



RAPPEL NORMATIF

SOMMAIRE

5 – Calcul des capabilités machine selon les normes.....	3
5.1 – FORD (1989)	3
5.1.1 – Loi normale	3
5.1.2 – Loi de RAYLEIGH	4
5.1.2 – Loi de RAYLEIGH	4
5.1.3 – Loi de WEIBULL	4
5.2 – CNOMO (E41.32.110.N et E41.32.120.N).....	5
5.2.1 – Loi normale	5
5.2.2 – Loi des défauts de forme	7
5.3 – AFNOR (NFX 06-030)	9
5.3.1 – Loi normale	9
5.3.2 – Loi des défauts de forme	10
5.3.3 – Loi de RAYLEIGH	12
5.4 – BOSCH (06.1994).....	12
5.5 – QS-9000 (FORD1996).....	15
6 - Calcul des limites et des capabilités du procédé.....	16
6.1 – FORD (1989)	16
6.2 – CNOMO (E41.32.110.N , E41.32.120.N , et E41.30.050.R)	17
6.2.1 – Loi normale	18
6.2.2 – Loi des défauts de forme	19
6.2.3 – Loi normale tronquée	20
6.2.4 – Loi log-normale	21
6.2.5 – Loi de RAYLEIGH	22
6.2.6 – Loi de WEIBULL	24
6.2.7 – Coefficients utilisés	25
6.3 – AFNOR (NFX 06-030, NFX 06-031).....	26
6.3.1 – Loi normale	26
6.3.2 – Loi des défauts de forme	28
6.3.3 – Loi normale tronquée	29
6.3.4 – Loi log-normale	30
6.3.5 – Loi de RAYLEIGH	32
6.3.6 – Loi de WEIBULL	33
6.3.8 – Coefficients utilisés	34
6.4 – BOSCH (06.1994).....	36
6.4.1 – Calcul des limites de contrôle	36
6.4.2 – Calcul des indicateurs de capabilité	41
6.4.5 – Coefficients utilisés	43
6.5 – Indicateur Cpm (Genichi TAGUCHI – 1987)	44
6.5.1 – Fonction de perte	44
6.5.2 – Indicateur Cpm dans le cas de tolérances bilatérales	45
6.5.3 – Indicateur Cpm dans le cas d’une tolérance unilatérale	46
6.6 – QS-9000 (FORD 1996).....	50
7. – Remarques communes à toutes les normes.....	50
8. – Exemples :.....	51

5 – Calcul des capabilités machine selon les normes

5.1 – FORD (1989)

5.1.1 – Loi normale

Estimation de l'écart-type :

Si l'étude de capabilité machine est réalisée à partir d'un prélèvement unique spécifique, l'écart-type est estimé par $\hat{\sigma}=S$ ou $\hat{\sigma}=R$.

Si l'étude de capabilité machine est réalisée à partir des prélèvements issus du contrôle du procédé, l'écart-type est estimé par $\hat{\sigma} = \bar{S}/c_4$ ou $\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$. Si l'effectif est variable, les coefficients c_4 et d_2 sont calculés à partir de l'effectif moyen.

Indicateurs de capabilité :

$C_m = \frac{T_s - T_i}{6\hat{\sigma}}$ pour une caractéristique bilatérale (pas de C_m dans le cas unilatéral).

$C_{mk} = \frac{\min(T_s - \bar{X}, \bar{X} - T_i)}{3\hat{\sigma}}$ pour une caractéristique bilatérale.

$C_{mk} = \frac{T_s - \bar{X}}{3\hat{\sigma}}$ pour une caractéristique unilatérale supérieure.

$C_{mk} = \frac{\bar{X} - T_i}{3\hat{\sigma}}$ pour une caractéristique unilatérale inférieure.

Note : si la capabilité machine est calculée à partir d'un prélèvement unique, le C_{mk} doit bien entendu être calculé à partir de \bar{X} et non de $\bar{\bar{X}}$.

