

Lettre Trimestrielle



Date: 10/09/2014

Message de l'auteur

Cette lettre trimestrielle a pour but de donner des informations spécifiques à un public ciblé.

Elle est réservée à celles ou à ceux qui se sont inscrit volontairement sur le site www.demarcheiso17025.com afin de mieux s'informer sur l'accréditation et de développer une connaissance plus riche de la norme et des référentiels associés.

Good bye Holiday.

Vous nous revenez en pleine forme, le teint hâlé, des souvenirs plein la tête, des rencontres sympathiques, quelques kilos en trop ou à contrario, malade, blanc comme un linge, la tête bien vide, très seul(e) et amaigri(e), eh bien ! le monde ne s'est pas arrêté de tourner pour autant et il faudra tout de même affronter les soucis de rentrée de ce dernier trimestre et ses traditionnels bilans (revue de direction, entretiens individuels, préparer les objectifs 2015,..).

Vous souhaitant bonne lecture de ce dixième numéro.

Eric Laffineur

Dans ce numéro

- 1 Message de l'auteur
- 1 Actions correctives/Actions préventives (CAPA).
- 7 Application pratique du calcul des incertitudes : détermination de la densité de l'acier.
- 10 News sur la documentation
- 11 Note d'humour

Prochaine parution : 10/12/2014

Actions correctives/Actions préventives (CAPA).

La Norme ISO/CEI 17025:2005 «Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essai» indique clairement dans la clause 4.11, la nécessité d'effectuer une enquête (c'est la première phrase du paragraphe), pour déterminer les causes réelles de la non-conformité.

L'analyse des causes et le processus d'actions correctives sont absolument essentiels pour l'amélioration du S.M.Q. et augmenter la qualité de ses essais et le service au client.

Nombreuses évaluations se soldent par des écarts sur le fait que les réponses qui ont été apportées pour solder les non-conformités sont très superficielles, elles ne solutionnent en rien le problème : un pansement sur une jambe de bois.

Rappelons deux définitions :

Action curative : Réponse in-situ suite à la détection d'une non-conformité, on corrige le problème, cette procédure d'urgence ne solutionne en rien le problème dont la cause n'est généralement pas connue à ce stade.

Action corrective : actions pour éliminer définitivement la cause réelle avec les solutions proposées dans le but que le problème ne réapparaisse pas.



La nécessité d'effectuer une enquête.

Le processus de mise en place d'actions correctives comprend plusieurs étapes pour déterminer efficacement la ou les actions qui sont nécessaires, pour solutionner durablement le problème dans un délai imposé ou acceptable.

1. Collecte des données.
2. Impact et étendue de la non-conformité.
3. Actions immédiates.
4. Analyse des facteurs de cause.
5. Identification de la cause racine.
6. Actions/solutions et mise en œuvre.

1 - La collecte de données.

Elle consiste à recueillir des informations qui faciliteront une bonne compréhension du problème, les différents facteurs de cause.

Ce travail fastidieux est souvent négligé, ce qui constitue une des premières erreurs du responsable du suivi de la non-conformité : on commence à résoudre les problèmes avant de trouver les causes racines de ces problèmes.

2 - Impact et étendue de la non-conformité

Le problème doit être évalué afin de déterminer la nécessité de mesures immédiates (curatives), correctives et préventives et le niveau des actions requises, sur la base de l'impact et l'étendue de la non-conformité. L'évaluation devrait comprendre à minima:

- Etendue du problème (la non-conformité peut avoir eu un impact sur d'autres essais, plusieurs rapports pour différents clients, ..).
- Risque pour ses clients et / ou pour le Laboratoire
- Une action immédiate peut être requise

3. Actions immédiates

Une action immédiate est nécessaire, lorsque la qualité, l'efficacité ou l'impact entraîne un risque critique pour les clients, pour les résultats et que cette action stoppe in-situ le problème. Exemples d'actions curatives:

- Rappel des rapports
- Alerte au niveau des clients impactés
- Nouvelles analyses
- Interruption des essais/analyses

4. Analyse des facteurs de cause

Il s'agit d'organiser et d'analyser les informations recueillies pendant la collecte et identifier les lacunes et les insuffisances dans la connaissance du problème.

