Effet de la température du bain de glace sur l’étalonnage des sondes USDA

Note technique · 2 octobre 2026
Javier Casal

1. Importance de la référence à 0,00 °C

L’exactitude de la température de référence du bain de glace est déterminante pour évaluer et étalonner les sondes de température USDA.

Pendant l’étalonnage en bain de glace, le contrôleur part du principe que les sondes sont exposées à une référence valide de **0,00 °C**. Le contrôleur n’a aucun moyen indépendant de savoir si le bain est réellement à 0,00 °C ; il dépend d’une condition de référence correctement établie.

Si la température réelle du bain s’écarte de 0,00 °C et que cet écart n’est pas identifié de manière indépendante, l’erreur du bain s’intègre à la lecture observée de la sonde.

Cela peut avoir deux conséquences distinctes :

1. Une sonde qui se situe réellement dans la fenêtre d’acceptation du contrôleur peut être rejetée, ou une sonde hors fenêtre peut sembler acceptable.

2. Une sonde étalonnée avec succès peut recevoir un offset incorrect, car l’erreur du bain de référence peut être intégrée à l’étalonnage.

> **L’acceptation d’une sonde et l’exactitude de l’étalonnage sont deux questions distinctes.**

2. Sources d’écart du bain de glace

Un bain de glace fondante correctement préparé et entretenu fournit une référence de température très reproductible, proche de **0,00 °C**.

En revanche, un bain mal préparé ou mal entretenu peut présenter des gradients de température ou des écarts locaux par rapport au point de glace.

- Excès d’eau liquide, en particulier autour ou en dessous des pointes de sonde.
- Quantité de glace insuffisante par rapport à l’eau.
- Stabilisation insuffisante avant les mesures.
- Mauvais positionnement des sondes ou du thermomètre de référence.
- Contact avec les parois ou le fond du récipient.
- Équilibre thermique insuffisant ou mélange inadéquat.
- Contamination de la glace ou de l’eau par des substances dissoutes, qui peuvent abaisser le point de congélation.

La glace sortant directement d’un congélateur peut être nettement en dessous de 0 °C au départ. Cela ne signifie pas qu’un équilibre eau-glace correctement établi restera en dessous de 0 °C, mais il faut un temps suffisant et une bonne préparation pour obtenir une référence de point de glace stable avant d’étalonner.

Les exemples ci-dessous utilisent, par simplicité, une température réelle du bain de **+0,15 °C**. Le même principe s’applique, avec le signe inverse, lorsque la référence est inférieure à 0,00 °C.

3. Rejet ou acceptation de sondes à cause d’une référence incorrecte

Un bain de référence incorrect ou non vérifié peut amener le contrôleur à rejeter une sonde qui, à 0,00 °C réels, se situerait dans sa plage d'étalonnage autorisée.

À titre d'illustration uniquement, supposons une fenêtre d'acceptation d'étalonnage de **±0,30 °C**. Le critère réel dépend du contrôleur, du logiciel et de la procédure, et doit être vérifié dans la documentation du fabricant et les exigences réglementaires applicables.

Prenons une sonde ayant un offset réel de +0,20 °C à 0,00 °C réels. Cette sonde serait dans la fenêtre hypothétique de ±0,30 °C.

Mais si la température réelle du bain était de +0,15 °C, le contrôleur pourrait observer environ :

> +0,20 °C offset de la sonde + 0,15 °C écart du bain = +0,35 °C indiqué

Le contrôleur pourrait alors rejeter la sonde alors que son offset réel, à une vraie référence de 0,00 °C, n'est que de +0,20 °C.

L'effet inverse est également possible

Prenons une sonde ayant un offset réel de +0,40 °C, hors de la fenêtre hypothétique de ±0,30 °C.

Si la température réelle du bain était de −0,15 °C, le contrôleur pourrait observer environ :

> +0,40 °C offset de la sonde − 0,15 °C écart du bain = +0,25 °C indiqué

Le contrôleur pourrait alors accepter une sonde qui aurait été rejetée avec une vraie référence de 0,00 °C.

Par conséquent, une indication de +0,30 °C ou +0,40 °C en bain de glace ne peut pas, à elle seule, être interprétée comme une erreur de sonde de +0,30 °C ou +0,40 °C, **sauf si la température réelle de référence au moment de la mesure est connue et documentée**.

