

OBJET DU DOCUMENT

Ce document définit les critères des indicateurs de performance et leur méthode de calcul, dans le cadre des projets OSE.

MISES À JOUR

Révision	Nature de la modification	Rédaction Nom, Date	Vérification / Approbation Nom, Date
A	Création	BCS, le 06/12/2023	RDV, le 18/02/2024
B			
C			
D			

« Ce document est l'entière propriété de OSE » « This document remains property of OSE »

TABLE DES MATIÈRES

I – Rendement et Performance (TRS).....	3
1.1 TRS applicable	3
1.2 Formule de calcul	3
1.3 Définitions.....	4
1.4 Exemple	6
II – CADENCE (TCY / TAKT TIME)	7
2.1 Temps de cycle	7
2.2 Takt time.....	7
III – Mesure de gestion des incidents (MTTR/MTBF).....	8
3.1 Définition du MTTR & MTBF	8
3.2 Formule	8
3.3 Exemple	9
IV – Statistiques des procédés (Cm/Cmk)	10
4.1 Définition des termes	10
4.2 Formule de calcul	12
4.3 Exemple	13

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma composantes TRS OSE.....	3
Figure 2 : Schéma mesure gestion des incidents	8
Figure 3 : Schéma protocole capabilité	10
Figure 4 : Table des valeurs critiques Kolmogorov-Smirnov.....	12

I – RENDEMENT ET PERFORMANCE (TRS)

1.1 TRS applicable

Le TRS correspond au Taux de Rendement Synthétique. Cet indicateur rend compte de la performance globale du moyen de production par rapport à son plein potentiel durant les périodes planifiées de production.

Le TRS applicable dans le cadre des projets OSE rend compte des caractéristiques du moyen de production (machine) en excluant les facteurs externes pouvant influencer sur l'acquisition des composants du TRS.

Les données retenues dans le calcul du TRS sont les suivantes :

- prise en compte des perturbations intrinsèques au moyen de production, telles que les rebuts, les écarts de cadence et les arrêts propres, générées par le moyen de production ;
- exclusion des perturbations extrinsèques au moyen de production, telles que les temps d'attente, les temps engendrés par des problèmes et/ou des manques dus à des éléments externes au moyen de production, comme un problème d'approvisionnement ou de qualité de composants, un manque de personnel, etc. (liste non exhaustive).

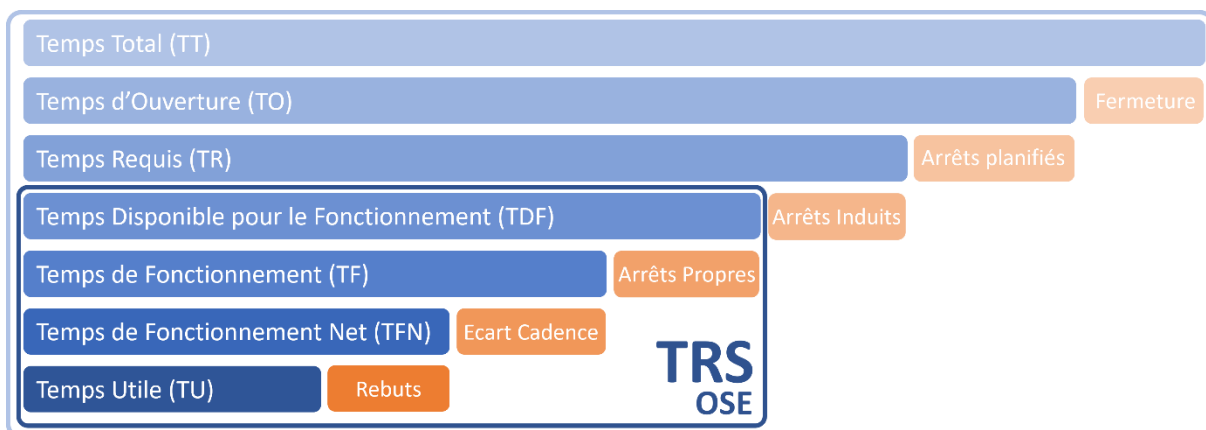


Figure 1 : Schéma composantes TRS OSE

1.2 Formule de calcul

- $TRS_{OSE} = \frac{TU}{TDF} = \frac{\text{Nombre de pièces bonnes produites}}{\text{Nombre de pièces théoriquement réalisables}} * 100$
- $\text{Nombre de pièces théoriquement réalisables} = \frac{\text{Temps Disponible pour le Fonctionnement (TDF)}}{\text{Temps de cycle théorique par pièce}}$