On peut représenter le problème avec un diagramme de séquence tel qu'en arête de poisson (Ishikawa : méthode des 5M) qui sera modifié en fonction de la découverte de faits plus pertinents. Lorsque la totalité des événements de la non-conformité sont en bonne position, on pourra identifier les principaux facteurs liés au problème.

Les Facteurs de cause peuvent être des erreurs humaines, des défaillances techniques, des erreurs de process, une documentation non explicite. Dans de nombreux cas, les problèmes sont généralement le résultat d'une combinaison de facteurs et si un seul facteur n'est pas mis en évidence, l'apparition de l'anomalie peut se répéter.

Dans de nombreux cas, les problèmes sont généralement le résultat d'une combinaison de facteurs.



Une simulation de la cause potentielle peut aider à cibler la cause réelle.

Deuxième erreur du responsable du suivi de la non-conformité : sa vision des choses est formatée par son environnement, il ne verra pas certains facteurs car ils sont implicites dans son esprit et forcément non liés au problème (ce qui peut entraîner la recherche de la cause vers une mauvaise direction).

5. L'identification des causes racines.

Les facteurs de cause ont été identifiés, cette étape implique l'utilisation d'un ou plusieurs outils.

Lister toutes les causes possibles et évaluer leur probabilité (également en utilisant les données d'entrées et les informations disponibles):

- probablement possible
- peu probable

Si plus d'une cause est susceptible d'avoir entraîné la non-conformité, une simulation de la cause potentielle peut aider à cibler la cause réelle. Trouver la cause racine est essentielle pour déterminer les actions correctives et / ou préventives appropriées.

Les méthodes/outils :

Événements et cartographie des facteurs de cause: un processus complexe qui identifie tout d'abord une série d'événements afin de les aligner sur les conditions qui les ont provoquées. Ces événements et les conditions respectives sont alignés sur une ligne temporelle. Les événements et les conditions qui ont des preuves factuelles sont indiqués en traits pleins mais les preuves ne sont pas répertoriées; toutes les autres sont représentées en traits pointillés. Lorsque cette représentation du problème est terminée, une évaluation est faite par étape en se demandant si le problème serait différent si les événements ou les conditions avaient été modifiés. Cela conduit à des facteurs de causes qui seraient alors évalués en utilisant un arbre des causes.

L'analyse du changement : un processus en six étapes qui décrit l'événement ou le problème puis qui décrit la même situation sans problème, on compare les deux situations et on décrit toutes les différences.

On analyse les différences et on identifie les conséquences de ces différences. Les résultats de l'analyse du changement seront souvent liés au facteur temps et, par conséquent, s'insèrent facilement dans une liste d'événements montrant ce qui existait avant, pendant et après le changement.

C'est un très bon outil pour aider à déterminer des causes précises mais il ne fournit pas une compréhension claire des relations de causes à effets d'un événement donné. Malheureusement, les personnes qui utilisent cette méthode se demandent simplement pourquoi le changement a eu lieu et ne parviennent pas à effectuer une analyse complète.

Analyse de la barrière: Une analyse du problème qui identifie les barrières utilisées pour protéger un objectif des anomalies et analyse les événements pour voir si les barrières ont tenues, échouées, ou ont été compromises en traçant le chemin de l'anomalie à partir de la mauvaise action vers l'objectif.

Elle peut fournir un excellent outil pour déterminer par où commencer votre analyse de la cause racine, mais ce n'est pas une méthode pour trouver des solutions efficaces, car elle ne permet pas d'identifier la raison pour laquelle une barrière a échoué ou a été absente. C'est au-delà de la portée de l'analyse. Pour en déterminer les causes, les résultats de l'analyse de la barrière doivent être introduits dans un autre processus afin de découvrir pourquoi la barrière a échoué.