5.1.2 – Loi de RAYLEIGH

Estimation de l'écart-type :

Si l'étude de capabilité machine est réalisée à partir d'un prélèvement unique d'effectif n , l'écart-type est estimé par :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Si l'étude de capabilité machine est réalisée à partir de k prélèvements d'effectif n de la carte de série, l'écart-type est estimé à partir des écarts-types S_p de chaque prélèvement :

$$S = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{p=1}^k S_p^2} \quad \text{avec} \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Indicateur de capabilité :

$$C_{pk} = \frac{T_s - a}{5.55S} \quad (\text{a est la valeur seuil})$$

5.1.3 – Loi de WEIBULL

Indicateurs de capabilité :

$$C_m = \frac{T_s - T_i}{6\hat{\sigma}} \quad \text{pour une caractéristique bilatérale (pas de } C_m \text{ dans le cas unilatéral)}.$$

Après avoir établi les trois paramètres de la distribution (d'après 2.9.8), on calcule le fractile théorique à 99.865%. La dispersion instantanée est estimée par $D = \xi_{99.865\%} - a$ (a est la valeur seuil).

$$C_{mk} = \frac{T_s - a}{D} \quad \text{si le tolérancement est bilatéral ou unilatéral supérieur.}$$

$$C_{mk} = \frac{a - T_i}{D} \quad \text{si le tolérancement est bilatéral ou unilatéral inférieur.}$$

5.2 – CNOMO (E41.32.110.N et E41.32.120.N)

La norme CNOMO envisage deux traitements différents selon que la distribution des mesures suit une loi normale ou une loi des défauts de forme.

5.2.1 – Loi normale

Estimation de l'écart-type :

La norme impose que l'étude soit réalisée à partir d'au moins 6 échantillons de 5 mesures. Si le prélèvement n'est pas issu des échantillons de série (carte de contrôle), mais d'un prélèvement unique ; nous nous ramenons au cas précédent en imposant que sa taille soit d'au moins 30 mesures, et en groupant les mesures par paquets de 5 prises consécutivement (on ne prend pas en compte les dernières mesures si l'effectif n'est pas multiple de 5).

On calcule l'étendue moyenne \bar{R} des prélèvements, puis l'écart-type instantané $\sigma_i = \frac{\bar{R}}{d_n^*}$.

Avec : $d_n^* = d_n - P_{\text{Normal}}(U < 5\%) * \beta_n / \sqrt{k}$

k est le nombre de prélèvements

n est l'effectif du prélèvement (effectif moyen si prélèvements de taille variable)

β_n et d_n sont des constantes liées à l'estimation de l'écart-type par la méthode de l'étendue réduite.

$P_{\text{Normal}}(U < 5\%) = 1.645$ est le risque unilatéral à 5%

Quelques valeurs de d_n^* :

k \ n	6	7	8	9	10	12	15	19	24	30	40
2	0.555	0.598	0.632	0.660	0.684	0.723	0.766	0.806	0.842	0.872	0.906
3	1.097	1.141	1.177	1.206	1.601	1.271	1.316	1.358	1.395	1.426	1.462
4	1.468	1.512	1.547	1.576	1.231	1.641	1.685	1.727	1.764	1.795	1.830
5	1.746	1.789	1.824	1.852	1.877	1.916	1.959	2.000	2.036	2.067	2.101
6	1.965	2.007	2.041	2.069	2.093	2.131	2.174	2.214	2.249	2.279	2.313
7	2.145	2.186	2.195	2.247	2.271	2.308	2.350	2.390	2.424	2.454	2.487
8	2.296	2.337	2.370	2.397	2.420	2.458	2.499	2.538	2.572	2.601	2.634
9	2.431	2.471	2.504	2.530	2.553	2.589	2.629	2.667	2.700	2.729	2.761
10	2.543	2.582	2.614	2.641	2.663	2.700	2.739	2.777	2.810	2.839	2.871

Note : le calcul pour des effectifs différents de 5 est proposé hors norme CNOMO.

