | |
|---|--|--------------------------|------------------------------|--|
| | Seuil min. Min. limit | Seuil max. Max. limit | Temporisation Alarm delay | Actions/Actions |
| | Limites de surveillance GTC/Limits of CTM survey | | | |
| | 38 à 42 °C 38 to 42 °C | 42 °C - 80 % HR | 5 min | Intervenir dans les 24 heures Call out within 24 hours |
| | Limites d'alerte GTC/Limits of CTM alert | | | |
| 70 à 80 % HR 70 to 80 % RH | 35 °C - 75 % HR | 45 °C - 85 % HR | 5 min | Intervenir immédiatement. Arrêter l'enceinte. Dépanner ou transférer les échantillons dans l'enceinte n° UVW Call out immediately. Stop the chamber repair or transfer the sample in the chamber No. UVW |

exemple) sont compatibles avec les valeurs limites fixées dans le cahier des charges ($\pm 2^\circ\text{C}$ et $\pm 5\%$ HR, puis $\pm 5^\circ\text{C}$ et $\pm 10\%$ HR dans l'exemple précédent) ; si celui-ci est raccordé à un convertisseur, l'étalonnage devra être réalisé sur l'ensemble.

Au final, la chaîne complète de mesure doit être étalonnée (capteur-convertisseur-PC).

Dans le cas contraire :

- soit le capteur est calibré afin d'obtenir des écarts admissibles, puis réétalonné,
- soit les écarts sont pris en compte par le biais du logiciel de supervision.

3.2. En service

Après connexion au système de supervision, puis de façon périodique, il faut s'assurer que le système fonctionne selon le principe énoncé au § XI.1. À cette fin, on utilise le matériel décrit au chapitre suivant.

4. MATÉRIEL

- Un système générateur de la grandeur à mesurer (hygrométrie et /ou température). Si l'enceinte à laquelle est rattaché le capteur indépendant ne contient pas d'échantillons, celle-ci peut être utilisée en tant que générateur, sinon utiliser une autre enceinte (vide).
- Un étalon (référence) pour mesurer la grandeur générée.

Note : on ne doit pas utiliser l'enceinte pour étalonner la sonde GTC car elle n'est pas conçue pour générer des températures à différents points de consigne.

5. VÉRIFICATION

5.1. Traçabilité des opérations

Afin de garantir la traçabilité des opérations de contrôle, il est recommandé d'utiliser un document préétabli et spécifique. Ce document peut être formalisé sous forme de « fiche d'instructions » dont un exemple est donné en annexe A2.

L'opérateur dispose ainsi d'une trame de la chronologie des actions à mener et complète le document au fur et à mesure, en temps réel. Toutes les données imprimées numériques ou graphiques issues du système de supervision et relatives aux § XI.5.3 et XI.5.4 seront conservées en tant que données brutes.

5.2. Stabilisation

Programmer le système générateur avec les consignes de fonctionnement de l'enceinte concernée. Pour l'exemple du § XI.1, ce sera 40°C et 75% HR. Introduire le capteur indépendant et le capteur étalon dans le système générateur.

L'introduction des capteurs engendre des perturbations ambiantes. Il est donc nécessaire, avant de procéder au relevé des données, d'attendre que la

fications limit values ($\pm 2^\circ\text{C}$ and $\pm 5\%$ RH, then $\pm 5^\circ\text{C}$ et $\pm 10\%$ RH in the previous example), if it is connected to a converter, the calibration will have to be carried out for the whole chain.

Finally, the whole measuring chain must be calibrated (sensor-converter-PC).

In the opposite case:

- either the sensor is calibrated to give admissible measurements, and then recalibrated,
- or the systematic errors are taken into account through the monitoring program.

3.2. In use

After the monitoring system connection is achieved, then, on a periodic basis, one must assure that the system is functioning according to § XI.1. To this end, one uses the equipment described in the following chapter.

4. EQUIPMENT

- A system generating the quantities to be measured (humidity and /or temperature). If the chamber to which the independant sensor is attached does not contain samples, it can be used as a generator, otherwise, use another one (empty).
- A standard (reference) to measure the quantity generated.

Note: one must not use the chamber to calibrate the CTM sensor because it is not built to generate temperatures at different setpoints.

5. VERIFICATION

5.1. Operations traceability

In order to guarantee the control process traceability, it is recommended to use a predefined specific template. This document may be formalised as an "instruction form" (an example is given in appendix A2).

The operator has a frame of the chronology of actions to carry out and fills in the document simultaneously. All the printed numeric or graphic data from the monitoring system and relatives to § XI.5.3 and XI.5.4 will be stored as raw data.

5.2. Stabilization

Program the generator system with the preset specifications of the concerned chamber. For the example in § XI.1, it is 40°C and 75% RH. Insert the independant sensor and the reference sensor in the generator.

The insertion of the sensors generates ambient disturbances. It is therefore necessary, before carrying out the data recording, to wait for temperature and/

température et/ou l'hygrométrie se stabilisent. Pour cela, attendre que les valeurs de température et/ou d'hygrométrie affichée(s) par l'étalon correspondent aux consignes programmées, sur une durée suffisante (30 min au minimum).

5.3. Contrôle du capteur indépendant

Malgré l'étalonnage du capteur indépendant (§ XI.3.1), il est nécessaire de s'assurer que le câblage électrique reliant le capteur à la visualisation du système de supervision n'introduit pas de distorsion majeure au niveau du recueil de l'information.

Pour cela, on calcule l'écart entre la valeur relevée par l'étalon et la valeur affichée sur l'écran de supervision.

Par exemple, l'écart devra être au maximum de +1 °C et +2 % HR (voir § XI.3.1).

Si la distorsion est majeure, il faut procéder comme indiqué au § XI.3.1.

5.4. Vérification de la fonctionnalité des alarmes

Programmer le système générateur avec une valeur supérieure ou inférieure à la valeur du seuil d'alarme à tester. Pour le cahier des charges du § XI.1, pour un seuil d'alarme de 38 °C, on programmera, par exemple, 37 °C.

Remarque : il est important de tenir compte des caractéristiques de la régulation du système générateur afin de ne pas dépasser le deuxième seuil d'alarme s'il en existe un.

Dès que la supervision indique une valeur inférieure ou supérieure au seuil à tester (valeur inférieure à 38 °C, pour notre exemple), relever cette valeur, celle indiquée par l'étalon ainsi que l'heure correspondante, puis attendre jusqu'à ce que l'alarme se déclenche. À ce moment-là, relever les valeurs indiquées par la supervision, l'étalon ainsi que l'heure correspondante.

Tester tous les seuils d'alarme de température et/ou d'hygrométrie de la même façon.

5.5. Exploitation des résultats

Lorsque tous les seuils d'alarme ont été testés, on peut conclure à la fonctionnalité de la chaîne de supervision si :

- les alarmes se sont déclenchées conformément au cahier des charges (température, hygrométrie, temporisation),
- les valeurs (température, hygrométrie et heure) des données imprimées par le système de supervision correspondent à celles relevées par l'opérateur,
- la procédure d'appel sur Télécourrier (bipper) ou Alphapage (téléphone) a été réalisée et enregistrée par le système de supervision (si cela a été prévu).