Diagramme en arbre: Ce type d'analyse des causes racine est très commun et passe par plusieurs noms tels que diagramme d'Ishikawa, arête de poisson, arbre de défaillance, l'analyse des risques, diagramme de causes à effets (cet outil est plus complexe qu'un diagramme en arbre).

Ces méthodes utilisent une liste prédéfinie de facteurs de cause disposés comme un arbre de défaillance.

Le principe est que chaque problème a des causes qui se trouvent dans un ensemble prédéfini de catégories. Ishikawa utilise la Main-d'œuvre, la Méthode, la Machine, le Milieu et la Matière.

Après avoir examiné la liste pour chaque catégorie, il faut déterminer les facteurs de cause les plus probables pour votre problème. Ces causes seront appelés causes racines. Les solutions seront ensuite appliquées à ces «causes racines» pour prévenir la récurrence.

Les 5 pourquoi: Ce processus est le plus simpliste de l'analyse de la cause racine et consiste à demander à plusieurs reprises «pourquoi» au moins cinq fois ou jusqu'à ce que vous ne pouvez plus répondre à la question. Cinq est un chiffre arbitraire. La théorie est que, après avoir demandé «pourquoi» cinq fois, vous arriverez sans doute à la cause. La cause identifiée en se demandant «pourquoi» ne fournit pas d'information plus utile. Cette méthode produit un ensemble linéaire de relations causales et utilise l'expérience du responsable du problème pour déterminer la cause et les solutions correspondantes.

Il est inappropriée pour un problème compliqué, mais elle très utile sur des problèmes mineurs qui ne demandent pas plus qu'une discussion de base sur l'événement. Contrairement à la plupart des autres méthodes. Il ne doit jamais être utilisé pour des enquêtes officielles sur des incidents, mais est parfaitement acceptable pour des discussions informelles de cause.

Analyse de Pareto: Une approche statistique à la résolution de problèmes qui utilise une base de données de problèmes pour identifier le nombre de facteurs prédéfinis de causalité qui ont eu lieu dans votre organisme ou d'un système. Elle est basée sur le principe de Pareto, aussi connu comme la règle des 80-20, ce qui suppose que 80% de vos problèmes sont provoqués par 20% des causes. Elle est destinée à orienter les ressources vers les causes les plus communes. L'analyse de Pareto est mieux utilisée comme un outil pour déterminer où vous devriez commencer votre enquête.

On peut très facilement obtenir une vue incomplète de la réalité fournie par une analyse de Pareto ce qui peut engendrer que vous dépensez plus de ressources que nécessaire. L'analyse de Pareto peut masquer des questions plus vastes, plus systémiques.

Arbre des analyses de causes: (FTA) est un schéma de causalité quantitative utilisé pour identifier les défaillances possibles dans un système. Il s'agit d'un outil d'ingénierie couramment utilisé dans les étapes de conception d'un projet et fonctionne bien pour identifier des relations causales possibles. Il nécessite l'utilisation de données spécifiques concernant les taux de défaillance des composants connus. Les relations causales peuvent être identifiées avec des relations "et" et "ou" ou leurs diverses combinaisons. FTA ne fonctionne pas bien comme une méthode d'analyse des causes profondes, car les erreurs humaines apportent une imprécision sur les résultats mais est souvent utilisé pour soutenir une action corrective.



L'analyse de Pareto peut masquer des questions plus vastes, plus systémiques.

L'analyse des effets et des modes de défaillance: (AMDE) est similaire à un arbre des analyses de causes et il est principalement utilisé dans la conception de systèmes d'ingénierie plutôt que l'analyse de la cause racine. Comme son nom l'indique, il identifie un composant, répertorie subjectivement toutes les défaillances possibles (modes) qui pourraient se produire, puis procède à une évaluation des conséquences (effet) de chaque problème. Lorsque la criticité est évaluée, c'est l'AMDEC.

