

Étalonnage des pipettes monocanal et évaluation des compétences de l'opérateur à l'aide d'un système de photométrie ratiométrique à deux colorants

Rebecca L. Kitchener, Ph.D. et Nathaniel G. Hentz, Ph.D.

Artel, Inc.

25 Bradley Drive, Westbrook, ME 04092, États-Unis

Téléphone : 207-854-0860 • E-mail : nhentz@artel-usa.com

Introduction

Les pipettes manuelles sont un outil incontournable dans la plupart des laboratoires de sciences de la vie et constituent un des instruments de laboratoire omniprésents. Ce sont les instruments étalonnés de laboratoires les plus utilisés et pourtant ce sont des sources potentielles d'imprécision et d'erreurs systématiques souvent négligées dans la validation et le développement de méthodes. La performance correcte d'une pipette est essentielle pour produire des données à la fois fiables et reproductibles, deux caractéristiques fondamentales du succès et de la réputation d'un laboratoire.

Le succès de la validation et du développement de méthodes analytiques, ainsi que l'exécution de dosages de routine dépend de deux caractéristiques clés : d'abord, que l'instrument désigné pour la méthode fonctionne correctement¹ et ensuite, que les opérateurs qui effectuent le développement/la validation soient correctement formés^{2,3}. Si les instruments et les qualifications des opérateurs sont régulièrement vérifiés dans les environnements de laboratoires réglementés, des instruments simples comme des pipettes manuelles ont tendance à être négligés et leurs effets potentiellement compromettants sur la qualité des données ne sont souvent pas pris en compte. De nombreux laboratoires partent du principe que les opérateurs réaliseront des techniques de pipetage correctes sans les soumettre à une formation spécialisée et à un programme d'évaluation des compétences²⁻³. Comme les plateformes automatisées de manipulation des liquides, les pipettes peuvent présenter des défaillances de manière « silencieuse » et imprévisible, ce qui signifie que leurs défaillances peuvent potentiellement passer inaperçues entre les cycles d'étalonnage et de maintenance préventive. Dans les faits, 90 % des défaillances de pipettes sont inattendues et imprévues⁴. La meilleure solution pour réduire les erreurs et améliorer la qualité des données dans la validation de méthodes semble être de proposer des formations de techniques de pipetage avec des recyclages réguliers et des évaluations des compétences pour les opérateurs ainsi que de réaliser régulièrement

une vérification des performances/un étalonnage des pipettes manuelles¹. La formation et l'évaluation périodique sont essentielles pour les analystes qui effectuent des dosages de routine. De nos jours, les échantillons sont généralement limités et le temps est compté. De plus, la formation des opérateurs et la pratique continue de pipetage assurent une standardisation entre les opérateurs tandis que l'étalonnage régulier et les vérifications intermédiaires permettent d'identifier les pipettes défectueuses le plus rapidement possible et de réduire les risques de compromission des données.

Il faut prendre en compte de nombreux facteurs pour établir la fréquence idéale d'étalonnage des pipettes dans un laboratoire. En premier lieu, des organismes de réglementation comme la Food and Drug Administration (FDA) des États-Unis fournissent une ligne directrice des exigences minimales pour l'étalonnage des instruments. De plus, les laboratoires sont invités à évaluer le temps moyen entre défaillances (MTBF) et le niveau de fiabilité cible lors du prélèvement de liquide pour leur laboratoire et leurs pipettes en particulier. Le MTBF est le taux moyen auquel se produisent des défaillances de pipettes et il peut être déterminé en observant un groupe de pipettes et en notant combien de temps s'écoule avant que chacune d'entre elles présente une défaillance. La fiabilité cible est exprimée en pourcentage, par exemple : 95 % de fiabilité indique que 95 % des pipettes d'un laboratoire fonctionnent correctement à tout moment. En tenant compte du MTBF et de la fiabilité cible d'un ensemble de pipettes, le graphique d'exemple ci-dessous (figure 1) peut être utilisé pour déterminer la fréquence suggérée d'étalonnage pour un laboratoire précis⁴.