1.3 Définitions

Temps Total (TT) : temps de possession du moyen de production.

Fermeture : temps hors horaire de travail. Le moyen de production n'est pas accessible sur cette plage horaire.

Temps d'Ouverture (TO) : temps durant lequel le moyen de production (machine, atelier, usine...) est accessible sur l'amplitude horaire de travail.

Temps Requis (TR) : correspond au temps d'ouverture auquel on vient soustraire les temps d'arrêts planifiés.

Temps d'Arrêts Planifiés : temps prévus et planifiés durant lesquels la machine ne produit pas ou peu. Certains changements de série pourraient être considérés comme des arrêts planifiés.

Temps Disponible pour le Fonctionnement (TDF) : correspond au temps requis auquel on soustrait les Temps d'Arrêts Induits (TAI) (cf. définition en p.4/5)

Temps de Fonctionnement (TF) : temps pendant lequel le moyen fabrique des produits. Il correspond au temps requis auquel on soustrait les temps d'arrêt non planifiés (TAI + Temps d'Arrêts Propres) (cf. définition en p.5). Il correspond également au Temps Disponible pour le Fonctionnement - TAP.

Temps de Fonctionnement Net (TFN) : temps pendant lequel le moyen fabrique des produits (bons ou mauvais) dans le respect du temps de cycle de référence (temps de cycle théorique, cadence théorique).

Ecart de Cadence : delta de temps entre le temps réel passé à produire des pièces et le temps supposé de production à la cadence nominale (ralentissement). Ces écarts de cadence sont uniquement imputables au TFN lors d'une production si l'écart n'est pas associé à un arrêt ou à un opérateur. En effet, si l'équipement ralentit avant de s'arrêter ou redémarre à vitesse réduite, nous affectons ce temps perdu à l'arrêt correspondant (si l'arrêt n'a pas lieu, le ralentissement associé non plus).

Temps Utile (TU) : temps pendant lequel le moyen fabrique des produits bons. Temps non mesurable ; il est calculé en multipliant le nombre de pièces bonnes par le temps de cycle de référence.

Rebut / Temps de non-qualité : temps passé à produire des pièces considérées non conformes ou à reprendre, à reconditionner, etc. (toujours à la cadence nominale). Il faut distinguer les rebuts induits par la machine / process (pris en compte dans le calcul du TRS) et les rebus dus à des composants non conformes ou défectueux (exclus du calcul du TRS).

(Correspond au nombre de pièces non conformes multiplié par le temps de cycle théorique.)

Temps arrêts non planifiés : Temps Arrêts Induits + Temps Arrêts Propres. Cela correspond au temps total durant lequel l'installation subit des arrêts qui ne sont pas prévus / planifiés.

Temps d'Arrêts Induits (TAI) : arrêts provoqués par une cause externe au moyen de production (amont, aval, opérateur, composants, ...), notamment :

Configuration :

- Changement de série
- Réglages
- Changement de qualité
- ...

Recharge / remplacement :

- Changement de consommables
- Recharge cartouches d'encre
- Graissage
- ...

Démarrage/Arrêt :

- Temps de chauffe
- Redémarrage
- Rodage
- Contrôle machine
- Montée en cadence
- Préparation
- Pressuriser
- Pompe à sec
- Vidage machine
- Rinçage
- Refroidissement
- Calibration
- Remplissage machine
- ...