Indicateurs de capabilité :

$$CAM = \frac{T_s - T_i}{6\sigma_i} \text{ pour une caractéristique bilatérale..}$$

$$CAM = \frac{T_s - \bar{X}}{3\sigma_i} \text{ pour une caractéristique unilatérale supérieure.}$$

$$CAM = \frac{\bar{X} - T_i}{3\sigma_i} \text{ pour une caractéristique unilatérale inférieure.}$$

L'indicateur pour les caractéristiques unilatérales est proposé hors norme CNOMO.

5.2.2 – Loi des défauts de forme

Estimation de la dispersion instantanée :

La norme impose que l'étude soit réalisée à partir d'au moins 30 mesures.

On effectue les calculs suivants (voir la justification aux paragraphes 2.6.3 et 2.6.4) :

- moyenne des valeurs absolues des mesures : $\bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |z_i|$ (N est le nombre de mesures)
- moment non centré du deuxième ordre : $m_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i^2$
- selon la valeur du rapport $\frac{\bar{z}}{\sqrt{m_2}}$, on applique trois procédures différentes :
 - si $\frac{\bar{z}}{\sqrt{m_2}} < \sqrt{\frac{2}{\pi}} = 0.7978$, la distribution n'est pas celle d'une loi des défauts de forme. Il faut faire une analyse des mesures pour en rechercher la cause.

La dispersion instantanée est $D = 2.96 \sqrt{m_2}$.

- si $0.7978 \leq \frac{\bar{z}}{\sqrt{m_2}} \leq 0.825$, on lit les coefficients k_1 et k_2 du tableau indiqué ci-après.

On calcule alors le rapport $\lambda/s = \frac{k_2}{k_1}$, et on lit le coefficient z/s dans le deuxième tableau. La dispersion instantanée est $D = z/s * k_1 \sqrt{m_2}$.

- si $0.825 < \frac{\bar{z}}{\sqrt{m_2}} \leq 1$, on lit les coefficients k_1 et k_2 du tableau, puis on calcule les valeurs $s = k_1 \sqrt{m_2}$ et $\lambda = k_2 \sqrt{m_2}$. La dispersion instantanée est $D = \lambda + 2.75 s$.

Indicateurs de capabilité :

$CAM = \frac{T_s - a}{D}$ pour un défaut de forme supérieur (a est la valeur seuil).

$CAM = \frac{a - T_i}{D}$ pour un défaut de forme inférieur (a est la valeur seuil).

Le seuil cahier des charges est par défaut pris à 1.1

Coefficients tabulés :

$\bar{Z} / \sqrt{m_2}$	K_1	K_2	$\bar{Z} / \sqrt{m_2}$	K_1	K_2	$\bar{Z} / \sqrt{m_2}$	K_1	K_2
0.7978	1	0	0.860	0.570	0.822	0.935	0.356	0.934
0.798	0.957	0.287	0.865	0.553	0.834	0.940	0.341	0.940
0.799	0.929	0.371	0.870	0.538	0.844	0.945	0.326	0.945
0.800	0.913	0.410	0.875	0.522	0.853	0.950	0.312	0.950
0.805	0.836	0.544	0.880	0.507	0.862	0.955	0.296	0.955
0.810	0.792	0.603	0.885	0.492	0.870	0.960	0.279	0.960
0.815	0.762	0.651	0.890	0.479	0.878	0.965	0.263	0.965
0.820	0.732	0.682	0.895	0.466	0.885	0.970	0.243	0.970
0.825	0.707	0.707	0.900	0.453	0.893	0.975	0.222	0.975
0.830	0.682	0.732	0.905	0.440	0.899	0.980	0.199	0.980
0.835	0.660	0.752	0.910	0.426	0.906	0.985	0.173	0.985
0.840	0.640	0.768	0.915	0.412	0.912	0.990	0.141	0.990
0.845	0.623	0.783	0.920	0.399	0.918	0.995	0.0995	0.995
0.850	0.606	0.796	0.925	0.385	0.924	0.999	0.0454	0.999
0.855	0.589	0.809	0.930	0.371	0.929	1	0	1

