

---

---

**Détermination de l'incertitude  
de mesure pour les mesurages  
volumétriques des appareils  
volumétriques à piston au moyen de la  
méthode photométrique**

*Determination of uncertainty for volume measurements of a piston-  
operated volumetric apparatus using a photometric method*

**(standards.iteh.ai)**

[ISO/TR 16153:2023](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b811a63d-56ea-40f0-905c-f70d2a8850a8/iso-tr-16153-2023)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b811a63d-56ea-40f0-905c-f70d2a8850a8/iso-tr-16153-2023>



iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 16153:2023](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b811a63d-56ea-40f0-905c-f70d2a8850a8/iso-tr-16153-2023)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b811a63d-56ea-40f0-905c-f70d2a8850a8/iso-tr-16153-2023>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2023

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	iv
Introduction .....	v
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Modélisation du mesurage</b> .....	<b>1</b>
<b>5</b> <b>Mode opératoire général pour le calcul de l'incertitude</b> .....	<b>4</b>
<b>6</b> <b>Composantes de l'incertitude-type associées au système de mesure (mode opératoire de mesure photométrique)</b> .....	<b>5</b>
6.1 Informations générales relatives à l'estimation des composantes de l'incertitude-type .....	5
6.2 Incertitude-type du volume de la solution de chlorure de cuivre(II) .....	5
6.3 Incertitude-type de l'absorbance du mélange en cuve à 520 nm .....	6
6.4 Incertitude-type de l'absorbance de départ de la cuve à 730 nm .....	6
6.5 Incertitude-type de l'absorbance de départ de la cuve à 520 nm .....	7
6.6 Incertitude-type du volume des solutions de Ponceau S et de chlorure de cuivre(II) utilisées dans les solutions d'étalonnage .....	7
6.7 Incertitude-type des absorbances des solutions d'étalonnage .....	8
<b>7</b> <b>Composantes de l'incertitude-type associées à l'AVAP</b> .....	<b>9</b>
7.1 Incertitude-type de la résolution .....	9
7.2 Incertitude-type du réglage .....	9
7.3 Incertitude-type associée aux effets du matelas d'air .....	9
7.4 Incertitude-type du coefficient de dilatation volumique .....	10
<b>8</b> <b>Composantes de l'incertitude-type associées au procédé de distribution de liquide</b> .....	<b>10</b>
8.1 Répétabilité (écart-type expérimental) .....	10
8.2 Reproductibilité .....	10
<b>9</b> <b>Incetitude-type composée de la mesure associée à l'erreur systématique du volume moyen</b> .....	<b>11</b>
<b>10</b> <b>Coefficients de sensibilité</b> .....	<b>12</b>
<b>11</b> <b>Facteur d'élargissement <math>k</math></b> .....	<b>14</b>
<b>12</b> <b>Incetitude élargie de la mesure associée au volume <math>\bar{V}</math></b> .....	<b>14</b>
<b>13</b> <b>Exemple de détermination de l'incertitude de mesure pour le mesurage du volume de l'AVAP</b> .....	<b>14</b>
13.1 Conditions de mesurage .....	14
13.2 Résultats .....	18
13.2.1 Incertitude-type du volume moyen de l'AVAP .....	18
13.2.2 Incertitude de mesure élargie .....	18
13.2.3 Résultat de mesure .....	18
13.2.4 Incertitude lors de l'utilisation et corrections dues aux variations de pression .....	18
13.2.5 Remarques générales .....	18
13.2.6 Note sur la conformité au Guide ISO/IEC 98-3 .....	19
<b>Annexe A (informative) Approches pour l'estimation de l'incertitude lors de l'utilisation d'un seul volume distribué</b> .....	<b>20</b>
<b>Annexe B (informative) Correction du volume due aux variations de pression</b> .....	<b>24</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>26</b>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir [www.iso.org/avant-propos](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 48, *Équipement de laboratoire*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO/TR 16153:2004), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes :

- le terme « écart-type du volume distribué moyen » a été remplacé dans le présent document par « répétabilité », conformément au Guide ISO/IEC 99 (VIM) ;
- un nouvel exemple de calcul de l'incertitude a été fourni ;
- de nouvelles composantes de l'incertitude ont été ajoutées, à savoir celles associées à la reproductibilité, au matelas d'air et à la résolution ;
- une nouvelle [Annexe A](#) concernant l'incertitude lors de l'utilisation d'un seul volume distribué a été ajoutée ;
- une nouvelle [Annexe B](#) concernant la correction du volume due aux variations de pression a été ajoutée.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

L'exemple donné dans le présent document est fourni à titre informatif et vient à l'appui des exigences de l'ISO 8655-8:2022, 9.4, et de l'ISO 8655-7:2022, 4.2, afin d'estimer l'incertitude de mesure lors de l'étalonnage des appareils volumétriques à piston (AVAP) conformément aux modes opératoires de mesure décrits dans ces documents et aux principes du Guide ISO/IEC 98-3.

La révision du présent document coïncide avec une révision majeure de la série ISO 8655 en 2022, afin de refléter l'état de l'art des modes opératoires et approches de mesure pour l'estimation de l'incertitude de mesure.

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 16153:2023](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b811a63d-56ea-40f0-905c-f70d2a8850a8/iso-tr-16153-2023)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b811a63d-56ea-40f0-905c-f70d2a8850a8/iso-tr-16153-2023>



# Détermination de l'incertitude de mesure pour les mesurages volumétriques des appareils volumétriques à piston au moyen de la méthode photométrique

## 1 Domaine d'application

Le présent document donne des informations détaillées concernant l'évaluation de l'incertitude pour le mode opératoire de mesure photométrique de référence spécifié dans l'ISO 8655-8 et le mode opératoire photométrique spécifié dans l'ISO 8655-7:2022, Annexe B, conformément au Guide ISO/IEC 98-3.

Le présent document décrit également la détermination d'autres composantes de l'incertitude associées au procédé de distribution de liquide d'un appareil volumétrique à piston (AVAP), notamment la répétabilité et la manipulation. En outre, il fournit des exemples pour le calcul et l'application de l'incertitude du volume distribué moyen et de l'incertitude lors de l'utilisation d'un seul volume distribué.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 8655-1, *Appareils volumétriques à piston — Partie 1: Définitions, exigences générales et recommandations pour l'utilisateur*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b811a63d-56ea-40f0-905c-f70d2a8850a8/iso-tr-16153-2023>

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 8655-1 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

## 4 Modélisation du mesurage

Les modes opératoires de mesure photométriques ratiométriques à deux colorants décrits dans l'ISO 8655-7 et l'ISO 8655-8 utilisent une cuve contenant une solution de chlorure de cuivre(II) de volume connu, qui est déterminé par une méthode gravimétrique. L'AVAP soumis à essai est utilisé pour ajouter à la cuve contenant la solution de  $\text{CuCl}_2$  un volume inconnu de solution d'essai, dont la concentration de Ponceau S est connue. Le contenu de la cuve est mélangé sans retirer la cuve du trajet de la lumière du spectrophotomètre, et les absorbances à 520 nm et 730 nm sont mesurées avant et après l'ajout de la solution d'essai.

Des solutions d'étalonnage de  $\text{CuCl}_2$  et de Ponceau S sont préparées, et leurs valeurs d'absorbance à 520 nm et 730 nm sont mesurées. La préparation de solutions d'essai de Ponceau S de différentes concentrations implique la préparation de dilutions, qui sont exprimées par le rapport de dilution,  $R$ . Les absorbances des solutions d'étalonnage, ainsi que le rapport de dilution,  $R$ , sont utilisés pour calculer la constante d'étalonnage,  $K$ , pour une concentration donnée de Ponceau S.

Le volume inconnu de solution de Ponceau S distribué par l'AVAP soumis à essai est calculé à partir du volume et des absorbances de la solution de  $\text{CuCl}_2$  avant l'ajout de la solution d'essai, la constante d'étalonnage  $K$ , et l'absorbance du mélange en cuve après l'ajout de la solution d'essai.