Pas d'opérateur sur la machine :

- Pause
- Réunion
- Formation
- Aide sur une autre machine
- ...

Maintenance Préventive pendant la production :

- MP planifiée durant la production
- MP non planifiée
- ...

Pas d'entrée (process en série) :

- Buffer d'entrée vide
- Pas d'entrée dû à la mise en route / panne de la machine en amont
- Pas d'entrée dû au dépileur (si pas de notre fourniture)
- ...

Chargement :

- Chargement de caisses
- Chargement matières premières
- ...

Manutention :

- (Dé)chargement camion
- Conduite chariot élévateur
- Changement de récipient / contenant
- ...

Attente :

- Attente d'outillages
- Attente de la maintenance
- Attente pour inspection
- Pas/Mauvais emballage
- Pas/Mauvaise matière première
- Pas d'opérateur disponible
- Coupure d'électricité / eau / ...
- ...

Maintenance et nettoyage :

- Equipe maintenance (efficience)
- Nettoyage
- ...

Problème Qualité / Perturbation process :

- Arrêt dû à des composants hors spec
- Mauvaise manip opérateur
- ...

Pas de sortie (process en série) :

- Buffer de sortie plein
- Arrêt de l'empileur (si pas de notre fourniture)
- Convoyeur bloqué (entre deux machines)
- ...

Process :

- Réintroduction
- Retravail (*Rework*)
- Nouvelle tentative (*Retry*)
- ...

Par exemple :

- *Un opérateur décide de réintroduire une pièce après un contrôle vision. Les temps d'arrêt de cycle, d'ouverture de porte et de redémarrage de cycle doivent être exclus du calcul. Le temps associé au retravail (et les pertes de temps liées) et à la montée en cadence doivent eux aussi être exclus.*
- *Le client décide de changer de série à son bon vouloir, le temps que mettra l'opérateur pour remplacer les outillages, le temps éventuel de nettoyage associé ainsi que la phase de ramp-up due à ces changements de série ne peuvent entrer dans le calcul du TRS.*

Temps d'Arrêts Propres (TAP) : Il s'agit des arrêts imputables et intrinsèques au moyen de production : dysfonctionnement technique, panne, rebuts dus au process machine.

1.4 Exemple

Dans le cadre d'une réception définitive d'une machine, le Taux de Rendement Synthétique (TRS) est étudié pendant une période de production de 4h. Au cours de ces 4h, OSE et le client se placent en conditions de production nominales, celles employées tout du long de la vie machine. Les données suivantes ont été recueillies durant la période de production :

- Pièces produites (OK+NOK) = 435 pièces
- Rebut = 20 pièces
- TR = 4h = 240 min
- TAI : retard approvisionnement (4 min) + opérateur absent (3 min) + composants non conformes (5 min) = 12 min

Calculs :

- Pièces bonnes produites = pièces produites - rebuts = 435 - 20 = 415 pièces
- TDF = TR - TAI = 240 - 12 = 228 min
- Temps de cycle théorique = 0,5 minute / pièce = 30 sec / pièce
- Nombre de pièces théoriquement réalisables = $\frac{228}{0,5} = 456$ pièces
- $TRS_{OSE} = \frac{415}{456} * 100 = 91,0\%$

II – CADENCE (TCY / TAKT TIME)**2.1 Temps de cycle**

Le temps de cycle correspond au temps nécessaire à la répétition d'une opération sur un poste donné.

- *Temps de cycle réel (TCY) = $\frac{\text{Temps de production disponible sur une période donnée}}{\text{Nombre de pièces produites sur une période donnée}}$*

2.2 Takt time

Le *takt time* appliqué chez OSE correspond à la cadence de production en sortie de ligne, ajustée à la demande client. Il est calculé comme suit :

- *Takt time = $\frac{\text{Temps Disponible pour le Fonctionnement sur une période donnée}}{\text{Nombre de pièces vendues au client sur une période donnée}}$*

Sont exclus du calcul du *takt time*, tous les éléments extrinsèques au moyen de production et notamment :

- Le temps de cycle opérateur, qui est propre et dépendant de chaque opérateur (expérience, motivation, etc.). Il est donc à la charge du client de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour respecter le temps de cycle opérateur énoncé.
- Le manque de disponibilités et/ou de non-conformité des composants entrants.