λ/s	z/s	λ/s	z/s	λ/s	z/s	λ/s	z/s	λ/s	z/s
0	2.96	0.56	3.30	0.74	3.47	0.85	3.59	0.94	3.70
0.30	3.08	0.61	3.35	0.76	3.50	0.87	3.61	0.96	3.72
0.40	3.14	0.65	3.40	0.78	3.52	0.88	3.62	0.97	3.73
0.45	3.19	0.67	3.42	0.80	3.53	0.90	3.65	0.98	3.74
0.48	3.20	0.69	3.44	0.81	3.55	0.91	3.67	1	3.75
0.52	3.26	0.71	3.46	0.83	3.57	0.93	3.69		

Les valeurs intermédiaires de chaque tableau sont obtenues par interpolation linéaire entre les deux valeurs les plus proches.

5.3 – AFNOR (NFX 06-030)

5.3.1 – Loi normale

Estimation de l'écart-type :

Si l'étude de capabilité machine est réalisée à partir d'un prélèvement unique d'effectif n , l'écart-type est estimé par :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Si l'étude de capabilité machine est réalisée à partir de k prélèvements d'effectif n de la carte de série, l'écart-type est estimé à partir des écarts-types S_p de chaque prélèvement :

$$S = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{p=1}^k S_p^2} \quad \text{avec} \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Indicateurs de capabilité :

$C_{am} = \frac{T_s - T_i}{6S}$ pour une caractéristique bilatérale (pas de C_{am} dans le cas unilatéral).

$C_{mk} = \frac{\min(T_s - \bar{\bar{X}}, \bar{\bar{X}} - T_i)}{3S}$ pour une caractéristique bilatérale.

$C_{mk} = \frac{T_s - \bar{\bar{X}}}{3S}$ pour une caractéristique unilatérale supérieure.

$C_{mk} = \frac{\bar{\bar{X}} - T_i}{3S}$ pour une caractéristique unilatérale inférieure.

Note : si la capabilité machine est calculée à partir d'un prélèvement unique, le C_{mk} doit bien entendu être calculé à partir de $\bar{\bar{X}}$ et non de \bar{X} .

5.3.2 – Loi des défauts de forme

Estimation de l'écart-type :

On effectue les calculs suivants (voir la justification aux paragraphes 2.6.3 et 2.6.4) :

- moyenne des valeurs absolues des mesures : $\bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |z_i|$ (N est le nombre de mesures)
- moment centré du deuxième ordre : $m_2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (z_i - \bar{z})^2$
- selon la valeur du rapport $\frac{\bar{z}}{\sqrt{m_2}}$, on applique trois procédures différentes :
 - si $\frac{\bar{z}}{\sqrt{m_2}} < 1.3236$ la dispersion instantanée est $D = 5.32 \sqrt{m_2}$.
 - si $1.3236 \leq \frac{\bar{z}}{\sqrt{m_2}} \leq 3.0$, on lit le coefficient γ du tableau indiqué ci-après. La dispersion instantanée est $D = \gamma \sqrt{m_2}$.
 - si $3.0 < \frac{\bar{z}}{\sqrt{m_2}}$, la dispersion instantanée est $D = \bar{z} + 3 \sqrt{m_2}$.

Indicateurs de capabilité :

$Cam = \frac{T_s - a}{D}$ pour un défaut de forme supérieur (a est la valeur seuil).

$Cam = \frac{a - T_i}{D}$ pour un défaut de forme inférieur (a est la valeur seuil).

Paramètres de la loi normale sous-jacente :

La moyenne m et l'écart-type σ de la loi normale sous-jacente sont établis à partir des rapports $\sqrt{m_2}/\sigma$ et m/σ donnés par le tableau ci-après, en fonction de $\bar{z}/\sqrt{m_2}$.