La formule pour le volume total  $V_T(i)$  de solution d'essai distribué après la  $i^{\text{ème}}$  distribution à la température d'essai est donnée par la [Formule \(1\)](#) :

$$V_T(i) = V_{C0} \frac{\frac{A_{M520}(i) - A_{C520}}{A_{C730} - A_{C520}}}{K_j - \frac{A_{M520}(i) - A_{C520}}{A_{C730} - A_{C520}}} \quad (1)$$

où

$V_T(i)$  est le volume total de solution d'essai qui a été ajouté à la cuve d'essai depuis la première distribution jusqu'à la  $i^{\text{ème}}$  distribution ;

$V_{C0}$  est le volume réel de solution de chlorure de cuivre(II) dans la cuve d'essai préparée au début de l'essai ;

$K_j$  est la constante d'étalonnage obtenue à partir de la [Formule \(2\)](#) ;

$A_{M520}(i)$  est l'absorbance à 520 nm du mélange en cuve après la  $i^{\text{ème}}$  distribution de solution d'essai ;

$A_{C520}$  est l'absorbance à 520 nm de la solution de chlorure de cuivre(II) dans la cuve avant la première distribution de solution d'essai ;

$A_{C730}$  est l'absorbance à 730 nm de la solution de chlorure de cuivre(II) dans la cuve avant la première distribution de solution d'essai.

La constante d'étalonnage ( $K_j$ ) pour chaque lot de solutions est calculée à l'aide de la [Formule \(2\)](#). Les valeurs d'absorbance sont obtenues à partir des mesurages de l'ISO 8655-8:2022, 8.2.

$$K_j = \frac{1}{R_j} \left( \frac{A_{\text{Cal}520j} - A_{\text{Cal}520}}{A_{\text{Cal}730} - A_{\text{Cal}520}} \right) \quad (2)$$

où

$K_j$  est la constante d'étalonnage de la solution d'étalonnage spécifique du volume d'essai [l'indice  $j$  fait référence au volume d'essai ( $V_S$ )];

$R_j$  est le rapport de dilution de la solution d'étalonnage ;

$A_{\text{Cal}520j}$  est l'absorbance de la solution d'étalonnage de Ponceau S  $j$  à 520 nm ;

$A_{\text{Cal}520}$  est l'absorbance de la solution de  $\text{CuCl}_2$  à 520 nm ;

$A_{\text{Cal}730}$  est l'absorbance de la solution de  $\text{CuCl}_2$  à 730 nm.

Le rapport de dilution ( $R$ ) est calculé selon la [Formule \(3\)](#).

$$R = \frac{V_{PS}}{V_{PS} + V_C} \quad (3)$$

où

$R$  est le rapport de dilution ;



$V_{PS}$  est le volume réel mesuré de la solution de Ponceau S ;

$V_C$  est le volume réel mesuré de la solution de chlorure de cuivre(II).

Les [Formules \(1\)](#), [\(2\)](#) et [\(3\)](#) comportent neuf variables d'entrée. Six de ces grandeurs d'entrée sont des valeurs d'absorbance photométrique. Trois grandeurs d'entrée sont des volumes de liquide à la température d'essai et chacun de ces trois volumes est déterminé par pesage sur une balance.

Les volumes de liquide  $V_{C0}$ ,  $V_{PS}$  et  $V_C$  à la température du laboratoire d'essai sont calculés selon la [Formule \(4\)](#).

$$V_L = (m_L - m_E) \times \frac{1}{\rho_L - \rho_A} \times \left( 1 - \frac{\rho_A}{\rho_B} \right) \quad (4)$$

où

$V_L$  est le volume calculé à la température du liquide d'essai, en ml ;

$m_L$  est le relevé indiqué par la balance correspondant au récipient de pesage après distribution du liquide, en g ;

$m_E$  est le relevé indiqué par la balance correspondant au récipient de pesage avant la distribution du liquide, en g ( $m_E = 0$  si la balance a été tarée avec le récipient de pesage) ;

$\rho_A$  est la masse volumique de l'air, en g/ml (voir la [Formule \(5\)](#) ci-dessous) ;

$\rho_B$  est la masse volumique réelle ou présumée des masses utilisées pour étalonner la balance, en g/ml ;

NOTE Des masses en acier inoxydable d'une masse volumique de 8,0 g/ml sont généralement utilisées pour l'étalonnage des balances.