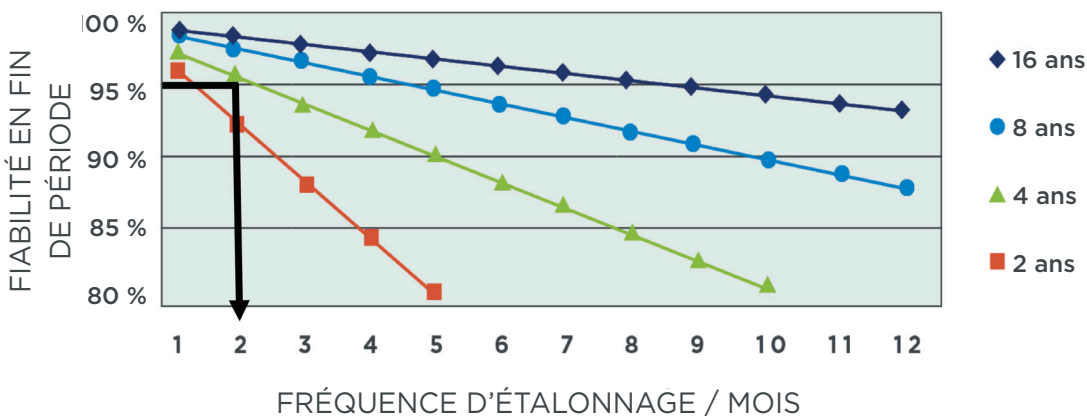


Figure 1. Détermination de la fréquence d'étalonnage des pipettes, à partir du MTBF et de la fiabilité cible⁴.

Par exemple, pour une série de pipettes présentant un MTBF de 4 ans et un niveau de fiabilité cible de 95 %, il est recommandé d'effectuer un étalonnage tous les 2 mois pour maintenir un niveau de fiabilité de 95 % dans le laboratoire, comme l'indique la flèche noire sur la figure 1. C'est un délai nettement plus court que la fréquence typique d'étalonnage de 6 à 12 mois appliquée dans de nombreux laboratoires. Dans ce cas, les analystes devraient effectuer des vérifications intermédiaires (par exemple,

hebdomadaires, quotidiennes ou avant utilisation) pour vérifier qu'aucune défaillance silencieuse ne s'est produite depuis le dernier étalonnage. L'intégration d'une vérification intermédiaire augmente considérablement le niveau de fiabilité. Sachant que la plupart des laboratoires envoient leurs pipettes à un laboratoire de métrologie ou à un prestataire de services tiers pour répondre aux exigences d'étalonnage et de maintenance préventive, la vérification intermédiaire est particulièrement importante. Les vérifications intermédiaires peuvent être effectuées dans le laboratoire même où les pipettes sont utilisées.

Méthodes de vérification des performances pour les pipettes manuelles

La vérification des performances des pipettes nécessite généralement la distribution de nombreux réplicats de liquide aliquote et la mesure du volume de chaque aliquote distribuée. Il existe trois méthodes reconnues pour l'étalonnage des pipettes et la vérification des performances : les méthodes gravimétriques⁵, photométriques⁶ et titrimétriques⁶. Lors de l'évaluation gravimétrique des performances des pipettes, les volumes de liquide distribué sont pesés sur une balance, conformément aux normes ASTM ou ISO^{5,7}. Le poids du liquide indiqué par la balance est ensuite converti en une masse qui peut être utilisée pour calculer le volume grâce aux facteurs de conversion connus pour le liquide spécifique. La méthode gravimétrique est une solution préférée aux autres méthodes de vérification des performances, car c'est généralement de l'eau déionisée qui est utilisée avec cette méthode et les balances sont facilement disponibles dans un laboratoire typique de sciences de la vie.

