

## Vérification des sondes de température

### 1. Contexte Industriel

Pour maîtriser un procédé de traitement thermique, il est nécessaire de contrôler les principaux paramètres qui garantissent l'efficacité du traitement : la température par exemple. C'est-à-dire qu'en pratique, il faut s'assurer que les températures enregistrées au cours du traitement d'un lot sont conformes à la température prévue initialement, et par conséquent que la chaîne de mesure de la température donne une information fiable.

L'utilisation de cette méthode est un élément de l'assurance qualité obligatoire pour les usines certifiées ISO 9002

Ce moyen de garantir la qualité des produits est à la fois moins coûteux et plus rapide que le contrôle analytique.

Dans l'industrie de l'alimentation animale plusieurs techniques de traitements thermiques sont concernées par ce sujet, ce sont les procédés destinés à :

- Réduire la microflore et éliminer les salmonelles
- Éliminer des facteurs anti-nutritionnels (ex. facteur antitryptique du soja)
- Préparer la farine avant pressage en favorisant le transfert de l'eau et de l'énergie thermique de la vapeur dans la farine.

### 2. Température

#### 2.1. Principes de base

##### 2.1.1. Contrôle des sondes Pt 100 et Chaîne d'étalonnage

Le contrôle consiste à comparer les valeurs de température mesurées par la chaîne de mesure du procédé (sonde Pt 100, transmetteur, ligne, afficheur) à celle d'un thermomètre de référence étalonné, raccordé à une chaîne d'étalonnage.

Toutes les informations nécessaires au déroulement de ce contrôle sont décrites dans l'ouvrage « Métrologie dans l'entreprise » (AFNOR 1996) et le recueil de normes françaises dit « GUM » (AFNOR 1997)

##### 2.1.2. Etalonnage ou vérification

Il existe deux possibilités : l'étalonnage ou la vérification

- **L'Étalonnage** est l'ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par des étalons.
- **La Vérification** est la confirmation par examen et l'établissement de preuves que des exigences spécifiées sont respectées.

On utilisera de préférence la procédure de vérification car avec cette méthode il est possible :

- de se satisfaire d'un seul point de mesure au voisinage du point de mesure habituel du capteur.
- d'affirmer que le moyen de mesure satisfait ou non à des prescriptions préalablement fixées (limites d'erreurs tolérées par exemple)

#### 2.1.3. Les grandeurs caractéristiques de la vérification

La vérification consiste à déterminer trois grandeurs :

- **L'Erreur maximale tolérée** : valeur définie par l'utilisateur en fonction de son objectif.
- **L'Écart (noté E)** : différence entre la valeur observée à l'aide d'un capteur et celle mesurée par un étalon ou valeur observée moins sa valeur de référence.
- **L'Incertitude de mesure** : Paramètre, associé aux résultats de la mesure, qui caractérise la dispersion des valeurs de cette mesure (notion voisine de l'écart type).

L'incertitude de mesure, comprend, en général plusieurs composantes ou incertitudes types ( $U_n$ ) Elle devient alors **l'Incertitude-type composée**,  $U_c$ , elle est égale à :

$$U_c = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}$$

Pour des applications qui concernent la santé ou la sécurité, il est nécessaire de donner une mesure de l'incertitude qui définisse, autour du résultat de mesure, un intervalle à l'intérieur duquel on puisse

espérer voir se situer une large fraction de la distribution des valeurs.

La nouvelle mesure de l'incertitude qui satisfait à cette exigence est appelée **Incertitude élargie ( $U_{EL}$ )**. Elle est obtenue en multipliant l'incertitude-type composée  $U_c$ , par un **facteur d'élargissement  $k$** .

$$U_{EL} = U_c \times k$$

## 2.2. Quand faut-il vérifier la chaîne de mesure de température?

### 2.2.1. Lors de l'implantation d'un nouveau matériel

L'objectif de ce contrôle est de vérifier le fonctionnement d'un nouveau matériel (capteur associé à la chaîne de mesure) et d'enregistrer toutes les informations qui peuvent avoir une influence sur la mesure de la température.

### 2.2.2. Au cours de la période d'exploitation de la chaîne de mesure

L'objectif de ce contrôle est de vérifier le bon fonctionnement du matériel et de prendre les mesures pour remédier à des dysfonctionnements. Une fréquence de vérification des capteurs et de la chaîne de mesure doit être définie.

Entre ces contrôles, la sonde doit être maintenue dans un bon état de propreté et sa position vérifiée. Toutes modifications effectuées au niveau de la sonde et de la chaîne de mesure doivent être signalées, puis enregistrées et, si nécessaire, entraîner une vérification.