III – MESURE DE GESTION DES INCIDENTS (MTTR/MTBF)

3.1 Définition du MTTR & MTBF

Le MTTR correspond au temps moyen de réparation.

Le MTBF correspond au temps moyen entre deux pannes sur une période donnée.

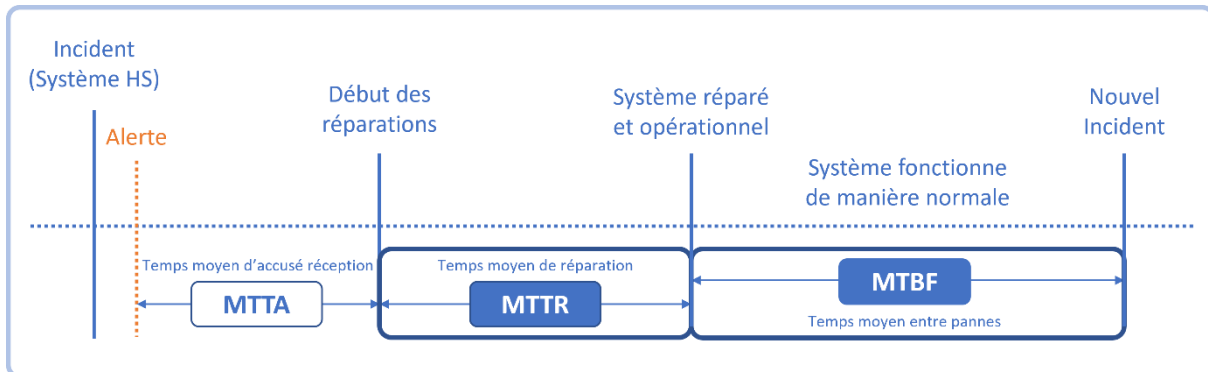


Figure 2 : Schéma mesure gestion des incidents

Le MTTR et le MTBF applicables dans le cadre des projets OSE sont pris en compte lors de la phase de conception, en excluant les facteurs externes pouvant influencer sur leurs valeurs.

OSE ne peut s'engager ni sur le MTBF ni sur le MTTR mais met tout en œuvre pour limiter les défaillances.

A titre indicatif et sans que cela ne soit considéré comme un engagement, OSE prévoit les temps de remplacement par des personnes formées et entraînées, suivants :

- Capteur : 15 min par défaut pour un détecteur inductif *
- Actionneur (vérin / moteur) : 30 min par défaut pour un vérin ou un moteur *
- Guidage : à voir aux études
- Transmission (courroie / pignon / chaîne / ...) : 30 min pour une courroie ou une chaîne par défaut *
- Outillage en contact avec le produit : à voir aux études
- Ensemble en échange standard (broche équipée / tête de nettoyage / ...) : à voir aux études
- Pièce d'usure (plaquette / brosse / marqueur / ...) : à voir aux études

* Nous nous réservons le droit de sortir de ces valeurs pour des raisons de compatibilité, faisabilité, ...

3.2 Formule

$$\bullet \quad \text{MTTR} = \frac{\Sigma (\text{Temps de Réparation})}{\text{Nombre de pannes}}$$

$$\bullet \quad \text{MTBF} = \frac{\Sigma (\text{Temps de bon fonctionnement})}{\text{Nombre de pannes}}$$

$$\bullet \quad \Sigma (\text{Temps de bon fonctionnement}) = \text{période de référence du calcul} - \Sigma \text{ Temps d'arrêt}$$

« Ce document est l'entière propriété de OSE » « This document remains property of OSE »

3.3 Exemple

Période de référence = 2184 h

Total temps de réparation = 18 h

Temps de bon fonctionnement = 2166 h

Nombre de réparations = 12

MTTR = 18 / 12 = 1,5 h en moyenne par réparation

MTBF = 2166 / 12 = 180,5 h en moyenne entre deux pannes.