Comme beaucoup de ces outils, il peut être utilisé pour vous aider à trouver un élément de cause, toutefois, il ne fonctionne pas bien sur des systèmes ou des problèmes complexes, car il ne peut pas montrer les relations de cause à effet fondées sur des preuves au-delà du mode de défaillance spécifique en cours d'analyse.

Realitycharting: Un processus de simple cause par lequel on demande pourquoi à un problème défini, réponses avec au moins deux causes dans la forme d'une action et d'une condition, puis demande le pourquoi de chaque réponse et on continue de demander le pourquoi de chaque cause indiquée jusqu'à ce qu'il n'y plus réponses : mise en représentation graphique de la méthode des 5 pourquoi.

À ce moment, le processus est répété plusieurs fois jusqu'à ce que la cause et la représentation graphique soit complète (appelé graphique de la réalité), en montrant toutes les causes connues et leurs interrelations. Chaque cause sur le graphique dispose de preuves de son existence ou un "?" Toutes les causes sont ensuite examinées pour trouver un moyen de les changer avec une solution qui est sous votre contrôle, qui prévient la récurrence, et qui répond à vos objectifs.

Il est le seul qui fournit une représentation graphique des éléments de preuve de toutes les causes et de leurs interrelations. Avec cette compréhension de votre réalité, il peut facilement être communiqué à toute personne ayant une appréciation complète de la façon dont les solutions empêcheront le problème de se reproduire.

Méthodes/outils	Type	Problème défini	Définit tous les liens de causalité	Fournit un accès aux causes racines	Quand l'utiliser	Avantages	Inconvénients	Remarques
Événements et cartographie des facteurs de cause	Méthode	OUI	Limité	NON	Problèmes complexes avec des facteurs de causalité multiples.	Fournit une visualisation de processus d'analyse.	Consommateur de temps et exige de la familiarité avec le processus pour être efficace.	Aide à identifier où les écarts se sont produits.
L'analyse du changement	Outil	OUI	NON	NON	Utilisé lorsque la cause est obscure. Particulièrement utile dans l'évaluation des défaillances des équipements.	Processus simple en 6 étapes.	Valeur limitée en raison du danger d'accepter une mauvaise réponse "évidente".	Une technique pour problème spécifique qui peut être utilisé à l'appui d'une enquête plus large. Toutes les causes profondes ne peuvent pas être identifiées.
Analyse de la barrière	Outil	OUI	NON	NON	Utilisé pour identifier les barrières liées aux équipements et aux problèmes de procédure administratives.	Fournit une approche systématique.	Nécessite de bien connaître le processus pour être efficace.	Ce processus est basé sur le concept de MORT* risque/cible.
Diagramme en arbre	Méthode	OUI	NON	NON	Pour tout type de problèmes.	On peut rajouter des catégories.	Conduit le plus souvent à des causes multiples.	Très pertinent en Brainstorming.
Les 5 pourquoi	Méthode	OUI	NON	OUI	Problèmes simples et bien posés.	Rapide et efficace.	Ne peut pas apporter de réponse sur des cas complexes.	Très utilisés sur des non-conformités simples.
Analyse de Pareto	Outil	OUI	NON	NON	Rapide pour des problèmes récurrents.	Vue graphique.	Analyse pré-formatée.	En appui pour démarrer une enquête.
Arbre des analyses de causes	Méthode	OUI	OUI	OUI	Normalement utilisé pour les problèmes liés aux équipements.	Fournit un affichage visuel de relations causales.	Ne fonctionne pas bien quand les actions humaines sont liées à une cause.	Utilise l'algèbre de Boole pour montrer comment les causes peuvent se combiner.
L'analyse des effets et des modes de défaillance	Outil	OUI	NON	Limité	Normalement utilisé pour les problèmes liés aux équipements.	Résultats quantitatifs.	Exploitation difficile sur des cas complexes	Bien connaître les règles.
Realitycharting	Méthode	OUI	OUI	OUI	Utilisé pour tous types de problèmes.	Fournit une approche directe pour atteindre les causes racines. Peut être utilisé avec l'analyse de barrière / du changement. L'accent est mis sur la meilleure solution.	Peut ne pas fournir tout le fond d'un problème complexe. Exige de l'expérience / connaissance pour poser toutes les bonnes questions.	Nécessite une connaissance des techniques d'analyse des causes racines. Un Logiciel de RealityCharting peut être utilisé comme un outil d'aide à la résolution des problèmes.