4. Effet sur l'offset d'étalonnage des sondes acceptées

Pour les sondes qui restent dans la fenêtre d'acceptation du contrôleur, l'erreur du bain de référence peut être intégrée à l'offset d'étalonnage enregistré.

C'est potentiellement la conséquence la plus importante, car l'offset obtenu peut ensuite affecter les lectures de température pendant le traitement par le froid.

Le contrôleur détermine la correction propre à chaque sonde en supposant que la référence est à 0,00 °C.

Le contrôleur peut effectuer son calcul correctement. Mais si la référence elle-même est incorrecte, la correction obtenue ne représente pas nécessairement le seul offset réel de la sonde : elle peut aussi contenir l'erreur du bain de référence.

Exemple

Prenons une sonde dont l'erreur réelle à 0,00 °C est de 0,00 °C. La sonde indique donc correctement la température.

Plaçons maintenant cette sonde dans un bain qui est en réalité à +0,15 °C.

Si le contrôleur suppose que ce bain est à 0,00 °C, il peut interpréter les +0,15 °C observés comme une erreur de la sonde et appliquer la correction correspondante.

Or l'écart de +0,15 °C provient du bain de référence, et non de la sonde.

Une correction inutile peut ainsi être intégrée à l'offset d'étalonnage enregistré.

Ce principe s'applique que l'offset initial réel de la sonde soit positif, négatif ou nul. Chaque sonde peut recevoir un offset individuel différent, mais une erreur du bain de référence commun peut affecter tous les étalonnages réalisés avec cette référence.

5. Effet sur les mesures ultérieures du traitement par le froid

Une fois l'offset d'étalonnage établi, le contrôleur applique la correction correspondante aux lectures ultérieures de la sonde pendant le traitement par le froid. Une erreur introduite lors de l'étalonnage peut donc produire une température indiquée différente de la température réelle de la pulpe du fruit.

Paramètre	Valeur
Bain réel pendant l'étalonnage	+0,15 °C
Hypothèse du contrôleur	0,00 °C
Erreur réelle de la sonde	0,00 °C
Correction inutile possible	environ −0,15 °C

Si la température réelle de la pulpe atteint ensuite **+1,00 °C**, le système pourrait indiquer environ **+0,85 °C**, selon l'algorithme d'étalonnage réel du contrôleur, sa résolution interne, la quantification de l'offset et les règles d'arrondi.

Un étalonnage accepté et mené à terme par le contrôleur n'est pas forcément un étalonnage exact si la référence de température utilisée était incorrecte.

Le contrôleur peut calculer correctement une correction à partir des informations dont il dispose, mais il ne peut pas déterminer de lui-même si **la référence supposée de 0,00 °C est correcte**.

6. Résolution et arrondi du contrôleur

Il ne faut pas supposer que la résolution affichée et la résolution interne de mesure sont identiques.

Par exemple, si un contrôleur mesure en interne avec une meilleure résolution mais affiche le résultat arrondi au **0,1 °C** le plus proche, l'arrondi d'affichage à lui seul peut créer un écart allant jusqu'à environ **±0,05 °C** entre la valeur interne et la valeur affichée.

Ce chiffre de ±0,05 °C ne s'applique que si le contrôleur arrondit effectivement au 0,1 °C le plus proche. D'autres contrôleurs peuvent utiliser d'autres résolutions internes, pas de quantification, méthodes de troncature ou algorithmes d'affichage.

Une valeur affichée proche d'un seuil d'acceptation doit donc être interprétée avec prudence.

En cas de contestation d'un résultat d'étalonnage, il est souhaitable d'établir les éléments suivants à partir de la documentation du fabricant du contrôleur :

- Résolution interne de mesure.
- Résolution d'affichage.
- Résolution ou quantification de l'offset.
- Méthode d'arrondi ou de troncature.
- Critère exact d'acceptation de l'étalonnage.

7. Thermomètre de référence et procédure du bain de glace

La condition réelle de référence doit être vérifiée à l'aide d'un thermomètre étalonné adapté, dont l'incertitude de mesure est faible par rapport aux limites d'acceptation évaluées.

Pour une vérification technique de haute qualité de l'étalonnage des sondes USDA, la capacité de mesure recommandée comprend :

- **Résolution :** 0,01 °C ou mieux.
- **Incertitude élargie à 0 °C :** environ ±0,05 °C ou mieux.

- **Étalonnage :** en cours de validité et raccordé à un étalon métrologique national ou reconnu au niveau international.

