
**Illustrations choisies d'études de
répétabilité et de reproductibilité par
calibre**

Selected illustrations of gauge repeatability and reproducibility studies

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 12888:2011](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9a210495-70eb-4cf8-b74e-7a7d478a61cd/iso-tr-12888-2011)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9a210495-70eb-4cf8-b74e-7a7d478a61cd/iso-tr-12888-2011>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 12888:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9a210495-70eb-4cf8-b74e-7a7d478a61cd/iso-tr-12888-2011>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2011

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Termes et définitions	1
3 Symboles et termes abrégés	2
4 Description générique des études de RRC	3
4.1 Aperçu de la structure des études de RRC	3
4.2 Objectifs principaux de l'étude RRC	3
4.3 Description du processus de mesure	4
4.4 Méthodologie des études de RRC	4
4.5 Plan d'échantillonnage pour études de RRC	6
4.6 Analyse des données (numérique et graphique)	8
4.7 Conclusions et suggestions	8
5 Description des Annexes A à D	9
5.1 Comparaison et particularités des exemples	9
5.2 Récapitulatif des exemples	9
Annexe A (informative) Étude de RRC pour essai automatisé de performance RF de téléphones portables	10
Annexe B (informative) Étude de RRC de cellule de charge de l'assemblage d'un boîtier RF à semi-conducteur cermet	20
Annexe C (informative) RRC de voile radial d'arbre moteur	29
Annexe D (informative) RRC de force d'ouverture d'un boîtier de chargeur	35
Bibliographie	41

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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

Exceptionnellement, lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique par exemple), il peut décider, à la majorité simple de ses membres, de publier un Rapport technique. Les Rapports techniques sont de nature purement informative et ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'attention est appelée 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.

L'ISO/TR 12888 a été élaboré par le comité technique ISO/TC 69, *Application des méthodes statistiques*, sous-comité SC 7, *Applications de techniques statistiques, ou de techniques associées, pour la mise en œuvre de Six Sigma*.

Introduction

La communauté Six Sigma¹⁾ et celle de la normalisation statistique internationale partagent une philosophie du progrès permanent ainsi que de nombreux outils analytiques. La communauté Six Sigma tend à adopter une approche pragmatique reposant sur les contraintes de temps et de moyens. La communauté de normalisation statistique élabore sur le long terme des documents par consensus international. Les disparités de contraintes temporelles, rigueur mathématique et emploi de logiciels statistiques ont été un frein aux échanges, synergies et confrontations entre les deux groupes.

Le présent Rapport technique s'attache à un outil statistique précis (répétabilité et reproductibilité de calibre, ou RRC), développe la question de façon générale (dans l'esprit des Normes internationales), puis l'illustre par l'utilisation de quatre applications distinctes détaillées. La description générale s'attache aux points communs entre les études destinées à évaluer la variabilité des équipements d'essai et systèmes de mesure. Les annexes, présentant quatre illustrations, suivent le cadre de base mais identifient également les nuances et particularités des applications particulières. Chaque illustration représente une problématique de la méthodologie correspondant aux applications Six Sigma réelles. Il est ainsi espéré que les praticiens pourront se reconnaître dans l'une des quatre illustrations, au moins pour leur remémorer le matériel de base sur une étude de RRC rencontrée lors de leur formation Six Sigma. Chacune des quatre illustrations est développée et analysée au moyen d'un logiciel statistique moderne. Tout le long, les explications omettent les détails mathématiques; ceux-ci sont disponibles dans de nombreuses références sur l'analyse de RRC (telles que celles données dans la Bibliographie).

ITEH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 12888:2011](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9a210495-70eb-4cf8-b74e-7a7d478a61cd/iso-tr-12888-2011)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9a210495-70eb-4cf8-b74e-7a7d478a61cd/iso-tr-12888-2011>

1) Six Sigma est une marque commerciale de Motorola, Inc.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 12888:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9a210495-70eb-4cf8-b74e-7a7d478a61cd/iso-tr-12888-2011>

Illustrations choisies d'études de répétabilité et de reproductibilité par calibre

1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique décrit un processus de mesure où les caractéristiques mesurées sont des variables continues. Il ne traite pas des processus de mesure dont les caractéristiques pertinentes sont un attribut (c'est-à-dire réussite/échec).

Le présent Rapport technique fournit des exemples de systèmes de mesure simples ainsi que des résultats exploitables utilisés dans l'industrie où deux facteurs principaux contribuent à la variation des résultats de mesure: la variation entre deux opérateurs et chez un même opérateur.