$\rho_L$  est la masse volumique du liquide à la température d'essai, en g/ml.

La [Formule \(5\)](#) pour calculer la masse volumique de l'air peut être utilisée à des températures comprises entre 15 °C et 27 °C :

$$\rho_A = \frac{1}{1\,000} \times \frac{0,348\,48 \times P - 0,009 \times h_r \times e^{(0,061 \times t)}}{t + 273,15} \quad (5)$$

où

$\rho_A$  est la masse volumique de l'air, en g/ml ;

$t$  est la température ambiante, en °C ;

$P$  est la pression barométrique, en hPa ;

$h_r$  est l'humidité relative de l'air, en %.

L'incertitude relative de la [Formule \(5\)](#) est de  $2,4 \times 10^{-4}$  g/ml dans les conditions suivantes : pression barométrique entre 600 hPa et 1 100 hPa, température ambiante entre 15 °C et 27 °C et humidité relative entre 20 % et 80 %.

Dans d'autres conditions environnementales, la [Formule \(5\)](#) est remplacée par les calculs du document CIPM-2007 décrits dans la référence [3].

Conformément à l'ISO 8655-8, le volume moyen est calculé selon la [Formule \(6\)](#) :

$$\bar{V} = \frac{V_T(n)}{n} \quad (6)$$

où

$\bar{V}$  est le volume moyen ;

$V_T(n)$  est le volume total de solution d'essai dans la cuve après la  $n^{\text{ième}}$  distribution de liquide (en général,  $n = 10$ ).

Si un coefficient de dilatation volumique  $\gamma$  de l'AVAP est connu, il peut être appliqué pour corriger le volume distribué en fonction de la température de référence à l'aide de la [Formule \(7\)](#).

$$V_{T,\text{réf}}(i) = V_T(i) \times [1 - \gamma(t_L - t_{\text{réf}})] \quad (7)$$

où

$V_{T,\text{réf}}(i)$  est le volume total de liquide d'essai après la  $i^{\text{ème}}$  distribution corrigée en fonction d'une température de référence ;

$\gamma$  est le coefficient de dilatation volumique de l'AVAP soumis à essai ;

$t_L$  est la température du liquide d'essai à la température du laboratoire d'essai ;

$t_{\text{réf}}$  est la température de référence pour l'AVAP, généralement 20 °C ou 27 °C.

## 5 Mode opératoire général pour le calcul de l'incertitude

L'évaluation de l'incertitude de mesure dans le présent document suit le Guide ISO/IEC 98-3. La méthode comprend les étapes suivantes :

- a) expression, en termes mathématiques, de la relation entre le mesurande et ses grandeurs d'entrée ;
- b) détermination de la valeur espérée de chaque grandeur d'entrée ;
- c) détermination de l'incertitude-type de chaque grandeur d'entrée ;
- d) détermination du degré de liberté de chaque grandeur d'entrée ;
- e) détermination de toutes les covariances entre les grandeurs d'entrée ;
- f) calcul de la valeur espérée du mesurande ;
- g) calcul du coefficient de sensibilité de chaque grandeur d'entrée ;
- h) calcul de l'incertitude-type composée du mesurande ;
- i) calcul du nombre effectif de degrés de liberté de l'incertitude-type composée ;
- j) choix d'un facteur d'élargissement,  $k$ , approprié pour obtenir le niveau de confiance requis ;
- k) calcul de l'incertitude élargie.