IV – STATISTIQUES DES PROCÉDES (CM/CMK)

4.1 Définition des termes

L'analyse des statistiques des procédés (MSP) permet d'anticiper les dérives de qualité en s'appuyant sur des outils statistiques. La distribution des séries doit suivre une loi normale afin de pouvoir être exploitée (condition de test paramétrique). Dans le cas où la loi n'est pas normale, le client doit se rapprocher de OSE pour définir le moyen de mesure de la capacité de l'équipement et du modèle statistique à choisir.

La capacité permet d'estimer le niveau de performance du moyen de production, de réduire les problèmes durant la phase de lancement de production série et de réduire le nombre de défauts mesurés en ppm (part par million).

Dans le cadre des projets, OSE ne prend en compte que la capacité Cm et Cmk correspondant à la capacité machine. Celle-ci vise à démontrer que la machine est intrinsèquement capable de produire.

Dans un premier temps, les capacités sont réalisées idéalement à partir d'un master, pour confirmer le bon fonctionnement de la machine dans l'absolue (référence). *Par exemple une presse peut pousser sur un ressort étalon ; cependant pour un sertissage nous utiliserions des produits. Les composantes externes au moyen de production – voir les 7M ci-dessous – ne sont donc pas prises en compte dans la capacité machine).*

La capacité attendue par le client prend en compte la dispersion et les caractéristiques des composants clients. Il convient donc de vérifier que ces composants sont dans les tolérances prévues au cahier des charges et réalisables théoriquement (chaîne de cote, ...).

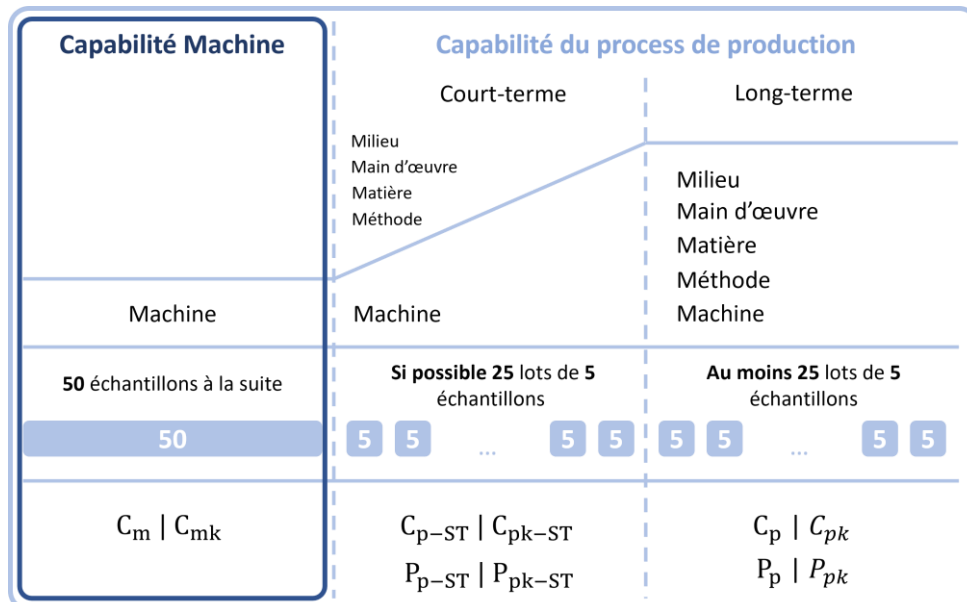


Figure 3 : Schéma protocole capabilité

Pour information :

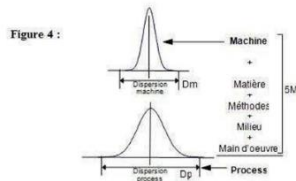
Les causes de variation (dispersion) d'un procédé sont diverses et prennent leurs sources dans 7 domaines (7M) :