2 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

2.1

système de mesure

ensemble des opérations, procédures, dispositifs et autres équipements, logiciels et personnel employé pour attribuer une valeur à une caractéristique mesurée

NOTE Cela comprend le mode opératoire complet utilisé pour obtenir la mesure.

[IWA 1:2005, 3.1]

2.2

discrimination

capacité du système de mesure à identifier la modification infinitésimale de la caractéristique mesurée

2.3

fidélité

étroitesse d'accord entre des résultats d'essai/de mesure indépendants obtenus sous des conditions stipulées

NOTE 1 La fidélité dépend uniquement de la distribution des erreurs aléatoires et n'a aucune relation avec la valeur vraie ou la valeur spécifiée.

NOTE 2 La mesure de la fidélité est généralement exprimée en termes d'infidélité et est calculée à partir de l'écart-type des résultats d'essai ou des résultats de mesure. Une fidélité faible est reflétée par un grand écart-type.

NOTE 3 Les mesures quantitatives de la fidélité dépendent de façon critique des conditions stipulées. Les conditions de répétabilité et de reproductibilité sont des ensembles particuliers de conditions extrêmes stipulées.

[ISO 3534-2:2006, 3.3.4]

2.4

répétabilité

fidélité sous des conditions de répétabilité

NOTE La répétabilité peut s'exprimer quantitativement à l'aide des caractéristiques de dispersion des résultats.

[ISO 3534-2:2006, 3.3.5]

2.5 conditions de répétabilité
conditions où les résultats d'essai/de mesure indépendants sont obtenus par la même méthode sur des individus d'essai/de mesure identiques sur la même installation d'essai ou de mesure, par le même opérateur, utilisant le même équipement et pendant un court intervalle de temps

NOTE Les conditions de répétabilité comprennent:

- le même mode opératoire ou procédure d'essai;
- le même opérateur;
- le même instrument de mesure ou d'essai utilisé dans les mêmes conditions;
- le même lieu;
- la répétition durant une courte période de temps.

[ISO 3534-2:2006, 3.3.6]

2.6 reproductibilité de calibre
variation qui se produit quand des évaluateurs différents mesurent une même pièce avec un même équipement

NOTE 1 Il convient de n'employer ce terme que dans une étude de RRC (répétabilité et reproductibilité de calibre).

NOTE 2 Cette définition de la reproductibilité diffère de celles données dans l'ISO 3534-2, l'ISO 5725-1 et le Guide ISO/CEI 99. Cette définition correspond à celle employée dans les normes relatives aux logiciels, calculs de RRC et dans les autres normes industrielles.

NOTE 3 Dans les annexes, ce que le logiciel informatique appelle «reproductibilité» doit être compris comme reproductibilité de calibre selon la définition donnée ici.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9a210495-70eb-4cf8-b74e-7a7d478a61cd/iso-tr-12888-2011>

3 Symboles et termes abrégés

Les symboles et abréviations employés dans le présent Rapport technique sont les suivants.

ANOVA	analyse de variance
DF	degré de liberté
DOE	plan d'expériences
F	statistique du test F (coefficient de détermination)
MS	moyenne des carrés
MSA	analyse de système de mesure
NDC	nombre de catégories distinctes
P	valeur p (probabilité d'obtenir un essai statistique)
REML	maximum estimé de vraisemblance restreinte
RRC	répétabilité et reproductibilité de calibre
RF	chiffre de référence
SD	écart-type
SS	somme des carrés

VE	variation étude
%P/T	rapport de la fidélité sur la tolérance, en pourcentage
%R&R	répétabilité et reproductibilité, en pourcentage par rapport à un chiffre de référence
<i>R</i>	reproductibilité
<i>U</i>	limite de spécification supérieure
<i>L</i>	limite de spécification inférieure
σ	écart-type
σ_{MS}	écart-type du système de mesure
σ_r	écart-type de répétabilité
σ_R	écart-type de reproductibilité
σ_P	écart-type du processus de fabrication sans erreur de mesure

4 Description générique des études de RRC

4.1 Aperçu de la structure des études de RRC

Le présent Rapport technique fournit les lignes directrices générales sur la conception, la conduite et l'analyse des études de RRC et en illustre les phases par quatre applications différentes dans les Annexes A à D. Chacun de ces quatre exemples suit la structure de base donnée dans le Tableau 1.