## 2.3. Qui peut réaliser la vérification ?

### 2.3.1. Contrôle externe

Pour les entreprises possédant une accréditation ISO 9002, le recours à un prestataire raccordé au BNM ou accrédité COFRAC est conseillé.

Les vérifications de sondes peuvent être réalisées sur le site ou en laboratoires. Dans ce dernier cas elles nécessitent le démontage de la sonde.

### 2.3.2. Contrôle interne

La réalisation en interne des vérifications de la chaîne de mesure se justifie économiquement dès lors que le parc de capteurs est important.

## 2.4. Comment

### 2.4.1. Déroulement de la vérification

Au préalable, il faut s'assurer que la position de la sonde Pt 100 permet une mesure représentative de la température du produit dans le procédé de traitement.

Il est préférable, dans un premier temps, de vérifier l'ensemble de la chaîne de mesure, puis en cas de défaillance, de vérifier chacun des éléments la composant.

## 2.4.2. Principes de la vérification, exemple d'une sonde Pt 100

### 2.4.2.1 Incertitudes et mesure des températures

Dans le cas de la température, l'incertitude-type composée sur la vérification ( $U_{tc}$ ) d'un capteur Pt 100 se décompose en deux composantes principales :

- L'incertitude de la température indiquée par le capteur à vérifier ;
- L'incertitude de la température réelle indiquée par le capteur étalon.

Chaque composante est elle-même composée de différentes incertitudes.

Une analyse attentive et exhaustive du procédé d'étalonnage utilisé, des moyens techniques, de l'instrument étalon mis en œuvre et de l'instrument à vérifier permet d'établir le bilan de toutes les incertitudes rencontrées.

### 2.4.2.2 Matériels

L'ensemble du matériel est décrit ci-après :

- **Un Local** (laboratoire ou atelier) où a lieu le contrôle.
- **Un Thermomètre local** permettant de connaître la température ambiante.
- **La Sonde Pt 100 à vérifier**
- **Le Capteur étalon** : L'étalon est nécessaire dans la plupart des opérations procédant par comparaison. Il est inutile lorsque la vérification est effectuée au moyen d'une enceinte thermostatée à point fixe. Dans ce cas c'est l'enceinte qui est l'étalon.
- **Le Câble de liaison** : C'est un élément perturbateur dont on peut rarement se passer. Pour les vérifications sur site il est pratiquement obligatoire. Il devra être en cuivre souple, d'une section de 2 mm<sup>2</sup>.
- **L'Enceinte Thermostatée** : C'est l'enceinte dans laquelle il existe une température stable.
- Pour les vérifications, il s'agit d'un bain ou d'un four avec bloc d'égalisation pour maintenir une isothermie suffisante.
- **L'Appareil de mesure de précision** : Un contrôleur-étalon à lecture directe en °C, avec une incertitude sur la température lue connue.

### 2.4.2.3 Méthodes

Pour vérifier une sonde Pt 100, il faut déterminer:

- l'**écart  $E_c$**  entre la température qu'elle mesure ( $t_i$ ) et la température mesurée par l'étalon ( $t_r$ )

$$E_c = t_i - t_r$$

- l'**incertitude-type composée ( $U_{tc}$ )** sur la vérification de la sonde à vérifier sur la déduction de la température réelle ( $t_r$ )

$$U_{tc} = \sqrt{(U_{t_r})^2 + (U_{t_i})^2}$$

Il faut donc rechercher pour un point de mesure:

$t_i$  : température de la sonde à vérifier.

$t_r$  : température mesurée par l'étalon

$U_{t_i}$  : incertitude de la sonde à vérifier

$U_{t_r}$  : incertitude de l'étalon

- **l'incertitude-élargie ( $U_{EL}$ )** sur la vérification de la sonde à vérifier sur la déduction de la température réelle ( $t_r$ )

#### 2.4.2.4 Enregistrements des informations et gestion des documents

Les informations collectées au cours des vérifications sont notées sur des feuilles de relevés et un constat de vérification doit être établi.

Dans ces documents il est indispensable d'enregistrer les références du matériel de vérification, celles de la sonde vérifiée, le nom de l'opérateur, la date de l'opération...etc..

Il est nécessaire d'archiver ces documents afin de pouvoir vérifier ultérieurement les calculs et d'assurer la traçabilité métrologique des capteurs.

## 2.5. Exploitation des résultats

Pour pouvoir utiliser un capteur vérifié il faut que la

température "brute", indiquée par ce capteur soit comprise dans un intervalle déterminé et accepté par l'utilisateur. Cet intervalle ou zone de tolérance ou étendue de l'erreur tolérée est égal à:

$$2e : \\ \text{où}$$

$e$  est l'erreur maximale tolérée sur la mesure de la température par l'utilisateur.