*The Management Oversight and Risk Tree (MORT) : la surveillance du management et l'arbre des risques.

6. Actions/solutions et mise en œuvre

A retenir :

- Le personnel n'est généralement pas la cause racine des problèmes.
- Le personnel met en œuvre des processus.
- La plupart du personnel ne vient pas au travail chaque jour avec l'intention de saboter son propre travail.
- Ne pas perdre toute son énergie à combattre des problèmes de surface.
- L'explication est préférable au blâme.

La modification de trop de variables à la fois peut être un problème.

Pour chaque problème identifié.

- 1- Déterminer une cause racine.
- 2- Établir une mesure corrective et l'initier.
- 3- Prouver que l'action corrective a été mise en place pour éliminer la cause racine.
- 4- Vérifiez le suivi des mesures correctives à une date ultérieure afin de s'assurer que l'action s'est traduite par l'élimination du problème.
- 5- S'il y a eu une récurrence du problème, le laboratoire doit établir une nouvelle cause.
- 6- N'hésitez pas à utiliser les questions : Quoi, quand, ou, comment et qui ?

Attention :

- La modification de trop de variables à la fois peut être un problème.
- Sélectionner une action qui est la plus susceptible de corriger le problème.
- Notez les constatations et observations après cet ajustement pour voir s'il résout le problème.
- Si le problème se produit de nouveau, sélectionnez une autre variable dans la liste.

Un facteur de causalité façonne le résultat d'une situation.

Il y a 18 facteurs potentiels de causalité associés à l'analyse des causes racines.

Les facteurs de causalité des événements sont généralement divisés en problèmes de performances humaines, d'équipements et de problèmes externes.



- **Humaines** : communication verbale
- Performances : procédures écrites, documents, formation
- Problèmes : interface homme-machine, conditions environnementales, horaire de travail, les pratiques de travail, l'organisation du travail / planification, méthodes de surveillance, méthode de formation / qualification, la gestion du changement, gestion des ressources, méthodes de gestion.
- **Equipement** : Design, configuration et analyse
- Performances : conditions de l'équipement, maintenance.
- Problèmes : conditions environnementales, spécifications de l'équipement et construction, entretien / tests, l'utilisation de l'équipement / système
- **Externe** : non maîtrisé par l'organisme

Erreurs à éviter :

Résoudre le problème en révisant uniquement une procédure, elles sont rarement à l'origine du problème et les salariés doivent participer à la rédaction des procédures.

Se fixer une date limite pour mesurer l'efficacité des actions, ce n'est pas toujours la bonne solution, certaines actions mises en place ne pourront pas être vérifiées (Analyse peu courante → cause de la non-conformité, perte du client donc plus d'analyse, pas de vérification possible), (produits différents fabriqués avec de nombreuses opérations manuelles non automatisables → non-conformité sur une dimension, cause racine liée à l'humain, turn-over important, actions difficiles à mettre en place, mesure de l'efficacité quasiment impossible), il est préférable dans certains cas de mesurer l'efficacité des actions par des audits de terrain.

Transformer une analyse/essai de routine en usine en gaz (multiplication des contrôles, des vérifications) pour éviter que le problème ne réapparaisse.