Si l'un des points ci-dessus n'est pas observé, procéder à :

- une recherche d'anomalie : l'exactitude de chaque valeur de paramétrage du système de supervision

or humidity to stabilize. Wait until temperature and/or humidity values displayed by the standard correspond with preset specifications, over a sufficient time (30 min at least).

5.3. Control of the independant sensor

In spite of the independant sensor calibration (§ XI.3.1), it is necessary to ensure that the electrical wiring connecting the sensor to the monitoring system display does not generate major disturbance for the collection of information.

To this end, one calculates the deviation between the standard value and the value displayed on the screen.

For instance, the deviation must be +1 °C and +2% RH maximum (see § XI.3.1).

If the disruption is greater, one must proceed as indicated in § XI.3.1.

5.4. Verification of alarms functioning

Program the generator with a value higher or lower than the alarm threshold value to be tested. For specifications shown in § XI.1, for a lower threshold of 38 °C, one may program 37 °C, for instance.

Note: it is important to take into account the generator regulation characteristics so as not to overtake the second alarm limit if there is one.

As soon as monitoring shows a value lower or higher than the limit to be tested (here: value lower than 38 °C), record this value, the standard value, and current time, then wait until the alarm activates. When it occurs, record the monitor and standard values and current time.

Test all temperature and/or humidity alarm thresholds the same way.

5.5. Results presentation

When all the alarm thresholds have been tested, one can conclude on the good monitoring chain functioning if:

- alarms activate according to the specifications (temperature, humidity, alarm delay),
- monitoring system printed data values (temperature, humidity and time) are the same as the ones recorded by the operator,
- the call procedure (beeper, e-mail, telephone, etc.) has been made and recorded by the monitoring system (if planned).

If one of the above points is not respected, proceed to:

- anomaly search: the correctness of each monitoring system parameter value must be checked,

devra, notamment, être vérifiée,
- l'analyse de l'historique des données relatives à l'enceinte afin de vérifier l'observance des conditions ambiantes requises pour celle-ci.

Lorsque l'anomalie a été décelée et levée, procéder à un nouveau contrôle de la chaîne de supervision.

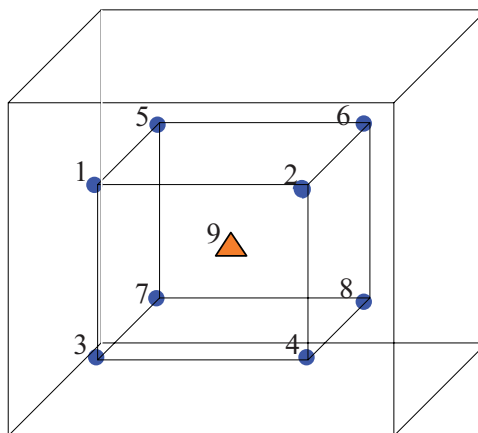
- the chamber data history analysis in order to verify the required ambient conditions are respected.

When the anomaly has been detected and cured, proceed anew to the monitoring system tests.

Annexe 1A - Exemple de fiche d'instructions Appendix 1A - Example of instructions form

| | | | |
|---|----------------|---|---------------------------------|
| SOCIÉTÉ - COMPANY : | XXXXX | VÉRIFICATION DE L'ENCEINTE CLIMATIQUE N° ZZ VERIFICATION OF THE CLIMATIC CHAMBER N° ZZ | |
| MATÉRIEL À UTILISER - EQUIPMENT TO USE | | | |
| DESCRIPTION - DESCRIPTION | MARQUE - BRAND | N° D'IDENTIFICATION IDENTIFICATION N° | N° DE PROCÉDURE PROCEDURE N° |
| Système d'acquisition - Acquisition system | XXXXX | 007954 | PRO0056 |
| Générateur de température Temperature generator | XXXXX | 007955 | PRO0610 |
| Capteurs de température de référence Reference temperature sensor | XXXXX | 1 à 8- 1 to 8 | PRO0056 |
| Thermo-hygromètre de référence Reference thermo-hygrometer | UU | 001231 | PRO0057 |
| ÉTALONNAGE DES CAPTEURS - Calibration of the sensors | | | |
| N° Certificat Étalonnage du thermo-hygromètre : Thermo-hygrometer calibration certificate n°: | | | Date : |
| N° Certificat Étalonnage des capteurs de température : Temperature sensors calibration certificate n°: | | | Date : |
| CONFIGURATION - Configuration | | | |
| Date - date | 13/08/2008 | Heure - Time | 11h00 |
| | | Signature | |

- Capteurs de température
Temperature sensors
- ▲ Thermo-hygromètre
Thermo-hygrometer



- Configurer sur la centrale, les paramètres d'acquisition des températures et hygrométrie.
Configure acquisition parameters for temperature and Humidity on the station.
- Noter les valeurs de consigne en température - Note the preset values for temperature en hygrométrie - for humidity
- Noter les valeurs indiquées par l'afficheur de l'enceinte :
Note the value indicated by the chamber display:
- Placer les capteurs de température selon le schéma ci-dessus et positionner le thermo-hygromètre au centre du volume. Put the temperature sensors according to the diagram above and put the thermo-hygrometer in the center of the volume.
- Noter sur le schéma le numéro d'identification des capteurs.
Note on the diagram the sensors identification number.
- Vérifier le bon fonctionnement de l'imprimante et la quantité de papier restante (si applicable).
Check the good operation of the printer and the remaining quantity of paper (if applicable).
- Lancer le programme d'acquisition sur une durée minimum de 6 heures, et vérifier sur l'écran du PC qu'aucun des capteurs ne présente un dysfonctionnement (valeur aberrante ou mention "OVRNG", par exemple).
Start the acquisition software for at least 6 hours, and check on the PC monitor there is no sensor failure (e.g. wrong value, or mention "OVRNG").
- Avant d'arrêter le système d'acquisition, noter les valeurs indiquées par l'enceinte :
Before stopping the acquisition system, record values indicated by the chamber:
- Arrêter le programme d'acquisition. Stop the acquisition program.
- Démonter les capteurs - Remove sensors

| |
|----------|
| 40 °C |
| 75 %HR |
| 40,2 °C |
| 74,0 %HR |

OK

| |
|----------|
| 40,2 °C |
| 74,2 %HR |

Date - date

13/08/2010

Heure - Time

18h10

Signature

Annexe 1B - Exemple de fiche d'instructions

Appendix 1B - Example of instructions form

| | | | | |
|--|-----------------------|---|--|-----------|
| Société - <i>COMPANY</i> : | XXXXX | CONTRÔLE DES ALARMES GTC - <i>CONTROL OF THE CTM ALARMS</i> | | |
| MATÉRIEL À UTILISER - <i>EQUIPMENT TO USE</i> | | | | |
| DESCRIPTION - <i>DESCRIPTION</i> | MARQUE - <i>BRAND</i> | N° D'IDENTIFICATION <i>IDENTIFICATION N°</i> | N° DE PROCÉDURE <i>PROCEDURE N°</i> | |
| Système de supervision - <i>Supervision system</i> | XXXXX | 006351 | PRO0139 | |
| Enceinte climatique de référence - <i>Reference climatic chamber</i> | XXXXX | 005914 | PRO0520 | |
| Thermo-hygromètre de référence - <i>Reference thermo-hygrometer</i> | UU | 001231 | PRO0057 | |
| CONFIGURATION - <i>CONFIGURATION</i> | | | | |
| Date - <i>date</i> | 14/08/2010 | Heure - <i>Time</i> | 11h30 | Signature |

1. Positionner l'enceinte climatique de référence à coté de l'enceinte ZZ dans laquelle se situe le capteur YY relié au système de supervision GTC.