Ces valeurs sont des capacités de mesure recommandées et ne doivent **pas** être interprétées comme des exigences réglementaires universelles de l'USDA.

Bonnes pratiques pour le bain de glace

Une référence de point de glace de haute qualité doit être préparée et entretenue selon des pratiques métrologiques reconnues, comme celles décrites dans la norme **ASTM E563-22**, *Standard Practice for Preparation and Use of an Ice-Point Bath as a Reference Temperature*.

1. Utiliser une glace propre et finement pilée, issue d'eau distillée ou déminéralisée.
2. Utiliser une eau propre de même qualité pour combler les espaces entre les particules de glace, sans former de couche d'eau libre importante.
3. Laisser le temps nécessaire à l'établissement de l'équilibre thermique avant de mesurer.
4. Maintenir un mélange eau-glace dense autour de la zone de mesure.
5. Placer les sondes USDA et le thermomètre de référence à une profondeur d'immersion suffisante.
6. Placer le thermomètre de référence près des pointes des sondes USDA, afin que tous mesurent sensiblement le même environnement thermique.
7. Éviter tout contact des éléments sensibles avec les parois ou le fond du récipient.
8. Vérifier la stabilité de la température de référence avant de relever les lectures ou de lancer l'étalonnage.
9. Lors d'essais prolongés, entretenir le mélange eau-glace et retirer l'excès d'eau si nécessaire.

L'objectif n'est pas simplement de placer les sondes dans un récipient contenant de la glace et de l'eau.

> **L'objectif est d'établir et de maintenir une condition de référence valide et connue de 0,00 °C à l'emplacement des éléments sensibles des sondes.**

8. Enregistrement minimal de l'étalonnage

Chaque étalonnage doit être suffisamment documenté pour permettre de distinguer ensuite si un écart provient de la sonde, du bain de référence ou du contrôleur. Il est recommandé d'enregistrer :

Champ	Ce qu'il faut enregistrer
Date et heure	Début et fin de l'étalonnage
Lieu et opérateur	Lieu de l'essai, identification du conteneur et personne réalisant l'étalonnage
Contrôleur	Fabricant, modèle, numéro de série et version logicielle/firmware
Thermomètre de référence	Fabricant, modèle, numéro de série, identification du certificat d'étalonnage et date d'échéance
Température de référence	Lecture réelle du thermomètre de référence pendant les mesures
Identification et lectures	Identification et température indiquée de chaque sonde USDA avant étalonnage
Résultat de l'étalonnage	Accepté ou rejeté pour chaque sonde et, si disponible, l'offset déterminé ou enregistré par le contrôleur
Préparation du bain	Type d'eau et de glace, méthode de préparation et durée de stabilisation

Ces informations permettent de déterminer ensuite si un écart observé provient de la sonde, du contrôleur ou de la référence de température.

Conclusion

L’acceptation d’une sonde et l’exactitude de l’étalonnage sont deux questions distinctes.

La fenêtre d’acceptation du contrôleur détermine si la procédure d’étalonnage peut se poursuivre.

L’exactitude de la référence de 0,00 °C détermine si l’étalonnage obtenu est valide.

Une référence de bain de glace incorrecte ou non vérifiée peut donc produire deux effets distincts :

1. **Erreur d’acceptation/rejet :** elle peut faire rejeter une sonde qui se situe réellement dans la plage autorisée ou, selon le sens de l’erreur du bain, masquer l’erreur d’une sonde qui serait hors de cette plage.

2. **Erreur d’étalonnage :** pour les sondes étalonnées avec succès, l’erreur du bain de référence peut être intégrée à l’offset enregistré et affecter ensuite la température de pulpe indiquée pendant le traitement par le froid.

C’est pourquoi, avant d’attribuer entièrement à une sonde USDA un écart de température observé, il convient de mesurer de manière indépendante, avec un thermomètre de référence étalonné adapté, la température réelle de référence au moment de l’essai, et de la documenter.

Principe clé

> **Le contrôleur peut corriger l’offset d’une sonde, mais il ne peut pas corriger une erreur inconnue de la référence de température utilisée pour déterminer cet offset.**

Note technique destinée à l’orientation générale en ingénierie et en métrologie. Les critères d’étalonnage propres à chaque contrôleur doivent toujours être vérifiés dans la documentation du fabricant et les exigences réglementaires en vigueur.