En pratique, après vérification du capteur, l'industriel doit donc :

- déterminer la zone de tolérance du capteur
- définir les zones de conformité et/ou de non conformité du capteur en prenant en compte l'incertitude élargie de la mesure ( $U$ ) et l'écart ( $E_c$ ) entre la température du capteur à vérifier et celle de l'étalon (tableau 1).
- prendre sa décision, c'est-à-dire:
  - accepter la sonde
  - remplacer la sonde
  - faire étalonner la sonde

Dans ce dernier cas, le coût de l'étalonnage sera probablement supérieur à celui du remplacement de la sonde.



Tableau 1

## 2.6. Contrôles des moyens de vérification

Il faut étalonner régulièrement l'ensemble des appareils utilisés au cours des vérifications : sonde étalon, enceinte thermostatée et calibrateur. Ces étalonnages doivent être réalisés par un service de métrologie raccordé au réseau national.

## 3. Bibliographie

AFNOR 1996, Métrologie dans l'entreprise, Outil de la qualité, 307p.

AFNOR, 1997, Métrologie, Gérer et Maîtriser les équipements de mesure, Qualité et efficacité des organisations, Recueil de normes françaises 1997, 473p.

TECALIMAN 1999, Guide pour la qualification et le contrôle des capteurs de température de type sonde platine et de leur chaîne de mesure, i'Doc\_Q7 (avril 1999).

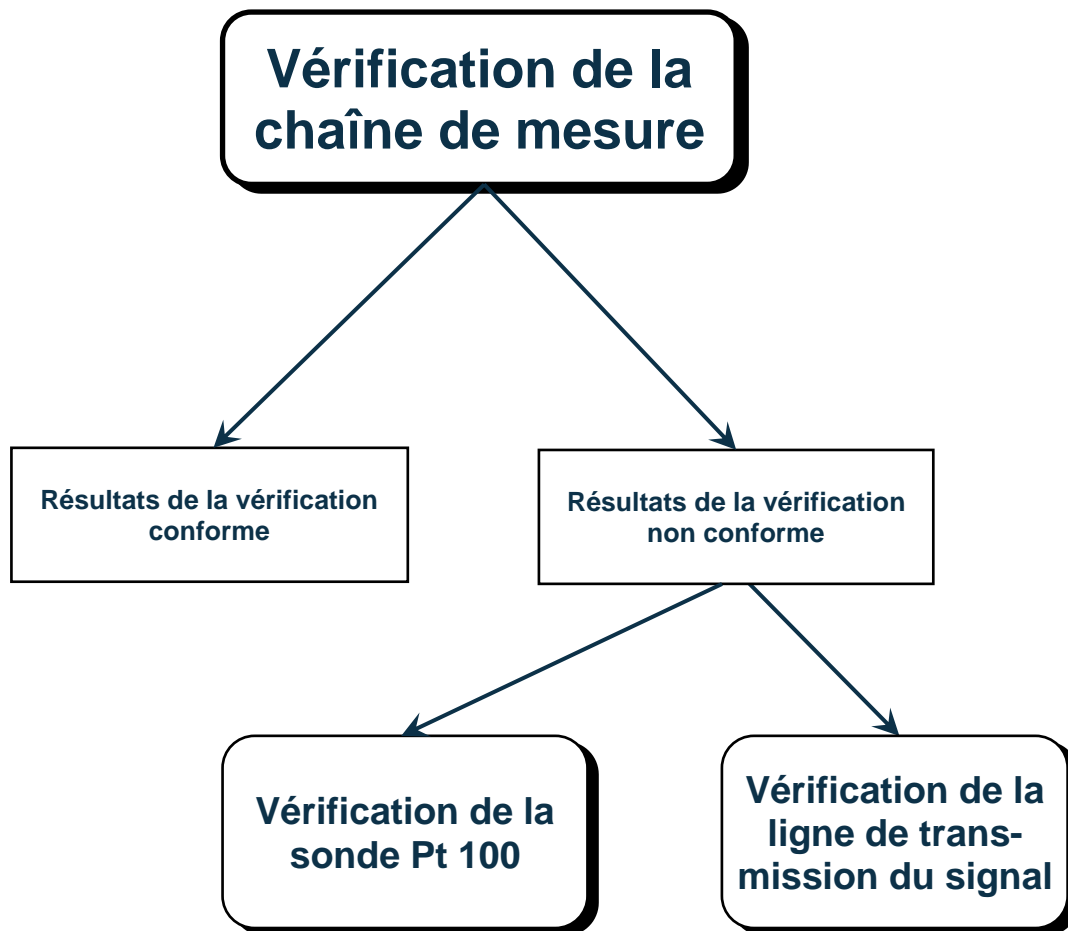


Figure 1 : Procédure de vérification d'une chaîne de mesure de température en usine