ISO/TR 12888:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9a210495-70eb-4cf8-b74e-7a7d478a61cd/iso-tr-12888-2011>

Tableau 1 — Grandes étapes des études de RRC

1	Énoncé des grands objectifs principaux de l'étude de RRC
2	Description du processus de mesure
3	Choix d'un protocole d'étude de RRC
4	Conception d'un plan d'échantillonnage pour les études de RRC
5	Analyse des résultats
6	Conclusion et suggestions

Les étapes indiquées dans le Tableau 1 s'appliquent à la conception et à l'analyse de RRC en général, même si le présent Rapport technique se concentre sur les études de RRC à deux facteurs. Les paragraphes 4.2 à 4.7 expliquent les principales caractéristiques de chacune des six étapes. Des explications précises sur le contenu de ces étapes sont fournies dans les exemples des Annexes A à D.

4.2 Objectifs principaux de l'étude RRC

Les études de RRC sont souvent employées dans les projets Six Sigma. Il convient que la motivation première des études de RRC soit clairement énoncée et convenue entre toutes les parties impliquées dans la conception, l'analyse et les conséquences de l'effort d'étude de RRC. Le but principal des études de RRC est d'identifier la capacité d'un système de mesure et d'apprécier si elle est acceptable pour un processus donné. Les études de RRC déterminent quelle part de la variation observée d'un processus provient de la variation du système de mesure.

Des études de RRC sont réalisées pour toutes sortes de raisons, dont, entre autres, les suivantes:

- a) le système de mesure présente de fortes variations dans des conditions d'entretien normales;
- b) l'équipement de mesure a été modifié ou amélioré, par exemple par le remplacement d'une pièce importante;
- c) l'équipement ou système de mesure est neuf;
- d) des systèmes de mesure différents doivent être comparés;
- e) les études de RRC sont exigées par les normes de management de la qualité telles que l'ISO/TS 16949.

4.3 Description du processus de mesure

Le présent Rapport technique s'attache au processus de mesure lorsque la caractéristique mesurée est une variable continue. Les processus de mesure dont la ou les caractéristiques pertinentes sont un attribut (c'est-à-dire échec/réussite) ne sont pas traités dans le présent Rapport technique.

Avant de commencer la RRC, il convient que le processus de mesure soit clairement décrit, avec le nom de l'équipement, sa résolution, la caractéristique de qualité à mesurer, les conditions de mesure, etc. Il convient également de bien étalonner les instruments. Pour plus d'informations, voir l'ISO 10012.

Le cas échéant, une cartographie du processus de mesure peut être nécessaire pour identifier les facteurs susceptibles d'affecter les observations. Il peut y avoir beaucoup de facteurs identifiés, mais le présent Rapport technique ne donne que des exemples à deux facteurs. Dans certains cas, il peut y avoir de nombreuses caractéristiques intéressantes à mesurer. Toutefois, dans le présent Rapport technique, une seule caractéristique de qualité variable par exemple est prise en compte.

4.4 Méthodologie des études de RRC ISO/TR 12888:2011

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9a210495-70eb-4cf8-b74e-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9a210495-70eb-4cf8-b74e-7a7d478a61cd/iso-tr-12888-2011)

Habituellement dans les études de RRC, des évaluateurs (opérateurs) différents sont employés pour saisir la variabilité d'un système de mesure donné, car dans de nombreux cas l'évaluateur est un facteur significatif qui influe sur les mesures. Ce n'est cependant pas le cas dans les systèmes de mesure automatisés qui n'impliquent pas d'opérateur. Dans de telles situations, le changement des fixations de maintien ou du logiciel ou de l'étalonnage de l'équipement peut être considéré comme un changement du système de mesure capable d'affecter sa reproductibilité.

Dans les cas à deux facteurs, le modèle de collecte des données pour l'étude de RRC peut suivre un plan croisé ou emboîté. Un plan croisé est similaire à un plan factoriel en DOE. Le même sous-groupe de pièces est mesuré une fois par tous les opérateurs, puis il est mesuré à nouveau (une ou plusieurs fois). Si le sous-groupe comprend n pièces (généralement 10-20), le nombre d'opérateurs étant a (au moins 2), le nombre de répétitions (le nombre de mesures par opérateur, au moins 2) étant b , le total de mesures s'élève à $n \times a \times b$. Les plans emboîtés génèrent aussi $n \times a \times b$ mesures, mais avec la différence que les opérateurs mesurent différents sous-groupes de pièces d'une même taille de sous-groupe avec des répétitions. Un sous-groupe ne peut être mesuré par un autre opérateur. C'est-à-dire que les sous-groupes de pièces sont emboîtés dans les opérateurs. Les plans croisés et emboîtés sont illustrés aux Figures 1 et 2 respectivement.