Place the reference climatic chamber next to the chamber ZZ in which the sensor YY is placed and connected to the CTM supervision system.

OK

2. Extraire le capteur (sans le déconnecter de son câblage) de son environnement et l'introduire ainsi que le thermo-hygromètre de référence UU, dans l'enceinte de référence.

Extract the sensor (without disconnecting its wiring) of its chamber and insert it with the UU reference thermo-hygrometer, in the reference chamber.

OK

3. Programmer l'enceinte de référence aux valeurs de fonctionnement de l'enceinte ZZ

Program the reference chamber with the operating values of the chamber ZZ

OK

4. Laisser stabiliser pendant 2 heures avant de procéder au contrôle du capteur YY.

Let stabilise for 2 hours before proceeding to the YY sensor control.

Heure de début stabilisation
Stabilization start time

12h30

Heure de fin de stabilisation
Stabilization end time

14h30

CONTRÔLE DU CAPTEUR N° YY - *CONTROL OF THE SENSOR N° YY*

1. Noter dans le tableau ci-dessous, les valeurs indiquées. *Record in the table below, the indicated values.*

| Date - <i>Date</i> | 14/08/10 | Heure - <i>Time</i> | 14H50 | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Régime stabilisé <i>Stabilised system</i> | Enceinte réf. <i>Chamber Ref.</i> | Capteur YY <i>Sensor yy</i> | Capteur réf. UU <i>Sensor Ref. UU</i> | Écart <i>Deviation</i> | Tolérance <i>MPE</i> | Statut <i>Status</i> |
| Température <i>Temperature</i> | 40,0 °C | 40,0 °C | 40,0 °C | 0,0 °C | ± 1,0 °C | Conforme <i>Conform</i> |
| Humidité <i>Humidity</i> | 75 %HR | 74,3 %HR | 75,7 %HR | 1,4 %HR | ± 3,0 %HR | Conforme <i>Conform</i> |

2. Si le statut est "Non conforme", procéder au calibrage du capteur YY selon la procédure PRO 0452, puis recommencer les opérations ci-dessus. *If the status is "Non conform", proceed to the calibration of the YY sensor according to the procedure PRO 0452, then start the above operations all over again.*

FONCTIONNALITE DES ALARMES DE TEMPERATURE - *TEMPERATURE ALARM FUNCTION TESTS*

1. Programmer sur l'enceinte de référence la 1^{re} consigne du seuil d'alarme.
Program the first limit alarm preset for the reference chamber.
2. Lorsque la valeur lue sur le PC de la GTC (sonde YY), dépasse le seuil de consigne, la noter ainsi que celle indiquée par le capteur de référence UU dans le tableau ci-dessous. Noter l'heure correspondante.
When the value read on the CTM PC (YY probe), overtakes the preset limit, note it as the one indicated by the UU reference sensor in the table below. Note the current time.
3. Procéder de la même façon lorsque l'alarme GTC se déclenche.
Proceed by the same way when the CTM alarm activates.
4. Suivre la même méthodologie pour la 2^e consigne de température et d'hygrométrie.
Follow the same method for the second preset temperature and humidity.

| Follow the same method for the second preset temperature and humidity. | | | | | | |
|--|---------|---|-------|---|-------|-------------------------------------|
| Consigne seuil alarme <i>Alarm limit orders</i> | | Dépassement du seuil <i>Limit overtaking</i> | | Déclenchement alarme GTC <i>CTM alarm activation</i> | | Durée écoulée <i>Issued time</i> |
| 42°C | GTC | 42,1 °C | 15h04 | 44,1 °C | 15h09 | 5 min |
| | REF. UU | 42,6 °C | *** | 44,4 °C | *** | *** |
| 38°C | GTC | 37,9 °C | 15h38 | 36,2 °C | 15h43 | 5 min |
| | REF. UU | 38,3 °C | *** | 35,8 °C | *** | *** |