- **Méthode** (de travail, de réalisation, de conception, procédures, instructions...)
- **Moyen** (machines, outillage, moyens de manutention, informatique, bureautique, logiciel...)
- **Matière** (matière première, en-cours, produits finis, documents d'entrée...)
- **Milieu** (sécurité, environnement, ateliers, entrepôts, facteurs d'ambiance...)
- **Main d'œuvre** (opérateurs, formation, compétences, polyvalence...)
- **Management** (encadrement, organisation, Politique Qualité...)
- **Mesure** (moyen de mesure, capacité, vérification, calibration, étalonnage)

Les causes de ces variations sont de 2 types :

- **Les causes communes** (ou aléatoires) : dispersion des matériaux ou des composants, température, humidité, influence des opérateurs. Elles sont relativement stables et possibles à quantifier. Les causes communes doivent être réduites.
- **Les causes spéciales** (ou assignables) : panne de matériel, appareil de mesure non vérifié, erreur d'outillage. Souvent irrégulières, elles sont difficiles à quantifier et peuvent réapparaître sauf si des mesures de prévention sont mises en place. Les causes spéciales doivent être éliminées.

Différence entre une Capacité court terme et une Capacité long terme :



Il est nécessaire de dissocier 2 types de dispersion :

1. **La dispersion court terme (machine)** notée D_m , observée pendant un très court instant est liée uniquement à la machine et ses causes aléatoires de variation attribuables au hasard.
2. **La dispersion long terme (process)** notée D_p , est observée sur le process pendant un temps suffisamment long pour que les 3M (Machine, Matière, Main d'œuvre, Milieu) aient une influence. Ce sont les causes assignables de variation.

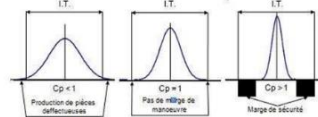
La différence entre la capacité machine et la capacité process provient uniquement de la manière d'estimer la dispersion :

$$C_m = \frac{I.T.}{D_m}$$

$$C_p = \frac{I.T.}{D_p}$$

Avec I.T. = Intervalle de tolérance

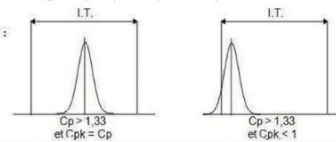
Figure 5 :



Indicateurs de dérèglement Cmk et Cpk :

Les premiers indicateurs C_m et C_p ne donnent pas une information suffisante pour affirmer que l'on ne produit pas de pièces mauvaises. En effet, comme le montre la figure ci-dessous, il est possible, malgré un C_p acceptable, de produire des pièces hors tolérances.

Figure 6 :



Les seuils courants et les probabilités de confiance associées sont données ci-dessous, un seuil de 1,33 est très souvent utilisé, 1,66 relève des productions d'excellence (nécessaire pour de grandes quantités de pièces).

Seuil	Sigmas (score z)	confiance	NC
0,67	2,01	95,56%	44'431ppm
1	3	99,73%	2'700ppm
1,33	3,99	99,9934%	66ppm
1,66	4,98	99,999936%	1ppm
2	6	99,9999998%	0ppm

On note le "score z" : $z = 3.S$

4.2 Formule de calcul

Protocole de relevé :

Le test pour un Cm est effectué avec un relevé d'une seule traite de 50 mesures pour la capabilité machine.

La méthodologie du Cm et Cmk est centrée sur le moyen de production OSE. Elle permet d'exclure les composantes externes au moyen de production (6M) pouvant influencer directement sur le résultat de la capabilité.

A l'inverse, la capabilité process Cp (non applicable aux projets OSE) est effectuée via un relevé de 5 mesures à minima 25 fois, espacées d'un certain écart de temps entre chaque série de mesure. La différence entre Cp et Cm réside donc dans la manière de conduire les relevés de mesures et non pas dans le calcul.