Cependant, la gravimétrie présente plusieurs inconvénients qui doivent être prises en compte avant d'utiliser cette méthode dans un environnement de laboratoire. Les méthodes gravimétriques sont généralement fiables pour de gros volumes⁸ (>100 µL), tandis que les mesures exactes de volumes plus petits, comme des quantités en micro ou en nanolitre, peuvent être problématiques à cause de leur tendance à s'évaporer rapidement et leur vulnérabilité à de nombreuses conditions environnementales. Pour veiller à une mesure exacte des volumes en microlitre, il faut peser les aliquotes sur des balances extrêmement sensibles qui peuvent être affectées par la plus infime vibration, pression, charge électrostatique ou modification des conditions environnementales de la salle de test. Ces balances sont généralement placées sur des tables immobiles en marbre pour balance dans un laboratoire rigoureusement contrôlé, ce qui signifie que les pipettes doivent être retirées du laboratoire ou du site où elles sont régulièrement utilisées, transférées sur le site de la balance et équilibrées dans les conditions de la salle de test pour la vérification des performances. Ceci est en contradiction directe avec les pratiques recommandées d'étalonnage des pipettes, qui doit être réalisé dans le laboratoire dans lequel elles sont régulièrement utilisées pour maximiser l'exactitude et la précision et minimiser l'impact des changements environnementaux. De plus, il faut laisser suffisamment de temps aux balances extrêmement sensibles pour se régler après une distribution d'échantillon avant d'effectuer la mesure, ce qui diminue l'efficacité de cette méthode et introduit un risque potentiel d'erreur plus élevé^{9,10}. Malheureusement, le temps de réglage de la balance est défini par l'utilisateur et peut être très court, ce qui a un effet direct sur l'incertitude de la mesure. Même si l'analyse gravimétrique est

certainement réalisable, l'exécution du test dans l'environnement de laboratoire où la pipette sera utilisée correspond à la performance réelle de la pipette.

L'étalonnage photométrique est une autre méthode courante pour évaluer les performances d'une pipette. En général, la photométrie repose sur le principe de l'absorbance de la lumière et une concentration connue d'un chromophore (colorant) dans une solution qui absorbe la lumière dans le spectre visible ou UV. La pipette est utilisée pour distribuer une aliquote du colorant dans un récipient récepteur, dont le volume distribué exact est considéré comme inconnu. Le changement d'absorbance dans le récipient récepteur est lu par spectrophotométrie et le volume de l'aliquote peut ensuite être déterminé à l'aide de calculs de bilan massique.

Les instruments nécessaires pour les méthodes photométriques incluent un spectrophotomètre UV et visible adapté, une cellule de mesure avec une longueur connue, un thermomètre et, si les solutions de coloration doivent être préparées en interne, une balance de laboratoire et une verrerie jaugée de précision A.

Les méthodes approuvées d'étalonnage photométrique nécessitent soit une solution de coloration (photométrie à un colorant), soit deux (photométrie ratiométrique à deux colorants). Dans la photométrie à un colorant, une solution de coloration est distribuée dans un récipient récepteur (cuvette, microplaque à puits, cellule de mesure) contenant une solution diluante incolore. L'absorbance est analysée et comme la quantité de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du colorant, il est possible de calculer le volume de coloration ajouté à l'aide du principe de la loi de Beer-Lambert. La photométrie à un colorant est effectivement précise et moins sujette aux effets environnementaux que la gravimétrie, mais l'utilisation de deux solutions de coloration standardisées dans la photométrie ratiométrique permet un plus haut degré de traçabilité, d'exactitude et de précision, même avec des volumes de liquide extrêmement faibles⁹. Pour des étalonnages et des vérifications corrects, les méthodes photométriques nécessitent des récipients récepteurs correctement jaugés, des solutions de coloration étalonnées et stables, un spectrophotomètre étalonné et une balance de laboratoire étalonnée. Certains éléments pourraient ne pas être facilement disponibles dans tous les laboratoires. Par conséquent, les méthodes photométriques internes peuvent être moins rentables que les méthodes gravimétriques pour les laboratoires mesurant couramment de grands volumes, notamment supérieurs à 100 µL. Cependant, la gravimétrie ne permet pas de rivaliser en économie avec la précision et l'exactitude dans la mesure de faibles volumes, couplées à la rentabilité de la qualité des données qui résultent finalement de la mise en œuvre des méthodes d'étalonnage photométrique.