Dans le présent document, l'incertitude de mesure associée à l'erreur systématique du volume moyen est divisée en trois articles distincts : les composantes de l'incertitude associées au système de mesure photométrique ([Article 6](#)), les composantes de l'incertitude associées au dispositif soumis à essai (AVAP, [Article 7](#)) et les composantes de l'incertitude associées au procédé de distribution de liquide ([Article 8](#)).

## 6 Composantes de l'incertitude-type associées au système de mesure (mode opératoire de mesure photométrique)

### 6.1 Informations générales relatives à l'estimation des composantes de l'incertitude-type

Il est possible d'estimer expérimentalement l'incertitude-type d'une mesure,  $u(x)$ , pour une grandeur  $x$ , en effectuant des mesurages répétés de  $x$  dans des conditions normales de laboratoire. Ce type d'estimation est appelé évaluation de Type A selon le Guide ISO/IEC 98-3. L'écart-type des valeurs obtenues est une mesure de la répétabilité de la mesure. L'incertitude-type associée à  $x$  peut être l'écart-type (dans le cas où un seul mesurage de  $x$  est effectué), ou l'écart-type de la moyenne égal à  $\text{stdev}(x)/\sqrt{n}$  (dans le cas où  $x$  est la moyenne de  $n$  relevés).

Voir le Guide ISO/IEC 98-3:2008, 4.2, pour de plus amples informations sur l'évaluation de Type A de l'incertitude-type.

En plus des mesures répétées, la composante systématique de l'incertitude de mesure pour une grandeur  $x$ , est estimée par d'autres moyens. Il s'agit d'une évaluation de Type B selon le Guide ISO/IEC 98-3. Par exemple, il est possible d'obtenir des informations pour cette estimation en prenant en compte les spécifications du fabricant relatives à l'AVAP (notamment résolution, linéarité, dérive, dépendance à la température, etc.).

Les spécifications du fabricant sont souvent indiquées sous la forme d'un intervalle couvrant la valeur de mesure, sans information supplémentaire concernant la dispersion ou la couverture. Dans ce cas, la mesure est présumée suivre la loi de probabilité uniforme ou rectangulaire. Cette loi est caractérisée par une probabilité constante à l'intérieur de l'intervalle, tandis que la probabilité en dehors de l'intervalle est de zéro.

L'intervalle peut être utilisé pour donner la variance de  $x$  conformément à la [Formule \(8\)](#) :

$$u^2(x) = \frac{(a_+ - a_-)^2}{12} \quad (8)$$

où

$u^2(x)$  est la variance de la grandeur  $x$  ;

$a_+$  et  $a_-$  donnent les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de la variable  $x$ .

L'incertitude-type,  $u(x)$ , est définie comme la racine carrée de la variance.

Outre la loi rectangulaire uniforme, d'autres lois sont également possibles lors des évaluations de Type B. Voir le Guide ISO/IEC 98-3:2008, 4.3, pour de plus amples informations sur les évaluations de Type B de l'incertitude-type.

### 6.2 Incertitude-type du volume de la solution de chlorure de cuivre(II)

D'après l'ISO 8655-7 et l'ISO 8655-8, le volume de la solution de chlorure de cuivre(II) ( $V_{C0}$ ) se trouve dans la plage de 4,5 ml à 5,5 ml et est égal à  $\pm 0,03$  % du volume choisi. Pour cet exemple, l'erreur maximale spécifiée ( $\pm 0,03$  %) est modélisée comme une loi rectangulaire, comme indiqué dans la [Formule \(9\)](#).

$$u(V_{C0}) = V_{C0} \times \frac{0,0003}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

où

$u(V_{C0})$  est l'incertitude-type associée au volume de la solution de chlorure de cuivre(II) ;

$V_{C0}$  est le volume de la solution de chlorure de cuivre(II) dans la cuve.

EXEMPLE Si  $V_{C0}$  est égal à 5 000  $\mu\text{l}$ ,  $u(V_{C0})$  est égale à 0,866 0  $\mu\text{l}$  avec un nombre infini de degrés de liberté, sur la base d'une loi rectangulaire.