Pour information :

Test de Kolmogorov-Smirnov (test loi normale) :

Dans le but de pouvoir appliquer les statistiques des procédés, le test de Kolmogorov Smirnov (KS) est employé pour déterminer si la série d'échantillons suit une loi normale. Le test de KS, pour un échantillon, compare la fonction de distribution cumulée observée d'une variable avec une distribution théorique spécifiée, qui peut être normale. Si la série passe ce test avec succès, il sera alors admis comme hypothèse qu'elle suit une loi normale. Cela permettra de projeter les valeurs mesurées de la série, afin d'obtenir les capabilités (Cm et Cmk) et les défauts en ppm.

- Données : n échantillons (x_1, \dots, x_n) d'une variable aléatoire X.
- Hypothèse testée : « La fonction de répartition de X, notée F, est égale à F_0 » avec un risque d'erreur α (dans notre cas nous prenons un risque d'erreur de 5%, soit 0,05)
- Déroulement du test :
 - Ordonnancement des valeurs observées $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$
 - On considère la fonction de répartition empirique F définie par $F(x)=0$ pour $x < x_1$, $F(x)=1/n$ si $x_1 \leq x < x_2$, ..., $F(x)=i/n$ pour $x_1 \leq x < x_{i+1}$, ..., $F(x)=1$ pour $x > x_n$
 - Calcul de $K=\sup|F(x) - F_0(x)|$, par la formule :

$$K = \max_{1 \leq j \leq n} \left(\frac{j}{n} - F_0(x_j), F_0(x_j) - \frac{j-1}{n} \right)$$

- On lit la valeur critique D_n dans la table de la loi du Δ de Kolmogorov-Smirnov. Si $K < D_n$, on accepte l'hypothèse, sinon, on la rejette.

$n \backslash \alpha$	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57590	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28223	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23790	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14866
OVER 50	1.04947	1.62762	1.51743	1.35810	1.22385	1.13795	1.07275
	√n	√n	√n	√n	√n	√n	√n

Figure 4 : Table des valeurs critiques Kolmogorov-Smirnov

Capabilité :

Une fois le test de normalité passé, si le résultat est concluant, la capabilité du moyen de production va être calculée comme suit :

Pour un lot de n pièces produites et les mesures x associées, on calcule :

- La valeur moyenne $\mu = \frac{\sum(\text{mesures})}{n}$
- L'écart type $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\mu)^2}{n}}$
- L'indice de capacité de la machine $Cm = \frac{USL (\text{limite supérieure}) - LSL (\text{limite inférieure})}{6\sigma} = \frac{IT}{6\sigma}$
- L'indice de capacité minimale de la machine $Cmk = \min\left(\frac{USL-\mu}{3\sigma}; \frac{\mu-LSL}{3\sigma}\right)$

4.3 Exemple

Dans le cadre d'une réception définitive d'une machine, avec des lots de composants définitifs, OSE et le client souhaitent évaluer les performances de répétabilité de celle-ci. Pour ce faire, ils veulent déterminer la capabilité d'une machine à produire des pièces conformes. Dans le cas présent, nous cherchons à déterminer si la cote fonctionnelle « DX3 » est comprise dans l'intervalle de tolérance contractuel. Nous cherchons également à savoir si cette cote est centrée par rapport à la cote nominale imposée par le plan client. Pour ce faire, nous avons à notre disposition un moyen de mesure par caméra pour contrôler la pièce.

Après avoir effectué 50 mesures, nous obtenons les données suivantes :

Cote théoriques, données sur le plan :

Cote nominale : 100,0 mm
USL : 100,5 mm
LSL : 99,5 mm

Cote réelles, mesurées en production :

$\mu = 100,1$ mm
 $\sigma = 0,08$

Calculs :

$Cm = \frac{100,5-99,5}{6*0,08} = 2,18$ (Si dans CDC, demande 1,33 ; alors nous sommes capables)

$Cmk = \min\left(\frac{100,5-100,1}{3*0,08}; \frac{100,1-99,5}{3*0,08}\right) = 1,77$ (Si dans CDC, demande 1,33 ; alors nous sommes centrés)