Le système d'étalonnage des pipettes (PCS®) d'Artel se sert du principe de la photométrie ratiométrique à deux colorants pour une vérification immédiate du volume. Le logiciel PCS permet une mesure rapide et exacte du volume de l'aliquote distribuée par les pipettes et convient parfaitement pour une vérification des pipettes sur place (par exemple, immédiatement avant utilisation, si la pipette est susceptible d'être endommagée, a été salie puis nettoyée) ainsi que pour une évaluation des compétences des opérateurs. Comme le PCS peut être utilisé dans le laboratoire d'un analyste, les défaillances de pipettes ou les erreurs de performances de pipetage d'un analyste peuvent être

identifiées plus rapidement. Lorsque les colorants appropriés sont utilisés, tel que recommandé dans la norme ISO 8655, partie 7, l'étalonnage à l'aide de la méthode de photométrie ratiométrique à deux colorants présente de nombreux avantages par rapport à l'étalonnage gravimétrique et peut donner des résultats avec une imprécision inférieure ou égale à 0,6 % et un CV inférieur ou égal à 0,3 %, pour des volumes allant de 0,1 µL à 5 000 µL.

Principes de la loi de Beer-Lambert

La loi de Beer-Lambert indique que lorsque la lumière traverse une solution contenant un chromophore, il existe une relation linéaire entre la concentration du chromophore dans la solution et la quantité d'énergie lumineuse que la solution peut absorber. Mathématiquement, la loi s'exprime ainsi :

$$A_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} l C$$

Dans cette équation, A_{λ} représente l'absorbance du chromophore à une longueur d'onde spécifique, λ . Le coefficient d'extinction molaire du chromophore à la longueur d'onde désignée est représenté par ε_{λ} , l est la longueur du trajet de la lumière qui passe à travers la solution et C est la concentration du chromophore dans la solution. Par conséquent, l'absorbance du chromophore à une certaine longueur d'onde est directement proportionnelle au produit du coefficient d'extinction, de la longueur d'onde et de la concentration du chromophore. Une application courante de ce principe est la détermination d'une concentration inconnue. Lorsque la longueur d'onde et le coefficient d'extinction sont connus, l'équation peut être manipulée pour trouver la concentration de chromophore dans la solution en lisant son absorbance à une certaine longueur d'onde¹¹.

Photométrie ratiométrique à deux colorants

Le PCS d'Artel utilise le principe de la photométrie ratiométrique à deux colorants associé à la chimie exclusive des colorants pour proposer des mesures de volume rapides, simples, traçables et fiables. Cette méthode d'étalonnage des pipettes, comme décrite par la norme ISO 8655-7, est reconnue pour la précision, l'exactitude et la fiabilité de sa mesure^{6,9}. Les absorbances des deux colorants (rouge et bleu, avec des maximums d'absorbance de 520 nm et 730 nm respectivement) sont analysées dans des conditions définies et la loi de Beer-Lambert est appliquée pour générer des données qui indiquent finalement la précision et l'exactitude d'une pipette manuelle. Dans la photométrie ratiométrique à deux colorants, les concentrations contrôlées avec précision des colorants bleu et rouge sont connues et les coefficients d'extinction molaire de ces derniers sont connus et constants. L'absorbance par unité de longueur d'onde peut être obtenue pour chaque colorant, ce qui permet de calculer le volume de colorant rouge distribué par la pipette (ainsi que son exactitude et sa précision)^{6, 12-15}.

Éléments du PCS

Le PCS d'Artel est conçu pour être compact et portable. Son petit encombrement facilite non seulement son utilisation dans tout laboratoire, mais également son transport entre ces derniers, ce qui permet d'étalonner les pipettes exactement là où elles sont utilisées. Les résultats fournis par le PCS sont traçables au SI par les normes NIST et NPL et les étalonnages des pipettes effectués avec le PCS sont conformes à de nombreuses exigences réglementaires comme CLIA et CAP. Le PCS est fréquemment utilisé dans les laboratoires se conformant au 21 CFR, partie 11, ainsi que ceux homologués aux diverses normes de gestion de la qualité, des tests, de l'étalonnage et clinique élaborées par l'AABB, le CAP, le CLSI et l'ISO. Les éléments du système PCS sont listés ci-dessous :

