

## TRAITEMENT STATISTIQUE

# La répétabilité comme critère pertinent pour l'évaluation des tissus d'essuyage

Par JAY POSTLEWATE et SANDEEP KALRIKAR, Texwipe

Comment évaluer la qualité des tissus essuyage ? Et comment mesurer la constance de cette qualité d'un tissu et d'un lot à l'autre ? Pour répondre à ces questions, le fabricant américain Texwipe a mis en œuvre une méthode statistique plus fiable pour le contrôle de ses produits et de ses procédés.

Les salles propres sont conçues pour maîtriser la contamination, soit en la confinant hors de l'environnement non contrôlé. Différents secteurs industriels peuvent être sensibles à des niveaux variables aux différentes sources de contamination lors de leurs opérations. Il est possible qu'un laboratoire pharmaceutique ne considère que les grandes fibres comme risque significatif pour leur processus aseptique dans la production de médicaments parentéraux, tandis que même de simples traces

de contamination par des composants élémentaires peuvent sévèrement impacter certains procédés de semi-conducteurs.

Les tissus d'essuyage sont utilisés à grand échelle dans plusieurs industries comme élément du protocole de nettoyage prescrit pour la maintenance de l'environnement contrôlé. Les tissus d'essuyage sont utilisés pour nettoyer les surfaces, les équipements, les chambres de process et les outils, pour nettoyer ce qui a été renversé, ou pour servir de plan de travail. Les tissus d'essuyage ont un rôle si important au sein des salles propres qu'un fort accent est mis sur leur propreté. Or, même des

tissus d'essuyage avec des niveaux bas de propreté peuvent constituer une source de contamination. Il est donc essentiel que leur qualité et que leur niveau de propreté soient mesurés et comparés de façon adéquate.

## Méthodes d'évaluation de la qualité des tissus d'essuyage

La qualité d'un tissu d'essuyage de salle propre est habituellement évaluée à travers une série de caractéristiques de performance, notamment la matière constitutive et la microstructure du tissu, sa capacité et sa vitesse d'absorption, la charge particulaire des différentes tailles, la biocharge, les résidus non volatiles ou encore les ions, les métaux. Le personnel responsable de l'environnement contrôlé détermine en général judicieusement les caractéristiques qui sont les plus critiques pour eux. Des protocoles d'essai existent afin de fournir des méthodes communes d'évaluation des tissus d'essuyage en utilisant les résultats de ces essais. L'IEST-RP-CC004.3, *Evaluating Wiping Material Used in Cleanrooms and Other Controlled*

*Environments* [1], décrit les différents types de contamination en lien avec la propreté des tissus d'essuyage. Les trois principaux types de contamination décrits sont les particules et les fibres, les ions, et la quantité de matière non volatile extractible.

## Particules et fibres

L'IEST-RP-CC004.3, Section 6, décrit deux méthodes d'énumération des particules et fibres. Le processus général pour compter les particules et les fibres est d'extraire les particules dans une solution, puis de compter les particules extraites. La solution de test peut être de l'eau pure ou de l'eau avec un additif pour baisser la tension surfacique. Un certain type de mouvement est mis en œuvre pour transférer les particules du tissu d'essuyage vers la solution d'extraction. L'intensité du mouvement fait varier le nombre de particules disponibles pour le comptage. Plus le mouvement est intense, plus ce nombre augmente. En général, les générateurs de mouvement sont des mélanges orbitaux (moins intenses) ou bi-axiaux (plus intenses). Deux →

→ méthodes de comptage particulaire sont décrites dans le référentiel : le comptage particulaire liquide (LPC), qui repose sur un processus de diffusion de lumière, et la microscopie électronique à balayage (SEM). Une fois les particules dans la solution, le nombre de particules est évalué sous forme de comptages particuliers.

Lorsque le mouvement est généré par un mélangeur orbital, un tensioactif peut être utilisé puisque la solution d'extraction est filtrée pour l'analyse optique et par microscopie électronique à balayage. Une explication plus détaillée de cette extraction et de cette méthode de mesure est présentée dans l'ASTM Standard E 2090, *Standard Test Method for Size-Differentiated Counting of Particles and Fibers Released from Clean Room Wipers Using Optical and Scanning Electron Microscopy* [2].