Application pratique du calcul des incertitudes : détermination de la densité de l'acier.

Le but de l'exercice est de déterminer une estimation de la densité, ρ , de l'acier à partir de billes en acier 100C6 à température ambiante. Cela nécessite la détermination de l'incertitude standard dans la meilleure estimation de ρ et l'incertitude élargie au niveau de confiance de 95%. La valeur de la densité sera comparée avec la valeur de référence pour la densité de cet acier.

Equipement : Balance électronique ayant une résolution de 1 mg

Micromètre ayant une résolution de 0,01 mm

Documents : GUM ou JCGM 100 ou NF ENV 13005

Toutes les mesures ont été réalisées à une température de $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$

Les billes au nombre de 8 ont les masses \mathbf{M} en grammes suivantes :

8,348	8,349	8,351	8,350	8,349	8,350	8,351	8,349
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Les billes au nombre de 8 ont les diamètres \mathbf{D} suivants en mm :

12,68	12,68	12,68	12,70	12,69	12,69	12,68	12,68
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Le volume d'une sphère est :

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi D^3}{6}$$

La densité de l'acier est donnée par la relation :

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{6M}{\pi D^3}$$

La meilleure estimation de la masse est donnée par :

$$M = X_m + Z_m$$

X_m est la moyenne des 8 masses obtenues :

$$M = X_m = \frac{\sum_{i=1}^8 X_i}{8} = \frac{66,797}{8} = 8,3496$$

Z_m représente les erreurs systématiques (calibration, résolution, erreur de lecture en valeurs positives ou négatives), nous considérerons dans cet exercice que $Z_m = 0$.

L'écart-types s des 8 valeurs est : $s = 1,06 \cdot 10^{-3}$ g

L'incertitude (de répétabilité : Type A) sur la masse est donnée par la formule :

$$u_x = \frac{s}{\sqrt{n}} \text{ avec } n = 8$$

$$u_x = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

Le nombre de degré de liberté est donné par $\nu_x = n-1=7$

L'incertitude sur Z_m est de type B et suit une loi rectangulaire :

La balance à une résolution de $r = 1$ mg donc :

$$u_z = \frac{r}{\sqrt{12}} = \frac{0,001}{\sqrt{12}} = 2,89 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

Le nombre de degré de liberté est $\nu_z = \infty$ (incertitude de type B)

L'incertitude composée sur M est donnée par la moyenne quadratique (GUM) des incertitudes types:

$$u_M = \sqrt{u_x^2 + u_z^2} = 4,73 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

Le nombre de degré de liberté pour l'incertitude composée ν_{eff} (GUM) est donné par la formule de Welch-Satterthwaite :

$$\nu_{\text{eff}(M)} = \frac{u_M^4}{\frac{u_x^4}{\nu_x} + \frac{u_z^4}{\nu_z}} = \frac{(4,73 \cdot 10^{-4})^4}{\frac{(3,75 \cdot 10^{-4})^4}{7} + \frac{(2,89 \cdot 10^{-4})^4}{\infty}} = 18$$

Le nombre de degré de liberté pour l'incertitude composée ν_{eff} (GUM) est donné par la formule de Welch-Satterthwaite.



La meilleure estimation du diamètre est donnée par :

$$D = X_d + Z_d$$

X_m est la moyenne des 8 diamètres obtenus :

$$D = X_d = \frac{\sum_1^8 X_i}{8} = \frac{101,48}{8} = 12,685$$

Z_d représente l'erreur due à la résolution (positive ou négative), nous considérerons dans cet exercice que $Z_d = 0$.