Date - *date*

14/08/2010

Heure - *Time*

15h50

Signature

Annexe 2 - Exemple de données issues du fichier informatique

Appendix 2 - Example of data issued by the computer file

N° capteur - *sensor n°*

| Date | Time | Dtmp-101 | Dtmp-102 | Dtmp-103 | Dtmp-104 | Dtmp-105 | Dtmp-106 | Dtmp-107 | Dtmp-108 | Dtmp-109 | Dmax | Dch-mx |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|--------|
| 14/08/2008 | 18:02:24 | 11,91 | 14,81 | 13,00 | 11,91 | 10,87 | 9,69 | OVRNG | 8,68 | 6,98 | 14,81 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:02:30 | 11,87 | 14,79 | 12,98 | 11,87 | 10,83 | 9,65 | OVRNG | 8,66 | 6,96 | 14,79 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:03:00 | 11,70 | 14,69 | 12,81 | 11,69 | 10,64 | 9,50 | OVRNG | 8,52 | 6,84 | 14,69 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:03:30 | 11,55 | 14,64 | 12,67 | 11,54 | 10,50 | 9,38 | OVRNG | 8,40 | 6,77 | 14,64 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:04:00 | 11,37 | 14,54 | 12,51 | 11,36 | 10,33 | 9,25 | OVRNG | 8,27 | 6,68 | 14,54 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:04:30 | 11,23 | 14,46 | 12,37 | 11,21 | 10,19 | 9,11 | OVRNG | 8,16 | 6,61 | 14,46 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:05:00 | 11,10 | 14,40 | 12,24 | 11,05 | 10,06 | 9,01 | OVRNG | 8,04 | 6,55 | 14,40 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:05:30 | 10,95 | 14,31 | 12,09 | 10,89 | 9,91 | 8,87 | OVRNG | 7,93 | 6,46 | 14,31 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:06:00 | 10,81 | 14,25 | 11,96 | 10,75 | 9,78 | 8,76 | OVRNG | 7,81 | 6,39 | 14,25 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:06:30 | 10,67 | 14,19 | 11,82 | 10,58 | 9,63 | 8,62 | OVRNG | 7,70 | 6,34 | 14,19 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:07:00 | 10,54 | 14,10 | 11,68 | 10,45 | 9,52 | 8,50 | OVRNG | 7,62 | 6,24 | 14,10 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:07:30 | 10,41 | 14,03 | 11,56 | 10,30 | 9,39 | 8,40 | OVRNG | 7,52 | 6,18 | 14,03 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:08:00 | 10,27 | 13,96 | 11,43 | 10,15 | 9,26 | 8,28 | OVRNG | 7,40 | 6,10 | 13,96 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:08:30 | 10,16 | 13,88 | 11,30 | 10,02 | 9,16 | 8,18 | OVRNG | 7,33 | 6,02 | 13,88 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:09:00 | 10,03 | 13,81 | 11,17 | 9,88 | 9,03 | 8,09 | OVRNG | 7,24 | 5,97 | 13,81 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:09:30 | 9,91 | 13,72 | 11,06 | 9,74 | 8,92 | 7,99 | OVRNG | 7,13 | 5,88 | 13,72 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:10:00 | 9,81 | 13,65 | 10,93 | 9,61 | 8,80 | 7,89 | OVRNG | 7,04 | 5,82 | 13,65 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:10:30 | 9,69 | 13,58 | 10,82 | 9,48 | 8,70 | 7,80 | OVRNG | 6,97 | 5,74 | 13,58 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:11:00 | 9,55 | 13,48 | 10,68 | 9,33 | 8,56 | 7,71 | OVRNG | 6,86 | 5,64 | 13,48 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:11:30 | 9,46 | 13,42 | 10,59 | 9,24 | 8,49 | 7,66 | OVRNG | 6,79 | 5,59 | 13,42 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:12:00 | 9,32 | 13,32 | 10,46 | 9,08 | 8,38 | 7,55 | OVRNG | 6,69 | 5,48 | 13,32 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:12:30 | 9,22 | 13,25 | 10,35 | 8,97 | 8,26 | 7,46 | OVRNG | 6,61 | 5,41 | 13,25 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:13:00 | 9,13 | 13,18 | 10,24 | 8,85 | 8,17 | 7,39 | OVRNG | 6,54 | 5,35 | 13,18 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:13:30 | 9,00 | 13,08 | 10,12 | 8,71 | 8,06 | 7,30 | OVRNG | 6,45 | 5,25 | 13,08 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:14:00 | 8,89 | 13,02 | 10,01 | 8,61 | 7,97 | 7,22 | OVRNG | 6,38 | 5,19 | 13,02 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:14:30 | 8,78 | 12,93 | 9,89 | 8,49 | 7,85 | 7,12 | OVRNG | 6,29 | 5,10 | 12,93 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:15:00 | 8,67 | 12,87 | 9,80 | 8,38 | 7,76 | 7,05 | OVRNG | 6,22 | 5,05 | 12,87 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:15:30 | 8,58 | 12,79 | 9,71 | 8,29 | 7,67 | 6,99 | OVRNG | 6,16 | 4,98 | 12,79 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:16:00 | 8,46 | 12,73 | 9,59 | 8,17 | 7,57 | 6,90 | OVRNG | 6,08 | 4,90 | 12,73 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:16:30 | 8,36 | 12,64 | 9,49 | 8,06 | 7,47 | 6,82 | OVRNG | 5,99 | 4,83 | 12,64 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:17:00 | 8,27 | 12,59 | 9,39 | 7,95 | 7,38 | 6,75 | OVRNG | 5,93 | 4,76 | 12,59 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:17:30 | 8,15 | 12,49 | 9,27 | 7,83 | 7,28 | 6,67 | OVRNG | 5,85 | 4,65 | 12,49 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:18:00 | 8,05 | 12,42 | 9,17 | 7,75 | 7,19 | 6,59 | OVRNG | 5,79 | 4,60 | 12,42 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:18:30 | 7,96 | 12,35 | 9,08 | 7,66 | 7,11 | 6,51 | OVRNG | 5,71 | 4,52 | 12,35 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:19:00 | 7,85 | 12,26 | 8,97 | 7,53 | 6,99 | 6,43 | OVRNG | 5,63 | 4,44 | 12,26 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:19:30 | 7,76 | 12,22 | 8,88 | 7,45 | 6,92 | 6,36 | OVRNG | 5,57 | 4,39 | 12,22 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:20:00 | 7,67 | 12,16 | 8,79 | 7,36 | 6,83 | 6,28 | OVRNG | 5,50 | 4,33 | 12,16 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:20:30 | 7,56 | 12,09 | 8,70 | 7,26 | 6,74 | 6,22 | OVRNG | 5,44 | 4,27 | 12,09 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:21:00 | 7,47 | 12,00 | 8,61 | 7,17 | 6,65 | 6,14 | OVRNG | 5,37 | 4,16 | 12,00 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:21:30 | 7,38 | 11,95 | 8,53 | 7,09 | 6,57 | 6,08 | OVRNG | 5,31 | 4,11 | 11,95 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:22:00 | 7,28 | 11,88 | 8,43 | 6,99 | 6,48 | 6,00 | OVRNG | 5,23 | 4,06 | 11,88 | 102 |
| 14/08/2008 | 18:22:30 | 7,30 | 11,81 | 8,35 | 6,91 | 6,40 | 5,94 | OVRNG | 5,18 | 4,02 | 11,81 | 102 |

Annexe 3A - Qualification d'une enceinte climatique Appendix 3A - Qualification of the climatic chamber

Les calculs sont réalisés à partir des données du fichier informatique de l'annexe B.

The calculations are based on the data of the computer file in the appendix B.

CALCULS EN TEMPÉRATURE - *CALCULATIONS IN TEMPERATURE*

Calculs liés à l'homogénéité - *Calculations related to gradient*

| N° capteur <i>Sensor n°</i> | TEMPÉRATURE THERMOCOUPLES - <i>Thermocouples temperature</i> | | | | | | | | TEMP. SONDE HYGRO <i>Hygro. probe Temp.</i> |
|--|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | T9 |
| Nombre de relevés <i>n</i> <i>Number of readings n</i> | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 |
| X_{mj} | 39,57 °C | 39,65 °C | 39,63 °C | 39,66 °C | 39,53 °C | 39,52 °C | 39,44 °C | 39,47 °C | 39,47 °C |
| Écart-type s_j <i>Standard-deviation s_j</i> | 0,080 °C | 0,081 °C | 0,076 °C | 0,080 °C | 0,077 °C | 0,074 °C | 0,073 °C | 0,085 °C | 0,060 °C |
| U_{ej} | 0,167 °C | 0,167 °C | 0,167 °C | 0,167 °C | 0,167 °C | 0,167 °C | 0,167 °C | 0,167 °C | 0,300 °C |
| U_{mj} | 0,33 °C | 0,33 °C | 0,33 °C | 0,33 °C | 0,33 °C | 0,33 °C | 0,33 °C | 0,33 °C | 0,60 °C |
| U_j | 0,37 °C | 0,37 °C | 0,37 °C | 0,37 °C | 0,37 °C | 0,37 °C | 0,36 °C | 0,37 °C | 0,61 °C |
| $X_{mj} + U_{mj}$ | 39,90 °C | 39,99 °C | 39,97 °C | 39,99 °C | 39,86 °C | 39,85 °C | 39,77 °C | 39,80 °C | 40,07 °C |
| $X_{mj} - U_{mj}$ | 39,24 °C | 39,32 °C | 39,30 °C | 39,32 °C | 39,19 °C | 39,19 °C | 39,10 °C | 39,14 °C | 38,87 °C |
| $X_{mj} + U_j$ | 39,94 °C | 40,02 °C | 40,00 °C | 40,03 °C | 39,89 °C | 39,89 °C | 39,80 °C | 39,85 °C | 40,08 °C |
| $X_{mj} - U_j$ | 39,20 °C | 39,28 °C | 39,27 °C | 39,29 °C | 39,16 °C | 39,15 °C | 39,07 °C | 39,10 °C | 38,86 °C |
| STATUT <i>Status</i> | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |

Le statut est défini à partir des limites inférieure (38,0 °C) et supérieure (42,0 °C), avec $k = 2$

The status is based on the lower limit = 38.0 °C and upper = 42.0 °C with $k=2$.