Lorsque le mouvement est généré par un mélangeur axial, le tissu

d'essuyage est extrait au moyen d'eau uniquement. L'instrument traditionnel pour l'analyse de petites particules ( $> 0,2 \mu\text{m}$  ou  $> 0,5 \mu\text{m}$ ) est le compteur de particules liquide (LPC). Un LPC fonctionne par diffusion de lumière. L'usage d'un tensioactif générerait des bulles pouvant interférer dans le comptage des particules.

### Contamination ionique

Des ions extractibles ou lessivables peuvent être contenus dans le tissu après la fabrication et représenter une source de contamination. Les cations types sont le chlorure, le fluorure, le nitrate, le nitrite, le sulfate et le phosphate. Il est important d'évaluer précisément la charge ionique introduit par le tissu en salle propre. Les niveaux ioniques sont généralement déterminés par chromatographie à échange d'ions (IC). D'autres techniques d'analyse peuvent inclure la spectrométrie de masse d'un plasma à couplage inductif (ICP-MS) et la spectrométrie d'émission optique (ICP-OES).

Pour extraire les ions, un tissu d'essuyage est trempé dans de l'eau à une température donnée et pour une durée spécifiée. On fait varier la température d'extraction et le temps selon le type d'information recherché. La température d'extraction peut être ambiante ou élevée ( $80^\circ\text{C}$  est fréquent). Le temps d'extraction, de quinze minutes à vingt-quatre heures, varie selon la température. Les extractions réalisées à température élevée et pour une courte durée permettent d'évaluer la contamination ionique maximum que contient le tissu d'essuyage. Les extractions réalisées à la température ambiante sont destinées à estimer la quantité d'ions pouvant être extraite en cours d'utilisation.

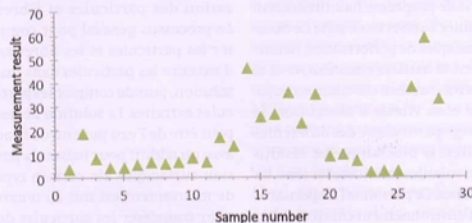
### Matière extractible

Des quantités infimes d'huile de finition ou d'autres additifs utilisés dans la fabrication de tissus sont susceptibles d'être présentes dans le tissu sous la forme de contaminants extractibles ou lessivables une fois la fabrication achevée. Pour déterminer la quantité de matière extractible, un tissu d'essuyage est trempé dans un solvant à une température donnée et pour une durée spécifiée. La quantité de matière extractible pour un solvant donné dépend de la durée et de la température de l'extraction. En général, le solvant est choisi est identique à celui qui sera en contact avec le tissu lors de son utilisation. Une extraction réalisée au point d'ébullition ou à niveau proche conduira à extraire davantage de matière. Une extraction à température ambiante permettra d'estimer la quantité de matière relarguée par le tissu lors de son utilisation. L'extraction s'effectue avec un excès de solvant à un temps et à une température donnés. La solution est séchée et la quantité de matière extraite est déterminée par gravimétrie. Les résultats sont reportés en pourcentage ou par la multiplication du poids de base du tissu d'essuyage en grammes par mètres carrés.

### Test des tissus d'essuyage et contrôle statistique du procédé

Comme élément de tout programme de contrôle statistique d'un procédé, les fabricants de tissus d'essuyage produisent des données pertinentes pour surveiller le processus de nettoyage (par exemple la charge particulaire) à un tissu d'essuyage traité. Des méthodes statistiques sont utilisées pour analyser ces données, afin de mesurer la variabilité inhérente au processus de

#### 1 Graphique de contrôle classique des résultats de test de tissus d'essuyage sur les lots fabriqués



#### 2 Exemple de tableau de distribution t des valeurs

n-1	$\alpha$ , the significance level of the test			
	0.5	0.1	0.05	0.01
10	0.700	1.812	2.228	3.169
20	0.687	1.725	2.086	2.845
Infinity	0.674	1.645	1.960	2.576

nettoyage. L'objectif est généralement de maintenir le contrôle statistique et d'améliorer la capacité du processus de nettoyage à produire un tissu d'essuyage avec un faible nombre de particules et une faible variabilité. Réduire la variabilité permet d'établir un processus plus constant avec à la clé une production de tissus plus homogène. Pour obtenir ces données, un échantillon représentatif (par exemple un sac dans un lot) peut être analysé au plan particulière. Au fil du temps, différents lots de ce produit sont fabriqués, et le niveau particulière est mesuré pour chaque lot. Les données récoltées sont représentées dans la **figure 1**.