L'écart-types s des 8 valeurs est : $s = 7,56 \cdot 10^{-3}$ g

L'incertitude (de répétabilité : Type A) sur le diamètre est donnée par la formule :

$$u_x = \frac{s}{\sqrt{n}} \text{ avec } n = 8$$

$$u_x = 2,67 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Le degré de liberté est donné par $v_x = n-1=7$

L'incertitude sur Z_d est de type B et suit une loi rectangulaire :

Le micromètre à une résolution de $r = 0,01$ mm donc :

$$u_z = \frac{r}{\sqrt{12}} = \frac{0,01}{\sqrt{12}} = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Le nombre de degré de liberté est $v_z = \infty$ (Incetitude de type B)

L'incertitude de type B du certificat d'étalonnage du micromètre n'est pas intégrée dans cet exercice.

L'incertitude composée sur D est donnée par la moyenne quadratique (GUM) des incertitudes types:

$$u_D = \sqrt{u_x^2 + u_z^2} = 3,93 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Le nombre de degré de liberté pour l'incertitude composée v_{eff} (GUM) est donné par la formule de Welch-Satterthwaite :

$$v_{\text{eff}(D)} = \frac{u_D^4}{\frac{u_x^4}{v_x} + \frac{u_z^4}{v_z}} = \frac{(3,93 \cdot 10^{-3})^4}{\frac{(2,67 \cdot 10^{-3})^4}{7} + \frac{(2,89 \cdot 10^{-3})^4}{\infty}} = 33$$

Calculons la meilleure estimation de la densité :

$$\rho = \frac{6M}{\pi D^3} = \frac{6 \cdot 8,3496}{\pi \cdot 12,685^3} = 7,813 \cdot 10^{-3} \text{ g/mm}^3 \quad (1)$$

Déterminons l'incertitude sur la densité :

Reprenons la formule de base (1)

$$\rho = \frac{6M}{\pi D^3}$$

L'incertitude est exprimée sous la forme de dérivée partielle, on peut donc écrire :

$$u_\rho = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial M} \cdot u_M\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial D} \cdot u_D\right)^2}$$

$\frac{\partial \rho}{\partial M}$ et $\frac{\partial \rho}{\partial D}$ sont appelés les coefficients de sensibilité, ils témoignent de l'importance de l'incertitude associée, plus le coefficient est grand, plus l'incertitude type de la variable aura des répercussions sur l'incertitude élargie du Mesurande et ils permettent d'exprimer les incertitudes dans la même unité, car je le rappelle (nombreux écarts d'audit), on ne peut pas ajouter des incertitudes ayant des unités différentes tels que mm et g dans cet exemple.

Nous allons donc calculer $\frac{\partial \rho}{\partial M}$ et $\frac{\partial \rho}{\partial D}$ en dérivant la formule (1).

$\frac{\partial \rho}{\partial M}$ et $\frac{\partial \rho}{\partial D}$ sont
appelés les coefficients
de sensibilité.



$$\frac{\partial \rho}{\partial M} = \frac{6}{\pi D^3} = 9,356 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-3}$$

et

$$\frac{\partial \rho}{\partial D} = -\frac{18M}{\pi D^4} = -1,848 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mm}^{-4}$$

Calculons u_ρ :

$$u_\rho = \sqrt{(9,356 \cdot 10^{-4} \cdot 4,73 \cdot 10^{-4})^2 + (-1,848 \cdot 10^{-3} \cdot 3,93 \cdot 10^{-3})^2} = 7,27 \cdot 10^{-6} \text{ g/mm}^3$$

Le nombre de degré de liberté pour l'incertitude composée v_{eff} (GUM) est donné par la formule de Welch-Satterthwaite :

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_\rho^4}{\frac{(\frac{\partial \rho}{\partial M})^4 u_M^4}{v_{\text{eff}}(M)} + \frac{(\frac{\partial \rho}{\partial D})^4 u_D^4}{v_{\text{eff}}(D)}} = \frac{(7,27 \cdot 10^{-6})^4}{\frac{(9,356 \cdot 10^{-4} \cdot 4,73 \cdot 10^{-4})^4}{18} + \frac{(-1,848 \cdot 10^{-3} \cdot 3,93 \cdot 10^{-3})^4}{33}} = 33$$

Dans le tableau G.2 du GUM ou de la norme NF ENV 13005, pour un nombre de degré de liberté de 33 et une probabilité de 95%, le facteur d'élargissement K appelé t (loi de Student lorsque la loi n'est pas normale, ce qui n'est pas le cas : $v > 30$) est égal à 2,03.