Homogénéité de l'environnement GX_E - *Environment gradient GX_E* = 1,20 °C

Homogénéité maximale GX_M - *Maximal gradient GX_M* = 1,22 °C

Calculs liés à la stabilité - *Calculations related to fluctuation*

| N° capteur <i>Sensor n°</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | T9 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Valeur max. <i>Max. value</i> | 39,78 °C | 39,84 °C | 39,81 °C | 39,85 °C | 39,71 °C | 39,70 °C | 39,62 °C | 39,70 °C | 39,54 °C |
| Valeur min. <i>Min. value</i> | 39,24 °C | 39,30 °C | 39,31 °C | 39,32 °C | 39,19 °C | 39,21 °C | 39,13 °C | 39,12 °C | 39,19 °C |
| Stabilité <i>Stability</i> | 0,54 °C | 0,54 °C | 0,5 °C | 0,53 °C | 0,52 °C | 0,49 °C | 0,49 °C | 0,58 °C | 0,35 °C |

Stabilité maximale - *Maximal fluctuation* = 0,58 °C

Calculs liés à la température de l'air - *Calculations related to air temperature*

Écart-type de répétabilité S_r = 0,0069 °C

Écart-type de répétabilité S_R = 0,0801 °C

Repeatability standard deviation $S_r = 0.0069$ °C

Repeatability standard deviation $S_R = 0.0801$ °C

Consigne = 40,0 °C

EMT = ± 2 °C

Preset = 40,0 °C

MPE = ± 2 °C

X_{air} = 39,55 °C

(Consigne - X_{air}) = Δ = 0,45 °C

Incertitude élargie U = 0,34 °C

(*Preset* - X_{air}) = Δ = 0,45 °C

Expanded uncertainty U = 0,34 °C

($\Delta + U$) = 0,79 °C

($\Delta - U$) = 0,11 °C

Conforme *Conform*

Annexe 3B - Qualification d'une enceinte climatique

Appendix 3B - Qualification of the climatic chamber

Les calculs sont réalisés à partir des données du fichier informatique de l'[annexe B](#).

The calculations are based on the computer file data in [appendix B](#).

CALCULS EN HYGROMÉTRIE - CALCULATIONS IN HUMIDITY

Calculs liés à l'homogénéité - Calculations related to gradient

| N° capteur Sensor n° | HYGROMÉTRIE CALCULÉE / THERMOCOUPLES Calculated Humidity / thermocouples | | | | | | | | SONDE HYGRO Hygro. probe |
|--|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | hum9 |
| Nombre de relevés n Number of readings n | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 | 1831 |
| H_{mj} | 70,63 %HR | 70,00 %HR | 70,07 %HR | 70,64 %HR | 70,74 %HR | 70,79 %HR | 71,03 %HR | 70,78 %HR | 71,65 %HR |
| Écart-type S_j Standard deviation s_j | 0,241 %HR | 0,232 %HR | 0,237 %HR | 0,234 %HR | 0,179 %HR | 0,237 %HR | 0,230 %HR | 0,261 %HR | 0,141 %HR |
| u_{ej} | 0,167 %HR | 0,167 %HR | 0,167 %HR | 0,167 %HR | 0,167 %HR | 0,167 %HR | 0,167 %HR | 0,167 %HR | 0,30 %HR |
| U_{mj} | 0,35 %HR | 0,34 %HR | 0,35 %HR | 0,34 %HR | 0,34 %HR | 0,35 %HR | 0,34 %HR | 0,35 %HR | 0,60 %HR |
| U_j | 0,59 %HR | 0,57 %HR | 0,58 %HR | 0,57 %HR | 0,49 %HR | 0,58 %HR | 0,57 %HR | 0,62 %HR | 0,66 %HR |
| $H_{mj} + U_{mj}$ | 70,97 %HR | 70,35 %HR | 70,42 %HR | 70,99 %HR | 71,08 %HR | 71,13 %HR | 71,37 %HR | 71,13 %HR | 72,25 %HR |
| $H_{mj} - U_{mj}$ | 70,28 %HR | 69,66 %HR | 69,73 %HR | 70,30 %HR | 70,40 %HR | 70,44 %HR | 70,69 %HR | 70,44 %HR | 71,05 %HR |
| $H_{mj} + U_j$ | 71,21 %HR | 70,57 %HR | 70,66 %HR | 71,22 %HR | 71,23 %HR | 71,37 %HR | 71,60 %HR | 71,40 %HR | 72,31 %HR |
| $H_{mj} - U_j$ | 70,04 %HR | 69,43 %HR | 69,49 %HR | 70,07 %HR | 70,25 %HR | 70,21 %HR | 70,46 %HR | 70,16 %HR | 70,99 %HR |
| STATUT Status | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |

Le statut est défini à partir des limites inférieure (70,0 %HR) et supérieure (80,0 %HR), avec $k = 2$

The status is based on lower limit = 70.0 RH and upper limit = 80.0 RH with $k=2$

Homogénéité de l'environnement G_{we} - *Environment gradient G_{we}* = 2,59 %HR

Homogénéité maximale G_{wm} - *Maximal gradient G_{wm}* = 2,88 %HR

Calculs liés à la stabilité - Calculations related to fluctuation

| N° capteur Sensor n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | hum9 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Valeur max. Max. value | 70,96 %HR | 70,37 %HR | 70,45 %HR | 71,00 %HR | 71,07 %HR | 71,11 %HR | 71,34 %HR | 71,19 %HR | 71,91 %HR |
| Valeur min. Min. value | 70,16 %HR | 69,56 %HR | 69,62 %HR | 70,19 %HR | 70,30 %HR | 70,34 %HR | 70,49 %HR | 70,31 %HR | 71,36 %HR |
| Stabilité Stability | 0,80 %HR | 0,81 %HR | 0,82 %HR | 0,80 %HR | 0,77 %HR | 0,77 %HR | 0,85 %HR | 0,88 %HR | 0,55 %HR |

Stabilité maximale - *Maximal stability* = 0,88%HR

Calculs liés à l'humidité de l'air - Calculations related to air humidity

Écart-type de répétabilité S_r = 0,0351 %HR

Écart-type de reproductibilité S_R = 0,4622 %HR

Repeatability standard deviation S_r = 0.0351 %RH

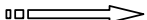
Reproducibility standard deviation S_R = 0.4622 %RH

Consigne - *Preset* = 75,0 %HR EMT - *MPE* = $\pm 5\%$ HR

X_{air} = 70,70 %HR

(Consigne - X_{air}) = Δ = 4,30 %HR Incertitude élargie U = 0,45 %HR

(Preset - X_{air}) = Δ = 4.30 %RH Expanded uncertainty U = 0.45 %RH

$(\Delta + U)$ = 4,75 %HR $(\Delta - U)$ = 3,85 %HR  Conforme *Conform*

Annexe 4 - Pression de vapeur saturante en phase pure au-dessus d'une surface d'eau