### Traitement statistique

Supposons maintenant que le processus de nettoyage analysé ait été modifié. Combien de points de mesure doivent être générés pour déterminer si un changement dans le processus de nettoyage a affecté son efficacité de façon significative. Autrement dit : le tissu d'essuyage est-il plus propre ? Pour répondre à cette question, une approche statistique est nécessaire [3]. La réponse est influencée par la différence des moyennes (moyenne ou somme des valeurs divisée par le nombre de points) dans les séries de données, la variabilité (écart-type ou distance moyenne entre chaque donnée et la moyenne) dans l'ensemble des données, et le niveau acceptable de risque pour déterminer si le changement induit une différence ou non. Le coût et le temps pour obtenir les informations nécessaires sont également affectés, mais ne font pas partie du traitement statistique des données.

Notons que cette discussion vaut pour toute variable. La distribution  $t$  dans le test  $t$  (test de Student) présentée dans les paragraphes suivants

est adimensionnelle. Le traitement statistique peut être appliqué pour comparer différents procédés d'extraction qu'il s'agisse des niveaux d'ions métalliques (eau chaude vs eau froide), de la charge particulière (mélange orbital vs mélange biaxial), ou des solvants d'extraction pour l'évaluation des résidus non volatiles (acétone vs alcool isopropylique). Ce traitement statistique peut également être utilisé pour déterminer si différents techniciens obtiennent différents résultats d'essais, ou encore pour évaluer le rendement de différentes lignes de fabrication réalisant le même produit. Le nombre de points de données nécessaires pour chaque ensemble de données est fonction de la différence des moyennes de la série et de l'écart-type général de ces séries.

L'équation à utiliser est le résultat du test  $t$  (test de Student).

$$t = \frac{S_p(\mu)}{|\mu_a - \mu_b|} \quad (1)$$

Où :  
les barres verticales indiquent la valeur absolue de la différence dans les moyennes,  $\mu$  ;

$\mu_a$  et  $\mu_b$  sont respectivement les moyennes des données et avant et après le changement, et  $S_p(\mu)$  est l'écart-type combiné des moyennes.

La distribution  $t$  est une estimation de la distribution normale (une répartition paramétrique définie par deux paramètres, la moyenne,  $\mu$ , et l'écart-type,  $\sigma$ ) lorsque l'échantillon est de petite taille et que l'écart-type de la population n'est pas connu. La distribution  $t$  est influencée par le nombre de degrés de liberté : en général, le nombre de points de mesure moins un,  $n-1$ , est utilisé pour calculer la valeur de  $S_p(\mu)$ . La distribution  $t$  a une distribution différente pour chaque nombre de points de mesure. Lorsque le nombre de points de mesure approche l'infini, la distribution  $t$  avoisine la distribution normale. On peut trouver les valeurs de la distribution  $t$  dans des tableaux standards. Elles sont référencées comme tableau 6 dans Volk [3] (**tableau A**). Les valeurs du tableau sont déterminées par le nombre de degrés de liberté, et la valeur significative,  $\alpha$ , par niveau de signification du test.

L'hypothèse nulle,  $H_0$ , est définie lorsque les deux moyennes sont identiques :  $\mu_a = \mu_b$ . La valeur  $t$  calculée dans l'équation 1 est utilisée pour admettre ou rejeter cette hypothèse. Lorsque l'hypothèse est acceptée, c'est-à-dire que les moyennes sont identiques, la valeur  $t$  est inférieure à la valeur  $t$  du tableau. Lorsque l'hypothèse nulle est rejetée, c'est-à-dire que les moyennes sont différentes, la valeur  $t$  calculée est supérieure à celle figurant dans le **tableau A**. Deux types d'erreur peuvent survenir dans ce test. Une erreur de type I, un faux positif, est un faux rejet des moyennes égales. Les moyennes sont identiques, mais l'information issue des données indique qu'elles sont différentes. À mesure que la valeur de  $\alpha$  diminue, le risque de faux positif diminue. L'autre erreur, de type II, est le faux négatif. Cette erreur consiste en un faux rejet de moyennes différentes. Les moyennes sont différentes, mais les données indiquent qu'elles sont identiques. La probabilité que cette erreur survienne est définie comme  $\beta$ . La quantité,  $1-\beta$ , est définie comme la puissance du test.