1. L'instrument PCS d'Artel lit et rapporte de manière fiable l'absorbance à 520 nm et 730 nm. Il est équipé d'un scanner de code-barres intégré et d'un couvercle à ouverture/fermeture automatique et peut mélanger des flacons.
2. Le logiciel PCS d'Artel contrôle le PCS et permet de planifier des étalonnages de pipettes, des vérifications intermédiaires de performances, des gestions d'inventaire de pipettes, des formations et évaluations des compétences des opérateurs de pipettes ainsi que des gestions de documents. La conformité au 21 CFR, partie 11, est simplifiée par le logiciel grâce à la mise en place de signatures électroniques, de pistes d'audit, de comptes d'utilisateur personnels avec mots de passe et de bases de données sécurisées. Il propose aussi des notifications par courriel, des contrôles de niveaux personnalisés par utilisateur et un processus entièrement numérique d'examen, d'approbation et de validation.
3. Un ordinateur portable compatible avec le logiciel PCS permet à l'instrument PCS d'être facilement transporté d'un laboratoire à l'autre. Le logiciel peut également être déployé sur un réseau, ce qui facilite l'accès à distance, la création d'un rapport et l'examen lors de gestion de la qualité.
4. Une imprimante pour étiquettes est fournie pour la création d'étiquettes de code-barres et d'étalonnage des pipettes.
5. Des solutions d'échantillon PCS pouvant recevoir des volumes allant de 0,1 µL à 5 000 µL (tableau 1). Les résultats provenant de l'utilisation des solutions d'échantillon PCS sont traçables au Système international d'unités (SI) par les normes NIST et NPL.


Tableau 1. Solutions d'échantillon PCS et volumes de pipette associés.

Solution d'échantillon	Volume de pipette
1	200 µL – 5 000 µL
2	50 µL – 199 µL
3	10 µL – 49,9 µL
4	2,0 µL – 9,9 µL
5	0,50 µL – 1,99 µL
6	0,10 µL – 0,499 µL


6. Grâce au kit de calibrateurs de l'instrument PCS, l'utilisateur peut étalonner l'instrument rapidement et facilement. Le kit de calibrateur contient 4 flacons de différentes solutions d'étalonnage qui restent scellés et sont réutilisables pour que l'utilisateur puisse étalonner le PCS aussi souvent que nécessaire. Comme le PCS peut être facilement étalonné sur site, il n'est pas nécessaire qu'un technicien spécialisé effectue l'étalonnage.

Flux de travail PCS


Le fonctionnement du PCS suit un flux de travail facile qui peut s'effectuer en quelques minutes. À l'aide d'instructions simples à suivre, le processus complet peut être introduit sans difficulté dans tout environnement de laboratoire. Le flux de travail basique inclut cinq éléments (sélectionner pipette, sélectionner tâche, scanner réactifs, distribuer échantillon et examiner résultats); le processus de base est montré à la figure 2.




- Identifier la pipette dans le logiciel
- Scanner le code-barres sur la pipette



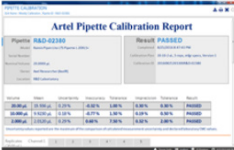
- Sélectionner la tâche : étalonner, former/évaluer ou mesurer volume
- Préciser le volume de test



- Scanner la solution témoin (bleue)
- Scanner la solution échantillon (rouge)



- Distribuer la solution échantillon (rouge)
- Obtenir des résultats en temps réel



- Examiner, approuver et valider numériquement les rapports et les données d'étalonnage.

Figure 2. Résumé du flux de travail PCS

Applications du PCS

Le PCS a de nombreuses applications utiles qui peuvent être effectuées dans n'importe quel laboratoire, en fonction des besoins.

L'**étalonnage** est traditionnellement effectué par un laboratoire de métrologie en interne ou par un prestataire de services tiers. Cette fonction est utilisée à intervalles réguliers par un spécialiste qualifié pendant, et parfois en tant qu'étape de maintenance préventive. La procédure d'étalonnage comprend généralement une vérification des performances (avant étalonnage), suivie d'une maintenance et d'un réglage de l'appareil, puis, si besoin, l'après-étalonnage final. Il s'agit souvent d'une approche itérative.