Appendix 4 - Saturated vapour pressure in pure phase over water surface

| θ | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| °C | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa | Pa |
| 0 | 611,213 | 615,668 | 620,152 | 624,665 | 629,207 | 633,779 | 638,380 | 643,010 | 647,670 | 652,360 |
| 1 | 657,080 | 661,830 | 666,611 | 671,423 | 676,265 | 681,138 | 686,042 | 690,977 | 695,944 | 700,942 |
| 2 | 705,972 | 711,034 | 716,129 | 721,255 | 726,414 | 731,606 | 736,830 | 742,087 | 747,378 | 752,702 |
| 3 | 758,060 | 763,451 | 768,876 | 774,335 | 779,829 | 785,367 | 790,919 | 796,517 | 802,149 | 807,817 |
| 4 | 813,520 | 819,259 | 825,033 | 830,643 | 836,690 | 842,573 | 848,492 | 854,449 | 860,442 | 866,472 |
| 5 | 872,540 | 878,645 | 884,788 | 890,968 | 897,187 | 903,444 | 909,740 | 916,075 | 922,448 | 928,861 |
| 6 | 935,313 | 941,804 | 948,335 | 954,907 | 961,518 | 968,170 | 974,862 | 981,595 | 988,370 | 995,185 |
| 7 | 1002,04 | 1008,94 | 1015,88 | 1022,86 | 1029,89 | 1036,96 | 1044,07 | 1051,22 | 1058,42 | 1065,66 |
| 8 | 1072,94 | 1080,27 | 1087,64 | 1095,05 | 1102,52 | 1110,02 | 1117,57 | 1125,17 | 1132,81 | 1140,49 |
| 9 | 1148,23 | 1156,01 | 1163,83 | 1171,70 | 1179,62 | 1187,59 | 1195,60 | 1203,66 | 1211,77 | 1219,93 |
| 10 | 1228,13 | 1236,39 | 1244,69 | 1253,04 | 1261,44 | 1269,89 | 1278,39 | 1286,94 | 1295,55 | 1304,20 |
| 11 | 1312,90 | 1321,65 | 1330,46 | 1339,31 | 1348,22 | 1357,18 | 1366,19 | 1375,26 | 1384,38 | 1393,55 |
| 12 | 1402,77 | 1412,05 | 1421,39 | 1430,77 | 1440,21 | 1449,71 | 1459,26 | 1468,87 | 1478,53 | 1488,25 |
| 13 | 1498,02 | 1507,85 | 1517,74 | 1527,68 | 1537,68 | 1547,74 | 1557,86 | 1568,03 | 1578,26 | 1588,56 |
| 14 | 1598,91 | 1609,31 | 1619,78 | 1630,31 | 1640,90 | 1651,55 | 1662,26 | 1673,03 | 1683,86 | 1694,76 |
| 15 | 1705,71 | 1716,73 | 1727,81 | 1738,95 | 1750,16 | 1761,43 | 1772,76 | 1784,16 | 1795,62 | 1807,15 |
| 16 | 1818,74 | 1830,39 | 1842,11 | 1853,90 | 1865,75 | 1877,67 | 1889,66 | 1901,71 | 1913,83 | 1926,02 |
| 17 | 1938,28 | 1950,60 | 1963,00 | 1975,46 | 1987,99 | 2000,59 | 2013,27 | 2026,01 | 2038,82 | 2051,70 |
| 18 | 2064,68 | 2077,68 | 2090,78 | 2103,95 | 2117,20 | 2130,51 | 2143,90 | 2157,37 | 2170,90 | 2184,51 |
| 19 | 2198,20 | 2211,96 | 2225,80 | 2239,71 | 2253,70 | 2267,77 | 2281,91 | 2296,13 | 2310,42 | 2324,80 |
| 20 | 2339,25 | 2363,78 | 2368,39 | 2383,08 | 2397,85 | 2412,70 | 2427,63 | 2442,64 | 2457,73 | 2472,90 |
| 21 | 2488,25 | 2503,49 | 2518,91 | 2534,41 | 2550,00 | 2565,67 | 2581,42 | 2597,26 | 2613,19 | 2629,19 |
| 22 | 2645,29 | 2661,47 | 2677,73 | 2694,09 | 2710,53 | 2727,06 | 2743,67 | 2760,38 | 2777,17 | 2794,05 |
| 23 | 2811,02 | 2828,09 | 2845,24 | 2862,48 | 2879,82 | 2897,24 | 2914,76 | 2932,37 | 2950,07 | 2967,87 |
| 24 | 2985,76 | 3003,74 | 3021,82 | 3040,00 | 3058,27 | 3076,63 | 3095,09 | 3113,65 | 3132,30 | 3151,05 |
| 25 | 3169,90 | 3188,85 | 3207,90 | 3227,04 | 3246,29 | 3265,63 | 3285,08 | 3304,63 | 3324,27 | 3344,02 |
| 26 | 3363,88 | 3383,83 | 3403,89 | 3424,05 | 3444,32 | 3464,68 | 3485,16 | 3505,74 | 3526,42 | 3547,22 |
| 27 | 3568,12 | 3589,12 | 3610,23 | 3631,46 | 3652,79 | 3674,23 | 3695,77 | 3717,43 | 3739,20 | 3761,08 |
| 28 | 3783,07 | 3805,18 | 3827,39 | 3849,72 | 3872,16 | 3894,72 | 3917,39 | 3940,17 | 3963,07 | 3986,08 |
| 29 | 4009,22 | 4032,46 | 4055,83 | 4079,31 | 4102,91 | 4126,63 | 4150,47 | 4174,43 | 4198,51 | 4222,71 |
| 30 | 4247,03 | 4271,47 | 4296,04 | 4320,72 | 4345,53 | 4370,47 | 4395,53 | 4420,71 | 4446,02 | 4471,45 |
| 31 | 4497,01 | 4522,70 | 4548,51 | 4574,46 | 4600,53 | 4626,73 | 4653,06 | 4679,51 | 4706,10 | 4732,83 |
| 32 | 4759,68 | 4786,66 | 4813,78 | 4841,03 | 4868,42 | 4895,93 | 4923,59 | 4951,38 | 4979,30 | 5007,36 |
| 33 | 5035,56 | 5063,90 | 5092,37 | 5120,99 | 5149,74 | 5178,63 | 5207,67 | 5326,84 | 5266,16 | 5295,61 |
| 34 | 5325,21 | 5354,96 | 5384,85 | 5414,88 | 5445,06 | 5475,38 | 5505,85 | 5536,47 | 5567,23 | 5598,14 |
| 35 | 5629,20 | 5660,41 | 5691,77 | 5723,28 | 5754,94 | 5786,75 | 5818,72 | 5850,84 | 5883,11 | 5915,53 |
| 36 | 5948,11 | 5980,84 | 6013,73 | 6046,78 | 6079,99 | 6113,35 | 6146,87 | 6180,55 | 6214,38 | 6248,38 |
| 37 | 6282,54 | 6316,86 | 6351,35 | 6385,99 | 6420,80 | 6455,77 | 6490,91 | 6526,21 | 6561,68 | 6597,32 |
| 38 | 6633,12 | 6669,09 | 6705,23 | 6741,54 | 6778,01 | 6814,66 | 6851,48 | 6888,47 | 6925,64 | 6962,97 |
| 39 | 7000,48 | 7038,17 | 7076,03 | 7114,07 | 7152,28 | 7190,67 | 7229,23 | 7267,98 | 7306,91 | 7346,01 |