$\alpha$  et  $\beta$  sont liés l'un à l'autre. À mesure que diminue la valeur de  $\alpha$  (ce qui garantit qu'il n'y a pas de faux positif), le risque d'un faux négatif augmente. Avec une valeur fixe de  $\alpha$ ,  $\beta$  ne peut augmenter qu'en augmentant le nombre de points de mesure.

La discussion ci-dessus est résumée dans le **tableau B**.

Un exemple d'erreur de type I (faux positif) est le fait de diagnostiquer un cancer chez un patient alors que ce patient n'a pas de cancer. Comme exemple d'erreur de type II (faux négatif), le fait de supposer que l'équipement d'analyse fournit des résultats corrects alors ➔

→ que celui-ci est cassé et que les résultats sont insignifiants.

Le nombre minimum de points nécessaires pour déterminer si la moyenne de deux séries de données sont différentes est défini par la différence des moyennes des séries de données, la variabilité dans la série de données, et le niveau de risque d'erreurs de types I et II acceptable à partir des valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$  choisies. Le **tableau C** est basé sur Volk [3], tableau 6.10 *The Number of Observations Needed in a t Test of the Significance of a Mean, In Order to Control the Probabilities of Errors of Types I and II at  $\alpha$  and  $\beta$ , Respectively*. Le nombre d'observations ou de points nécessaires dans une série de données est l'intersection de la valeur de  $|\mu_1 - \mu_2|/S_p(X)$  et des valeurs combinées de  $\alpha$  et  $\beta$ . Si la différence entre les moyennes et l'écart-type est identique ( $|\mu_1 - \mu_2|/S_p(X) = 1$ ) et qu'on choisit 0,05 comme valeur de  $\alpha$  et  $\beta$ , le nombre minimum de points nécessaires pour faire la distinction entre deux moyennes est 16, c'est-à-dire qu'au moins

16 points de mesure sont nécessaires pour chaque série de données. Si davantage de risque est acceptable, et que  $\alpha$  et  $\beta$  valent 0,10, un minimum de 11 points de mesure pour chaque série de données est requis. Lorsque l'écart-type des données diminue (ce qui signifie que les valeurs de la série de données sont plus proches les unes des autres), le nombre minimum de points de mesure nécessaires dans chaque série de données diminue. Par exemple, si l'écart-type vaut la moitié de la différence des moyennes ( $|\mu_1 - \mu_2|/S_p(X) = 2$ ) et  $\alpha$  et  $\beta$  sont fixés 0,05, le nombre minimum de points de mesure est 6, ou 10 points de mesure de moins.

Ce résultat montre clairement qu'analyser seulement un ou quelques lots (points de mesure) ne suffit pas à déterminer si un changement a impacté un procédé ou à distinguer deux procédés ou produits similaires. Pour réaliser une évaluation pertinente et statistiquement viable de l'impact de tels changements, il est indispensable

d'analyser un nombre suffisamment important de points de mesure. Des changements sur le procédé ou les différences entre deux procédés ou produits similaires sont plus aisément identifiables lorsque la variabilité est plus faible.

### Anatomie d'un diagramme de répétabilité

Une méthode statistiquement non biaisée (aucune distribution et paramètres ne sont supposés) pour évaluer de nombreuses grandes séries de données passe par l'usage d'un diagramme de répétabilité (également nommé « boîte à moustache »). Ces diagrammes représentent les séries de données de façon picturale. Les éléments de la boîte à moustache de ce diagramme sont déterminés au moyen des points de mesure individuels de la série de données. Un des avantages clés du diagramme de répétabilité tient au fait que, étant défini par cinq points au lieu de deux (moyenne et écart-type), il apporte davantage d'informations sur la série de données.