NOTE La [Formule \(4\)](#) est utilisée dans le mesurage de ce volume ( $V_{C0}$ ) à la température du mesurage de l'absorbance. L'incertitude des balances et autres équipements d'essai spécifiés dans l'ISO 8655-8 est suffisante pour atteindre un indice de capabilité de mesure de 3:1 par rapport à cette tolérance de 0,03 % lorsque la [Formule \(4\)](#) est utilisée.

### 6.3 Incertitude-type de l'absorbance du mélange en cuve à 520 nm

L'absorbance du mélange en cuve à 520 nm après la  $n^{\text{ième}}$  distribution,  $A_{M520}(n)$ , dans un étalonnage de référence ( $n = 10$  ou plus), est généralement de l'ordre de 0,50 à 1,2 unité d'absorbance (UA). L'incertitude de cette mesure est dominée par la répétabilité photométrique du spectrophotomètre (écart-type relatif de 0,01 % ou 0,000 05 UA, la valeur la plus élevée étant retenue). Il existe également une contribution de l'effet de la variation admissible de la température sur le chromophore ( $\pm 0,5$  °C, loi rectangulaire). Un exemple est donné à la [Formule \(10\)](#), où il y a une incertitude relative due à la répétabilité de 0,01 %, plus la limite de température de 0,5 °C (loi rectangulaire), multipliée par la sensibilité du colorant de 0,000 5 % par °C.

$$u[A_{M520}(n)] = A_{M520}(n) \times \sqrt{0,000\ 1^2 + 0,000\ 5^2 \times \frac{0,5^2}{3}} \quad (10)$$

où

$u[A_{M520}(n)]$  est l'incertitude-type associée à l'absorbance du mélange en cuve à 520 nm ;

$A_{M520}(n)$  est l'absorbance du mélange en cuve à 520 nm.

EXEMPLE Pour un volume d'essai de 5  $\mu\text{l}$  et  $n = 10$  réplicats, on s'attend à ce que  $A_{M520}(n)$  soit égale à 0,681 7 UA et que  $u[A_{M520}(n)]$  soit égale à  $1,197 \times 10^{-4}$  UA avec 285 degrés de liberté. Ce résultat est basé sur une estimation d'un nombre infini de degrés de liberté pour la loi rectangulaire de la plage de température, 30 degrés de liberté pour la répétabilité photométrique et l'application de la formule de Welch-Satterthwaite à l'[Article 11](#).

### 6.4 Incertitude-type de l'absorbance de départ de la cuve à 730 nm

L'absorbance de départ de la cuve à 730 nm avant la première distribution ( $A_{C730}$ ) se situe dans la plage de 1,0 UA à 1,3 UA. L'incertitude de cette mesure est dominée par la répétabilité photométrique du spectrophotomètre (écart-type relatif de 0,01 %) et une contribution similaire de l'effet de l'incertitude admissible de la température (0,1 °C,  $k = 2$ ) sur le chromophore  $\text{CuCl}_2$ .

Un exemple est donné à la [Formule \(11\)](#), où il y a une incertitude relative due à la répétabilité de 0,01 %, plus l'incertitude de la température de 0,05 °C ( $k = 1$ ), multipliée par la sensibilité du colorant de 0,001 65 % par °C.

$$u(A_{C730}) = A_{C730} \times \sqrt{0,000\ 1^2 + 0,001\ 65^2 \times 0,05^2} \quad (11)$$

où

$u(A_{C730})$  est l'incertitude-type associée à l'absorbance de départ à 730 nm ;

$A_{C730}$  est l'absorbance de départ de la cuve à 730 nm.

EXEMPLE Si  $A_{C730}$  est égale à 1,098 UA, alors  $u(A_{C730})$  est égale à  $1,423 \times 10^{-4}$  UA avec 58 degrés de liberté. Ce résultat est basé sur une estimation de 30 degrés de liberté pour l'incertitude de la température, 30 degrés de liberté pour la répétabilité photométrique et l'application de la formule de Welch-Satterthwaite à l'[Article 11](#).