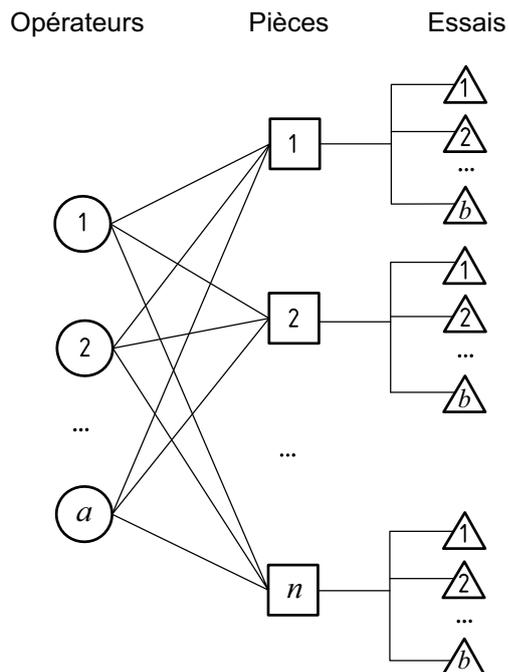


Figure 1 — Plan croisé pour une étude de RRC

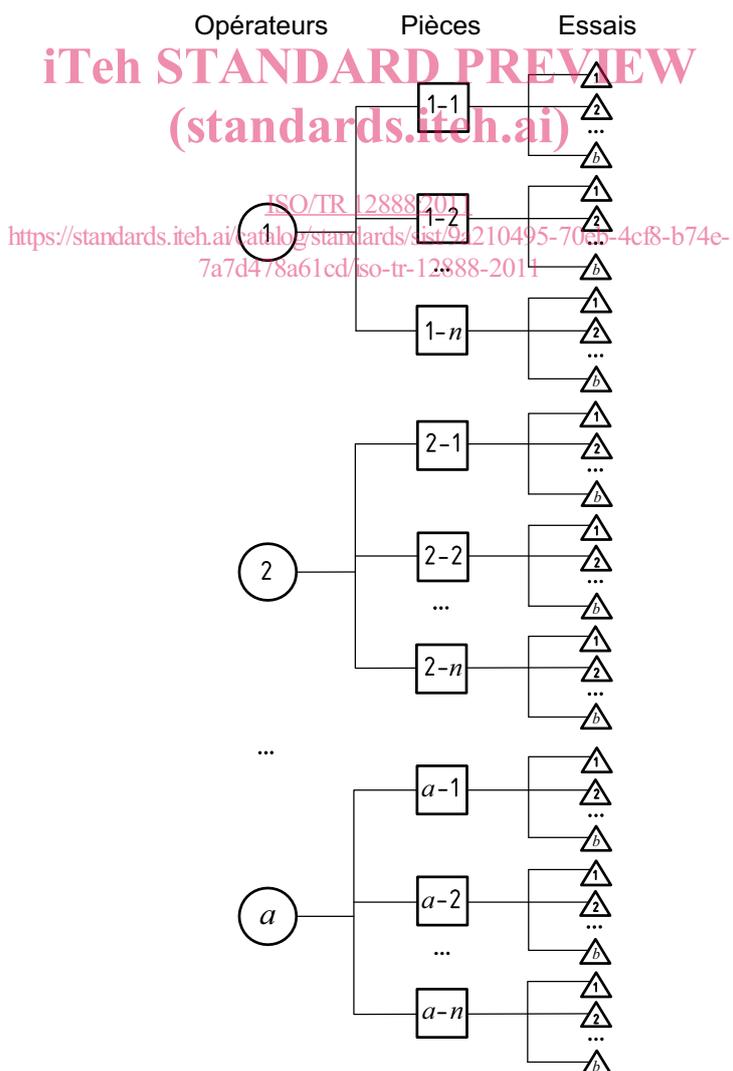


Figure 2 — Plan emboîté pour une étude de RRC

Le plan croisé présuppose que les pièces mesurées par les opérateurs ne sont pas endommagées et peuvent être mesurées de façon répétée au cours du système de mesure. Toutefois, dans certains cas, une fois une mesure obtenue pour une pièce donnée, cette pièce ne permet plus de mesures supplémentaires avec le même opérateur ou d'autres. Il est alors conseillé d'adopter un plan emboîté. Pour les méthodes de mesure destructrices, si des éprouvettes homogènes sont disponibles, un plan emboîté peut être un bon choix.

Pour estimer la répétabilité et la reproductibilité, plusieurs méthodes peuvent être employées comme le montrent les logiciels statistiques du commerce. Les trois méthodes les plus courantes sont décrites ci-dessous et seront également présentées dans les annexes.