Les éléments d'une boîte à moustache sont déterminés par les points de mesure eux-mêmes. Il s'agit de :

- la ligne – représentant la médiane ou la valeur centrale d'un ensemble de données classées (les valeurs extrêmes n'influencent pas la valeur médiane au point qu'une moyenne soit affectée) ;
- la boîte – représentant la gamme de valeurs dans laquelle sont contenues 50 % des données. Si la ligne médiane est plus proche d'un des bords de la boîte, les données sont biaisées vers ce bord. Une boîte plus petite indique que les valeurs au sein de la séquence de la moustache sont similaires les unes aux autres.

• La moustache – ligne à la fin de chaque boîte qui représente une gamme de valeurs dans laquelle sont contenus 25 % de la série de données. Une moustache courte indique que les valeurs au sein de la boîte sont plus similaires.

• Les valeurs aberrantes – indiquant les points significativement différents du reste de la série de données.

Les diagrammes de répétabilité sont construits selon les étapes suivantes :

- 1) Les valeurs des séries de données sont classées de la plus haute à la plus basse.
- 2) Les valeurs classées sont divisées en quartiles.
- 3) La boîte est construite avec les valeurs des premier et troisième quartiles.
- 4) Les bords de la moustache sont définis

$$W_U = Q3 + 1,5 * IQR \quad (2)$$

$$W_L = Q1 - 1,5 * IQR \quad (3)$$

Où :

$W_U$  et  $W_L$  sont respectivement les valeurs les plus hautes et les plus basses de la moustache,  $Q1$  et  $Q3$  sont les valeurs des premier et troisième quartiles, respectivement, et  $IQR$  est la plage intra-quartile, la différence entre  $Q1$  et  $Q3$ .

5) Les valeurs aberrantes, qui représentent n'importe quelle valeur au-delà des valeurs de la moustache, sont déterminées et indiquées par un astérisque.

Une fois assemblée à partir d'un nombre adéquat de points de mesure, un diagramme de répétabilité constitue une représentation non biaisée des données disponibles pour un tissu donné. Considérées conjointement, des

### ⓑ Comparaison de la réalité avec les résultats des analyses de données qui donneront les erreurs de type I et de type II

	Reality: $H_0$ is true, $\mu_1 = \mu_2$	Reality: $H_0$ is false, $\mu_1 \neq \mu_2$
Data set comparison indicates rejecting $H_0$	Type I error False positive	Correct outcome True positive
Data set comparison indicates not rejecting $H_0$	Correct outcome True negative	Type II error False negative

### Ⓒ Exemple de tableau de détermination du nombre de points de mesure minimum pour le contrôle des erreurs de type I et de type II

	Significance value, $\alpha = 0.05$	Significance value, $\alpha = 0.10$
$ \mu_1 - \mu_2 /S_p(X)$ value	$\beta = 0.05$	$\beta = 0.10$
1.00	16	11
2.00	6	---

médianes plus basses, de plus petites boîtes et des moustaches plus courtes indiquent un tissu d'essuyage à la fois plus propre et d'une qualité constante. Contrairement à la simple lecture d'une valeur moyenne et peut-être d'un écart-type, un diagramme de répétabilité représente la véritable qualité d'un tissu pour salle propre.

### Comment évaluer un tissu d'essuyage pour salle propre ?

#### Évaluation comparative

Il est courant d'évaluer les spécifications techniques en comparant les tissus d'essuyage à travers une série de tests de performance. Ceux-ci sont souvent représentés par des « valeurs types ». Cependant, de telles valeurs de test ne sont rien de plus que des points de mesures individuels à partir d'un lot donné, qui peuvent être absolument non représentatives de la qualité des tissus réellement utilisés dans la salle propre. L'évaluation la moins biaisée de la propreté d'un tissu d'essuyage pour salle propre passerait par un diagramme de répétabilité pour tous les paramètres de performance testés sur une certaine période. Cela représenterait un échantillon statistiquement pertinent de données de test (un minimum de 11 échantillons en fonction de la variabilité des données), et indiquerait à quel point ces données sont variables sur une période. Au final, l'important pour l'utilisateur est bien que n'importe quel tissu, tiré d'un sac ou d'un lot soit le plus proche possible de n'importe quel autre tissu de la gamme en termes de propreté. De plus grandes variations (mises en évidence par de plus grandes boîtes et de plus longues moustaches) indiqueraient

une plus grande variabilité dans la propreté des tissus d'essuyage exposant à un risque le process et les produits qui dépendent justement des niveaux de propreté spécifiques.