L'incertitude élargie sur la densité vaut donc :

$$U_\rho = k \cdot u_\rho = 2,03 \cdot 7,27 \cdot 10^{-6} = 14,76 \cdot 10^{-6} \text{ g/mm}^3$$

On peut donc exprimer le résultat de la densité par :

$$\rho = (7,813 \pm 0,015) \cdot 10^{-3} \text{ g/mm}^3 = (7,81 \pm 0,02) \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Discussion : La densité théorique d'un acier 100C6 est de $7,83 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, la valeur déterminée par l'expérience est correcte en tenant compte de l'incertitude : 7,83.

Si les dérivées partielles vous paraissent difficiles, il existe un autre moyen pour obtenir les coefficients de manière expérimentale:

Reprenons la formule (1) : $\rho = \frac{6M}{\pi D^3}$

La masse moyenne M est de 8,3496 g et le diamètre moyen est de 12,685 mm.

On va faire varier M de $\pm 0,0001 \text{ g}$ et garder D comme constante puis calculer ρ pour les 3 valeurs:

M	D	ρ	Différence
8,3495	12,685	0,007812507	9,35686.10 ⁻⁸
8,3496	12,685	0,007812601	
8,3497	12,685	0,007812694	9,35686.10 ⁻⁸

La variation de 0,0001g sur M entraîne une variation de $9,35686 \cdot 10^{-8}$ sur ρ , le coefficient de sensibilité est donc :

$$\frac{\partial \rho}{\partial M} = \frac{9,35686 \cdot 10^{-8}}{0,0001} = 0,0009356 \text{ Nous avons bien le même résultat.}$$

On va faire varier D de $\pm 0,001 \text{ mm}$ et garder M comme constante puis calculer ρ pour les 3 valeurs:

M	D	ρ	Différence	Moyenne
8,3496	12,684	0,00781445	1,84797.10 ⁻⁶	1,84768.10 ⁻⁶
8,3496	12,685	0,007812601		
8,3496	12,686	0,007810753	1,84739.10 ⁻⁶	

La variation de 0,001mm sur M entraîne une variation de $1,84768 \cdot 10^{-6}$ sur ρ , le coefficient de sensibilité est donc :

$$\frac{\partial \rho}{\partial D} = \frac{1,84768 \cdot 10^{-6}}{0,001} = 0,001848 \text{ Nous avons bien le même résultat.}$$

Si vous avez des demandes spécifiques, envoyer moi un mail, j'essaierai de les traiter dans ce chapitre.

News sur la documentation



ISO/FDIS 17258 :2014

Application des méthodes statistiques

Méthodes statistiques — Six Sigma — Critères fondamentaux d'une évaluation comparative Six Sigma pour les organisations (en anglais seulement).

ISO 22514-1:2014

Méthodes statistiques dans la gestion de processus — Aptitude et performance — Partie 1: Principes et concepts généraux

ISO 22514-8:2014

Méthodes statistiques dans la gestion de processus — Aptitude et performance — Partie 8: Aptitude machine d'un procédé de production multimodal (en anglais seulement).

ISO/DIS 9000 :2014

Systèmes de management de la qualité — Principes essentiels et vocabulaire.

ISO/DIS 9001 : 2014

Systèmes de management de la qualité — Exigences (Révision of ISO 9001:2008, ISO 9001:2008/Cor 1:2009).

ISO10002:2014

Management de la qualité — Satisfaction des clients — Lignes directrices pour le traitement des réclamations dans les organismes.

Note d'humour