La **formation et l'évaluation des compétences** constituent un mécanisme nécessaire pour assurer une technique de pipetage standardisée entre diverses pipettes et différents opérateurs et laboratoires au sein d'une même organisation. La formation est particulièrement importante pour les nouveaux employés, indépendamment de leur expérience. De plus, le PCS est utilisé pour vérifier les compétences de l'opérateur, ce qui intervient généralement à intervalles réguliers et programmés. Il peut également servir suite à une variabilité croissante des dosages ou dans le cadre d'une ACP (action corrective et préventive), s'il est utilisé au sein d'un laboratoire réglementé cGMP. Si une position proactive est adoptée et si une formation et un programme d'évaluation des compétences est mis en place, sans tenir compte de la survenue d'un problème, alors le coût de défaillance est réduit au minimum. En outre, une formation et un programme d'évaluation des compétences sensibilisent constamment les utilisateurs quant à l'importance des techniques de pipetage, ce qui améliore les chances de succès des dosages. Un exemple de l'importance de la formation est décrit à la figure 3. Cet exemple montre les résultats de deux groupes de bref cours lors duquel les participants ont pipeté tels qu'ils l'auraient normalement fait sans conseil (avant formation). Après évaluation des résultats et discussion sur les techniques correctes, les deux mêmes groupes ont de nouveau pipeté avec les conseils de l'instructeur (après formation). Comme les résultats permettent de le constater, une nette amélioration des performances de pipetage est survenue, quelle que soit l'expérience.

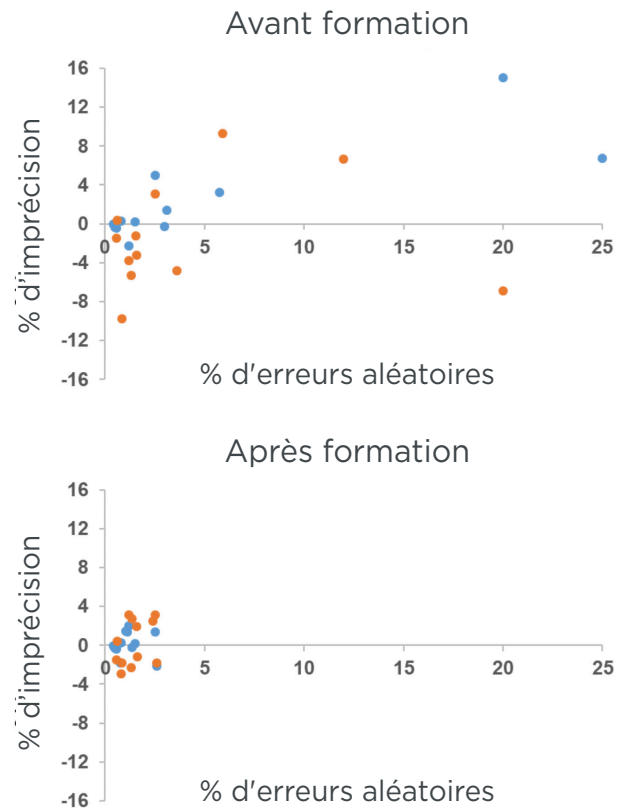


Figure 3. Effets de la formation sur les performances de pipetage sur deux groupes différents de participants à un bref cours dans ce secteur (●Groupe 1 et ●Groupe 2).

Les vérifications intermédiaires des performances peuvent servir en complément des programmes d'étalonnage complets. En effectuant des vérifications entre les cycles d'étalonnage, les utilisateurs peuvent détecter des pipettes défectueuses le plus tôt possible, ce qui réduit le temps nécessaire à la mise en œuvre d'une action corrective en cas de non-conformité. Les vérifications intermédiaires des performances sont particulièrement importantes dans les laboratoires réglementés pour lesquels le coût de défaillance est plus élevé. Elles peuvent également servir à déterminer la fréquence d'étalonnage, et les résultats des vérifications intermédiaires font souvent partie des rapports de performance officiels d'une pipette.

La vérification rapide est une application souvent utilisée dans de nombreux laboratoires dans lesquels un utilisateur vérifie les performances, car il suspecte quelque chose. Parmi les exemples figurent la chute d'une pipette sur la table de laboratoire ou sur le sol, l'essai de nouveaux embouts de pipette, des résultats d'un dosage de routine qui montrent une tendance hors spécifications, etc.