Des tissus d'essuyage d'une qualité plus constante fournissent à l'utilisateur une plus grande garantie que n'importe quel tissu d'essuyage, issu de n'importe quel sac ou lot, réellement identique aux autres, du point de vue des résultats d'essais.

La **figure 2** montre une comparaison des séries de données pour quatre tissus d'essuyage. Les données ont été obtenues par la méthode décrite dans l'IEST-RP-CC004.3, Section 6, biaxial shake, >0,5 µm LPC (liquid particle counting) analysis of wipers.

#### Observations

On peut réaliser les observations suivantes à partir de la **figure 2**:

- Le tissu d'essuyage 1 présente la plus petite boîte et les plus petites moustaches. Le tissu d'essuyage 3 affiche une valeur aberrante identifiée à la fois l'astérisque et la longueur de la moustache.

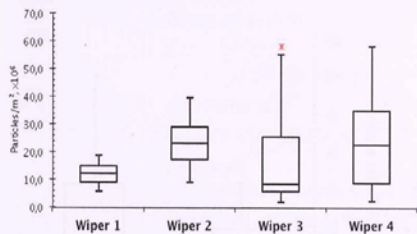
- 25 % des résultats d'essais pour le tissu d'essuyage 3 sont inférieurs à ceux du tissu d'essuyage 1. La série de données pour le tissu d'essuyage 1, soit l'intégralité de la boîte à moustache, est contenue dans les limites de la boîte du tissu d'essuyage 3.

- Les médianes des tissus d'essuyage 1 et 2 sont similaires. Le tissu d'essuyage 3 a la médiane la plus basse.

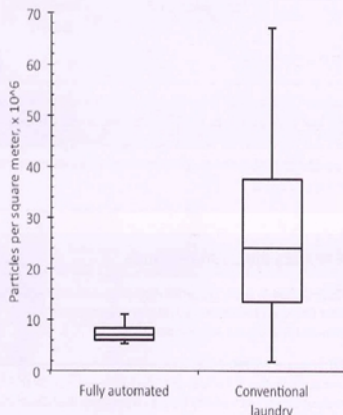
- Le tissu d'essuyage 4 présente la plus grande boîte ainsi que la plus grande étendue dans les données.

En résumé, le tissu d'essuyage 1 se révèle être le meilleur parce qu'il a la plus petite boîte et →

### 2 Diagramme de répétabilité comparant les séries de données de l'IEST-RP-CC004.3, Section 6, biaxial shake, >0,5 µm LPC (liquid particle counting) analysis pour quatre tissus d'essuyage

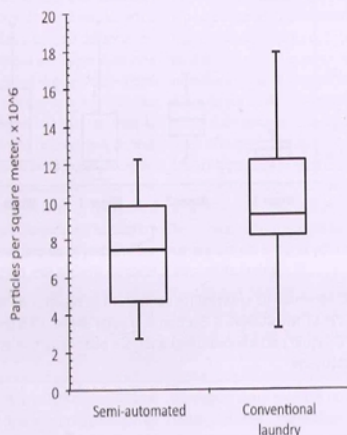


### 3 Diagramme de répétabilité comparant le résultat de test de l'IEST-RP-CC004.3, Section 6, biaxial shake, >0,5 µm LPC (liquid particle counting) analysis pour deux tissus d'essuyage



Le produit identifié comme « fully automated » est fabriqué dans un mini-environnement entièrement automatisé, sans aucun contact humain. Le produit identifié comme « Conventional laundry » est fabriqué dans une blanchisserie conventionnelle en salle propre.