Annexe 5 - Table psychrométrique – Humidité relative en %

Appendix 5 - Psychrometric table – Relative humidity in %

| RM, Aéro 808 01 | | T ₁ température du thermomètre sec en °C Dry thermometer temperature T ₁ in °C | | | | | | | | | | |
|---|------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 |
| <div>ΔT Différence entre thermomètre sec et Humidité en % ΔT Deviation between dry thermometer and Humidity in %</div> | 6,0 | 51,20 | 58,68 | 60,85 | 64,08 | 66,66 | 68,76 | 70,51 | 72,00 | 73,29 | 74,43 | 75,15 |
| | 6,1 | 50,47 | 58,04 | 60,27 | 63,55 | 66,17 | 68,30 | 70,07 | 71,58 | 72,89 | 74,03 | 75,08 |
| | 6,2 | 49,74 | 55,40 | 59,69 | 63,02 | 65,68 | 67,84 | 69,64 | 71,17 | 72,50 | 73,67 | 74,71 |
| | 6,3 | 49,01 | 54,78 | 59,11 | 62,50 | 65,19 | 67,38 | 69,21 | 70,76 | 72,10 | 73,29 | 74,38 |
| | 6,4 | 48,29 | 54,12 | 58,64 | 61,97 | 64,70 | 66,93 | 68,78 | 70,35 | 71,71 | 72,91 | 73,99 |
| | 6,5 | 47,57 | 53,49 | 57,87 | 61,45 | 64,22 | 66,47 | 68,35 | 69,94 | 71,32 | 72,54 | 73,63 |
| | 6,6 | 46,85 | 52,85 | 57,40 | 60,93 | 63,74 | 66,02 | 67,92 | 69,53 | 70,93 | 72,16 | 73,27 |
| | 6,7 | 46,14 | 52,22 | 56,83 | 60,41 | 63,26 | 65,57 | 67,49 | 69,13 | 70,55 | 71,79 | 72,91 |
| | 6,8 | 45,42 | 51,59 | 56,27 | 59,80 | 62,78 | 65,12 | 67,07 | 68,73 | 70,16 | 71,42 | 72,55 |
| | 6,9 | 44,71 | 50,97 | 55,71 | 59,38 | 62,30 | 64,67 | 66,85 | 68,32 | 69,77 | 71,05 | 72,19 |
| | 7,0 | 44,00 | 50,31 | 55,14 | 58,87 | 61,82 | 64,23 | 66,23 | 67,92 | 69,39 | 70,68 | 71,84 |
| | 7,1 | 43,30 | 49,72 | 54,58 | 58,36 | 61,35 | 63,78 | 65,81 | 67,52 | 69,01 | 70,32 | 71,48 |
| | 7,2 | 42,59 | 49,10 | 54,03 | 57,83 | 60,88 | 63,34 | 65,39 | 67,13 | 68,63 | 69,95 | 71,13 |
| | 7,3 | 41,89 | 48,49 | 53,48 | 57,34 | 60,41 | 62,90 | 64,97 | 66,73 | 68,25 | 69,59 | 70,78 |
| | 7,4 | 41,19 | 47,87 | 52,92 | 56,84 | 59,91 | 62,46 | 64,56 | 66,34 | 67,87 | 69,22 | 70,43 |
| | 7,5 | 40,50 | 47,28 | 52,37 | 56,33 | 59,48 | 62,03 | 64,15 | 65,94 | 67,50 | 68,86 | 70,08 |
| | 7,6 | 39,80 | 46,63 | 51,82 | 55,83 | 59,01 | 61,39 | 63,73 | 65,55 | 67,12 | 68,50 | 69,74 |
| | 7,7 | 39,11 | 46,04 | 51,28 | 55,33 | 58,55 | 61,16 | 63,32 | 65,18 | 66,75 | 68,14 | 69,39 |
| | 7,8 | 38,42 | 45,43 | 50,73 | 54,84 | 58,09 | 60,73 | 62,92 | 64,77 | 66,30 | 67,79 | 69,04 |
| | 7,9 | 37,73 | 44,83 | 50,19 | 54,34 | 57,63 | 60,30 | 62,51 | 64,39 | 66,01 | 67,43 | 68,70 |
| | 8,0 | 37,04 | 44,23 | 49,65 | 53,85 | 57,17 | 59,87 | 62,11 | 64,00 | 65,64 | 67,07 | 68,36 |
| | 8,1 | 36,36 | 43,63 | 49,11 | 53,36 | 56,72 | 59,44 | 61,70 | 63,62 | 65,27 | 66,72 | 68,02 |
| | 8,2 | 35,68 | 43,03 | 48,58 | 52,87 | 56,28 | 58,02 | 61,30 | 63,23 | 64,90 | 66,37 | 67,68 |
| | 8,3 | 35,00 | 42,43 | 48,04 | 52,38 | 55,81 | 58,59 | 60,90 | 62,85 | 64,54 | 66,02 | 67,34 |
| | 8,4 | 34,32 | 41,84 | 47,51 | 51,89 | 55,36 | 58,17 | 60,50 | 62,47 | 64,17 | 65,67 | 67,00 |
| | 8,5 | 33,85 | 41,25 | 46,98 | 51,41 | 54,91 | 57,75 | 60,10 | 62,08 | 63,81 | 65,32 | 66,67 |
| | 8,6 | 32,98 | 40,66 | 46,45 | 50,93 | 54,47 | 57,33 | 59,71 | 61,72 | 63,45 | 64,97 | 66,33 |
| | 8,7 | 32,31 | 40,07 | 45,92 | 50,45 | 54,02 | 56,92 | 59,31 | 61,34 | 63,09 | 64,63 | 66,00 |
| | 8,8 | 31,84 | 39,48 | 45,40 | 49,97 | 53,38 | 56,50 | 58,92 | 60,97 | 62,75 | 64,28 | 65,66 |
| | 8,9 | 30,97 | 38,90 | 44,88 | 49,49 | 53,14 | 56,09 | 58,53 | 60,60 | 62,38 | 63,94 | 65,33 |
| | 9,0 | 30,31 | 38,32 | 44,36 | 49,02 | 52,70 | 55,68 | 58,14 | 60,23 | 62,02 | 63,60 | 65,00 |
| | 9,1 | 29,65 | 37,74 | 43,84 | 48,54 | 52,26 | 55,27 | 57,75 | 59,86 | 61,67 | 63,26 | 64,67 |
| | 9,2 | 28,88 | 37,16 | 43,32 | 48,07 | 51,83 | 54,86 | 57,37 | 59,49 | 61,31 | 62,92 | 64,35 |
| | 9,3 | 28,33 | 36,59 | 42,81 | 47,60 | 51,39 | 54,45 | 56,88 | 59,12 | 60,96 | 62,58 | 64,02 |
| | 9,4 | 27,67 | 36,01 | 42,29 | 47,14 | 50,96 | 54,05 | 56,60 | 58,76 | 60,61 | 62,24 | 63,69 |
| | 9,5 | 27,02 | 35,44 | 41,78 | 46,67 | 50,53 | 53,64 | 56,22 | 58,39 | 60,26 | 61,91 | 63,37 |
| | 9,6 | 26,37 | 34,87 | 41,27 | 46,20 | 50,10 | 53,24 | 55,84 | 58,03 | 59,92 | 61,57 | 63,05 |
| | 9,7 | 25,72 | 34,30 | 40,76 | 45,74 | 49,67 | 52,84 | 55,46 | 57,67 | 59,57 | 61,24 | 62,73 |
| | 9,8 | 25,07 | 33,74 | 40,26 | 45,28 | 49,24 | 52,44 | 55,08 | 57,31 | 59,23 | 60,91 | 62,40 |
| | 9,9 | 24,43 | 33,17 | 39,75 | 44,82 | 48,82 | 52,04 | 54,70 | 56,95 | 58,88 | 60,58 | 62,09 |
| | 10,0 | 23,78 | 32,61 | 39,25 | 44,37 | 48,39 | 51,65 | 54,33 | 56,59 | 58,54 | 60,25 | 61,77 |
| | 10,1 | 23,14 | 32,05 | 38,75 | 43,91 | 47,97 | 51,25 | 53,96 | 56,24 | 58,20 | 59,92 | 61,45 |
| | 10,2 | 22,50 | 31,40 | 38,25 | 43,46 | 47,55 | 50,86 | 53,59 | 55,88 | 57,86 | 59,59 | 61,13 |
| | 10,3 | 21,87 | 30,94 | 37,76 | 43,00 | 47,14 | 50,47 | 53,21 | 55,53 | 57,52 | 59,27 | 60,82 |
| | 10,4 | 21,23 | 30,38 | 37,26 | 42,65 | 46,72 | 50,08 | 52,85 | 55,18 | 57,19 | 58,94 | 60,51 |
| | 10,5 | 20,60 | 29,83 | 36,77 | 42,10 | 46,30 | 49,69 | 52,48 | 54,83 | 56,85 | 58,62 | 60,19 |
| | 10,6 | 19,97 | 28,28 | 36,28 | 41,66 | 45,89 | 49,30 | 52,11 | 54,48 | 56,52 | 58,30 | 59,88 |
| | 10,7 | 19,34 | 28,73 | 35,79 | 41,21 | 45,48 | 48,92 | 51,75 | 54,13 | 56,18 | 57,98 | 59,57 |
| | 10,8 | 18,71 | 28,18 | 35,30 | 40,77 | 45,07 | 48,83 | 51,39 | 53,79 | 55,85 | 57,66 | 59,26 |
| | 10,9 | 18,08 | 27,64 | 34,81 | 40,33 | 44,66 | 48,15 | 51,02 | 53,44 | 55,52 | 57,34 | 58,95 |
| | 11,0 | 17,46 | 27,10 | 34,33 | 39,89 | 44,25 | 47,77 | 50,66 | 53,10 | 55,10 | 57,02 | 58,65 |