Résumé

Ce livre blanc présente les technologies de photométrie ratiométrique à deux colorants mises en œuvre pour le PCS d'Artel, leader du secteur. La plateforme PCS fournit une approche complètement intégrée et simplifiée à l'étalonnage de pipettes, aux vérifications intermédiaires, aux formations et à l'évaluation des compétences des opérateurs, ainsi qu'aux résultats traçables au SI par les normes NIST et NPL. Le flux de travail inclut une interface logicielle facile à suivre et permet un système entièrement numérique d'examen et d'approbation ainsi qu'une intégration sans difficulté à tout environnement réglementé dans lequel des pipettes manuelles sont utilisées. Le PCS simplifie la conformité d'un laboratoire avec toutes les exigences réglementaires pour l'étalonnage des pipettes, la vérification intermédiaire, la formation et l'évaluation des compétences des opérateurs ainsi que la sauvegarde de rapports électronique conformément au 21 CFR, partie 11. Le PCS aide le responsable du laboratoire à maintenir un état prêt pour audit de l'étalonnage des pipettes et des documents de formation des opérateurs, tout en augmentant la confiance envers l'intégrité des données du laboratoire.

Références

1. Curtis R.H., Rodrigues G. *Pipette Performance Verification: An Important Part of Method Validation*. *Am Lab News*. 2004.
2. Vaccaro, W. *Minimizing Liquid Delivery Risk: Operators as Sources of Error*. *Am Lab*. 2007; 39(17):16-17.
3. Carle, A.B. *Five Good Reasons – The Argument for Pipetting Technique Training*, MLO. Juillet 2013; 45(7):58-62
4. Artel. *Calibration Frequency for Pipettes* (Lab Report 6).
5. ISO 8655-6:2002. *Piston-operated Volumetric Apparatus - Part 6: Gravimetric Methods for the Determination of Measurement Error*. International Organization for Standardization, Genève, Suisse. 2002.
6. ISO 8655-7:2005. *Piston-operated Volumetric Apparatus - Part 7: Non-gravimetric Methods for the Assessment of Equipment Performance*. International Organization for Standardization, Genève, Suisse. 2005.
7. ASTM E 1154-14 (re-approved 2014). *Standard Specification for Piston or Plunger Operated Volumetric Apparatus*. ASTM International, West Conshohocken, PA. 2014.
8. *Volume Comparison on Calibration of Micropipettes -Gravimetric and Photometric Methods*. EURAMET Study 1353, Final Report. 2016. www.euramet.org
9. Rodrigues G., Curtis R. *Instrument Performance Verification: Micropipettes*. In: Chan CC, Lam H, Zhang XM, eds. *Practical Approaches to Method Validation and Essential Instrument Qualification*. John Wiley & Sons, Inc.; 2010:327-346.
10. Rodrigues G. *Bias, Uncertainty and Transferability in Standard Methods of Pipette Calibration*. Westbrook, ME; 2003.
11. Skoog D.A., Holler F.J., Crouch S.R. *Principles of Instrumental Analysis* Sixth Edition; 1998.
12. Curtis, R.H. *Photometer Having a Long lamp Life, Reduced Warm-up Period and Resonant Frequency Mixing*. (US Patent No. 5,092,677). 3 mars 1992.
13. Curtis, R.H., Rundell, A.E. *Pipette Calibration System*. (US Patent No. 5,298,978). 29 mars 1994.
14. Curtis, R.H., Rundell, A.E. *Reagent System for Calibration of Pipettes and Other Volumetric Measuring Devices*. (US Patent No. 5,492,673). 20 février 1996.
15. Curtis, R.H. *Performance Verification of Small Volume Mechanical Action Pipettes*. *Cal. Lab*. 1996; 3: 23–28.

Artel conçoit, développe, fabrique, distribue et offre de l'assistance pour les systèmes d'analyse dont des instruments, des consommables et des logiciels pour des applications d'assurance qualité lors de la manipulation de liquides en laboratoire. L'entreprise propose également des formations liées et des services sur le terrain.

© 2019 Artel, Inc. Tous droits réservés. Imprimé aux États-Unis. Dual-Dye Ratiometric Photometry™ est une marque commerciale d'Artel, Inc.
PCS® and MVS® sont des marques déposées d'Artel, Inc.