4 Diagramme de répétabilité comparant les résultats de test de l'IST-RP-CC004.3, Section 6, *biavial shake*, >0,5 µm LPC (liquid particle counting) analysis pour deux tissus d'essuyage



Les tissus sont tous deux 100 % polyester avec une structure de maille identique, fabriqués avec deux procédés de nettoyage différents. Le tissu d'essuyage identifié comme « semi-automated » est exposé à des contacts intermittents avec des personnels. Le produit identifié comme « conventional laundry » est réalisé dans une blanchisserie de salle propre.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **IST-RP-CC004.3**, 2004. *Evaluating Wiping Materials Used in Cleanroom and Other Controlled Environments*. Arlington Heights, IL: Institute of Environmental Sciences and Technology, www.iesl.org.
- **ASTM Standard E 2090**, 2006. *Standard Test Method for Size-Differentiated Counting of Particles and Fibers Released from Clean Room Wipers Using Optical and Scanning Electron Microscopy*. West Conshohocken, PA: ASTM International, www.astm.org.
- **Volk, W.** 1958. *Applied Statistics for Engineers*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- **Tukey, J.** 1977. *Exploratory Data Analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.

→ la plus petite moustache. Le tissu d'essuyage 3 a une médiane plus basse. Cependant le tissu d'essuyage 1 est le plus homogène aux niveaux de propreté réclamés.

### Effet de l'automatisation sur la répétabilité

La figure 3 montre une comparaison du diagramme de répétabilité de deux tissus d'essuyage. Les données ont été obtenues par la méthode décrite dans l'IST-RP-CC004.3, Section 6, *biavial shake*, >0,5 µm LPC (liquid particle counting) analysis of wipers. Le produit identifié comme « fully automated » est fabriqué dans un mini-environnement entièrement automatisé et sans aucun contact humain. Le produit identifié comme « conventional laundry » est réalisé dans une blanchisserie conventionnelle en salle propre avec manipulation manuelle.

L'automatisation est un facteur reconnu de réduction de la variabilité d'un procédé. De plus, supprimer le contact humain entraîne une réduction des niveaux de particules mesurées sur les tissus, le personnel restant la principale source d'émissions particulières de différentes tailles. Combiner un environnement excluant toute présence humaine à un procédé de nettoyage des tissus automatisé permet de produire à la fois un tissu plus propre et d'une qualité constante.

La figure 4 montre une comparaison de séries de données pour deux tissus d'essuyage. Les données ont été obtenues au moyen de la méthode décrite dans l'IST-RP-CC004.3, Section 6, *biavial shake*, >0,5 µm LPC (liquid particle counting) analysis of wipers. Le tissu d'essuyage identifié comme « semi automated » est fabriqué par un procédé dans lequel les personnels ont des contacts intermittents avec le produit. Le produit

identifié comme « Conventional laundry » est réalisé dans une blanchisserie où chaque tissu est exposé à au personnel et à l'environnement. Même un procédé partiellement automatisé permet de réduire la variabilité d'un produit.

### Conclusions

Choisir le meilleur tissu d'essuyage pour des applications spécifiques nécessite l'évaluation scientifique la moins biaisée des données disponibles pour n'importe quel tissu d'essuyage donné. La comparaison des diagrammes de répétabilité permet la détermination rapide du procédé ou du tissu d'essuyage répondant le mieux aux besoins de l'utilisateur. La qualité constante d'un tissu d'essuyage donne à l'utilisateur une plus grande confiance dans la performance du tissu du fait de la régularité de sa propreté au fil du temps.

La qualité d'un tissu d'essuyage pour salle propre ne devrait donc pas seulement être évaluée à travers une valeur type ou moyenne, mais surtout par une évaluation statistiquement valide de la régularité avec laquelle cette valeur type est atteinte dans la pratique, sur une longue période, et pour un procédé donné.

Plus l'automatisation du procédé est poussée, plus le niveau de contamination des tissus et la variabilité de ce niveau diminuent. Ce qui importe vraiment dans une opération de nettoyage critique est que chaque tissu d'essuyage, chaque sac et chaque lot soient livrés à l'utilisateur final avec le plus haut niveau de garantie de la qualité attendue. Les diagrammes de répétabilité offrent la représentation la moins biaisée de la constance de qualité des tissus d'essuyage contenus dans un sac ou dans un lot, sur le long terme. ■