La méthode étendue repose sur l'estimation de l'écart-type de répétabilité (σ_r), à partir de la plage d'observations d'un opérateur mesurant la même pièce avec le même équipement, ainsi que sur l'écart-type de reproductibilité (σ_R) à partir de la différence de moyennes des divers opérateurs. La méthode ANOVA repose sur l'estimation de l'écart-type de répétabilité et reproductibilité par analyse de la composante de la variance. Pour un plan croisé à deux facteurs, l'avantage de l'ANOVA est qu'elle permet d'estimer l'interaction entre les opérateurs et les pièces. De nombreux logiciels statistiques du commerce proposent des alternatives des deux méthodes. La méthode REML estime la répétabilité et la reproductibilité en optimisant la vraisemblance des observations. Cette méthode plus élaborée est utile lorsque les autres méthodes produisent des estimations négatives des composantes de la variance.

Dans le présent Rapport technique

- σ_{MS} correspond à l'écart-type de l'erreur du système de mesure, où σ_{MS} est la racine carrée de la somme de σ_r^2 et de σ_R^2 ,
- $6 \sigma_{MS}$ (ou $5,15 \sigma_{MS}$ dans certaines entreprises) est la valeur de RRC (fidélité),
- σ_P est l'écart-type du processus de fabrication sans erreur de mesure.

Ainsi, la variance totale observée est la somme $\sigma_P^2 + \sigma_{MS}^2$. En pratique, deux indicateurs servent à mesurer la RRC par rapport à l'étendue et la tolérance du processus, %R&R et %P/T, avec

$$\%R\&R = \frac{\sigma_{MS}}{\sqrt{\sigma_{MS}^2 + \sigma_P^2}} \times 100 \%$$

$$\%P/T = \frac{6\sigma_{MS}}{U - L} \times 100\%$$

4.5 Plan d'échantillonnage pour études de RRC

Le plan d'échantillonnage est essentiel pour les études de RRC. Un mauvais plan peut conduire à une situation où la véritable variation dans le processus de mesure est sous-estimée ou surestimée, ce qui entraîne une conclusion exagérément optimiste ou pessimiste sur la capacité du système de mesure.

Différents plans adoptent des tableaux différents pour collecter les mesures. Les Tableaux 2 et 3 fournissent des modèles de conception de base des plans croisé et emboîté respectivement avec trois opérateurs, trois répétitions et dix pièces mesurées par opérateur. La principale différence entre les deux conceptions est la colonne du numéro de pièce (correspondant à la pièce mesurée). Pour un plan croisé, trois opérateurs partagent la même colonne de numéro de pièce, ce qui signifie qu'un sous-groupe d'une même pièce est mesuré par des opérateurs différents. Cependant, pour le plan emboîté, il y a une «colonne de numéro» de pièce par opérateur; ce qui signifie qu'une pièce n'est mesurée que par un seul opérateur.

Tableau 2 — Plan d'étude de RRC croisé type

N° pièce	Études de RRC											
	Opérateur A				Opérateur B				Opérateur C			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Étendue	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Étendue	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Étendue
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Tableau 3 — Plan d'une étude RRC emboîtée type

N° pièce	Études de RRC													
	Opérateur A				Opérateur B				Opérateur C					
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Étendue	N° pièce	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Étendue	N° pièce	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Étendue
A1					B1					C1				
A2					B2					C2				
A3					B3					C3				
A4					B4					C4				
A5					B5					C5				
A6					B6					C6				
A7					B7					C7				
A8					B8					C8				
A9					B9					C9				
A10					B10					C10				

Dans le plan d'échantillonnage pour les études de RRC, il convient de déterminer le nombre de pièces du sous-groupe, le nombre d'opérateurs et le nombre de répétitions. Généralement, trois à cinq opérateurs sont sélectionnés pour mesurer plus de dix pièces en deux ou trois répétitions. Il est à noter que les échantillons retenus doivent provenir du processus de production et représenter toute la variance de la production. (Dans les cas où il est difficile d'obtenir dix pièces ou plus, bien que la de RRC puisse être estimée avec peu de pièces, l'incertitude de variabilité des pièces peut être forte et ainsi %R&R peut se révéler peu fiable. Dans ce cas, si l'écart-type du processus est connu, il est fortement recommandé de l'utiliser au lieu de l'écart-type du processus estimé à partir de peu d'échantillons.)

Lors de mesures de RRC, la randomisation est une considération essentielle. Elle signifie qu'il convient que les pièces soient mesurées par l'opérateur dans un ordre aléatoire. En outre, il convient aussi d'éviter l'effet Hawthorne au cours des expériences car les opérateurs avec la plus forte attention peuvent produire une mauvaise estimation de la variation du processus de mesure.