Référence/Reference

1/ Commission SFSTP. - Confirmation métrologique des thermomètres. / Thermometers metrological confirmation. - STP Pharma Prat., 20, 1, 17-58, 2010.

Bibliographie/Bibliography

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

JCGM 200. - Vocabulaire international de métrologie - Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM). / International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM). - 2008.

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 X 07-015. - Métrologie - Essais - Métrologie dans l'entreprise - Raccordement des résultats de mesure aux étalons. / 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.

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

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 60751. - Capteur industriel à résistance thermométrique de platine. / Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors. - 1995.

NF EN 60751/A2. - Amendement 1 à la norme NF EN 60751 de novembre 1995. - 1996.

NF EN 60068-1. - Essais d'environnement. Partie 1 : généralités et guide. / Environmental testing. Part 1 : general and guidance. - 1995.

RM. Aéro 808 011. - Mesure des paramètres hygrométriques. - 1988.

NF X 15 - 110. - Mesure de l'humidité de l'air. Paramètres hygrométriques. / Measurement of air humidity. Hydrometric parameters. - 1994.

FD X 15 - 111. - Mesure de l'humidité de l'air - Généralités sur les instruments de mesure - Guide de choix et d'utilisation. / Measurement of air moisture - General information on measuring instruments - Selection and use guide. - 2004.

NF X 15 - 112. - Mesures de l'humidité. Hygromètres à condensation. Caractéristiques. / Measurement of air humidity. Cooled hygrometers. Characteristics. - 1994.

NF X 15 - 113. - Mesures de l'humidité. Hygromètres à variation d'impédance. / Measurement of air humidity. Impedance variation hygrometer (capacitive and resistive). - 1997.

NF X 15 - 115. - Hygromètres électrolytiques. / Measurement of air humidity - Electrolytic hygrometers - Characteristics. - 2003.

NF X 15 - 117. - Hygromètre mécanique. / Measurement of air humidity. Mechanical hygrometers. - 1999.

NF X 15 - 118. - Mesures de l'humidité. Psychromètres. Caractéristiques. / Measurement of air humidity. Psychrometers. Characteristics. - 1996.

NF X 15 - 140. - Enceintes climatiques et thermostatiques. Caractérisation et vérification. / Measurement of air moisture - Climatic and thermostatic chambers - Characterisation and verification. - 2002.

NF X 15 - 119. - Générateurs d'air humide à solutions salines pour l'étalonnage des hygromètres. / Measurement of air moisture. Salt solution humid air generators for the calibration of hygrometers. - 1999.

FD X 15 - 120. - Mesure de l'humidité de l'air - Expression des incertitudes - Étude de cas concrets. / Measurement of air moisture - Expression of uncertainties - Study of concrete cases. - 2005.

CEI 60068-3-5. - Essais d'environnement - Partie 3-5 : documentation d'accompagnement et guide - Confirmation des performances des chambres d'essai en température. / Environmental testing - Part 3-5: Supporting documentation and guidance - Confirmation of the performance of temperature chambers. - 2001.

CEI 60068-3-6. - Essais d'environnement - Partie 3-6 : documentation d'accompagnement et guide - Confirmation des performances des chambres d'essai en température et humidité. / Environmental testing - Part 3-6: Supporting documentation and guidance - Confirmation of the performance of temperature/humidity chambers. - 2001.

CEI 60068-3-7. - Essais d'environnement - Partie 3-7 : documentation d'accompagnement et guide - Mesures dans les chambres d'essai en température pour les essais A et B (avec charge). / Environmental testing - Part 3-7: Supporting documentation and guidance - Measurements in temperature chambers for tests A and B (with load). - 2001.

CEI 60068-3-11. - Essais d'environnement - Documentation d'accompagnement et guide - Calcul de l'incertitude des

conditions en chambre d'essais climatiques. / Environmental testing – Part 3-11: Supporting documentation and guidance – Calculation of uncertainty of conditions in climatic test chambers. - 2007.

CRETINON B., MERIGOUX J. - *La mesure de l'humidité dans les gaz. - BNM, Monographie 18, 2000.*

ISO10012. - *Systèmes de management de la mesure - Exigences pour les processus et les équipements de mesure. / Measurement management systems - Requirements for measurement processes and measuring equipment. - 2003.*

BE8025 *Techniques de l'Ingénieur. - Air humide, Notions de base et mesures. - 2007.*

CETIAT. - *Tables de l'air humide. - 2005.*

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).

■ Bruno Baute (CEVA Santé Animale).

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

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

■ Xavier Dua (HTDS).

■ Richard Dybiak (ENSTIMD).

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

■ Jean-Jacques Poulain (GSK Biologicals Belgique).

■ Michael Vandenhende (GSK Biologicals Belgique).

Experts consultés/Consulted experts

■ Roland Platteau (Laboratoire belge de thermométrie, www.LBT-BLT.be).

■ Bertrand Blanquart (bertrand.blanquart@gmail.com).