Coefficients tabulés :

$\bar{Z} / \sqrt{m_2}$	$\sqrt{m_2} / \sigma$	m / σ	$\bar{Z} / \sqrt{m_2}$	$\sqrt{m_2} / \sigma$	m / σ
1.3236	0.6028	0	1.62	0.8758	1.3341
1.325	0.6233	0.2656	1.64	0.8825	1.3689
1.33	0.6468	0.3979	1.66	0.8889	1.4027
1.34	0.6733	0.5170	1.68	0.8489	1.4357
1.35	0.6922	0.5935	1.70	0.9005	1.4678
1.36	0.7076	0.6532	1.75	0.9132	1.5453
1.37	0.7208	0.7034	1.80	0.9242	1.6192
1.38	0.7326	0.7476	1.85	0.9338	1.6900
1.39	0.7433	0.7874	1.90	0.9421	1.7583
1.40	0.7531	0.8238	1.95	0.9494	1.8245
1.41	0.7621	0.8577	2.00	0.9558	1.8888
1.42	0.7706	0.8894	2.05	0.9614	1.9515
1.43	0.7785	0.9194	2.10	0.9963	2.0128
1.44	0.7860	0.9480	2.15	0.9706	2.0728
1.45	0.7930	0.9752	2.20	0.9743	2.1317
1.46	0.7997	1.0014	2.25	0.9777	2.1897
1.47	0.8061	1.0266	2.30	0.9806	2.2468
1.48	0.8122	1.0509	2.35	0.9831	2.3031
1.49	0.8180	1.0744	2.40	0.9853	2.3587
1.50	0.8235	1.0973	2.50	0.9890	2.4681
1.52	0.8339	1.1411	2.60	0.9918	2.5755
1.54	0.8436	1.1829	2.70	0.9939	2.6814
1.56	0.8525	1.2228	2.80	0.9955	2.7859
1.58	0.8608	1.2612	2.90	0.9967	2.8894
1.60	0.8685	1.2982	3.00	0.9976	2.9922

$\bar{Z} / \sqrt{m_2}$	γ	$\bar{Z} / \sqrt{m_2}$	γ	$\bar{Z} / \sqrt{m_2}$	γ
1.3236	5.32	1.9	5.05	2.5	5.53
1.4	5.08	2.0	5.11	2.6	5.62
1.5	4.98	2.1	5.19	2.7	5.72
1.6	4.95	2.2	5.27	2.8	5.81
1.7	4.96	2.3	5.35	2.9	5.91
1.8	5.00	2.4	5.44	3.0	6.01

Les valeurs intermédiaires de chaque tableau sont obtenues par interpolation linéaire entre les deux valeurs les plus proches.

5.3.3 – Loi de RAYLEIGH

Estimation de l'écart-type :

Si l'étude de capabilité machine est réalisée à partir d'un prélèvement unique d'effectif n , l'écart-type est estimé par :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Si l'étude de capabilité machine est réalisée à partir de k prélèvements d'effectif n de la carte de série, l'écart-type est estimé à partir des écarts-types S_p de chaque prélèvement :

$$S = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{p=1}^k S_p^2} \quad \text{avec} \quad S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Indicateur de capabilité :

$$Cam = \frac{T_s - a}{5.55 S} \quad (\text{a est la valeur seuil})$$

5.4 – BOSCH (06.1994)

La norme BOSCH est appliquée indifféremment quelle que soit la forme de la distribution des mesures ; mais ne convient véritablement qu'aux procédés normaux.

Prélèvement :

Les mesures sont groupées par paquets de 5 (s'il n'y en a pas un multiple de 5, les 1 à 4 dernières mesures ne sont pas prises en compte. La norme impose qu'il y ait au moins 10 paquets, soit 50 mesures.

Estimation de l'écart-type :

On calcule la moyenne des moyennes des paquets $\bar{\bar{x}}$.

L'écart-type estimé des N mesures x_i est alors calculé par $S_{\text{total}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{\bar{x}})^2}{N-1}}$

Test de stabilité :

Des tests de stabilité de la moyenne et de l'écart-type sont effectués en considérant les paquets de 5 prélèvements comme faisant partie d'une carte de contrôle pour laquelle on calcule des limites de contrôle:

$$\text{Pour la moyenne : } LSC_x = \bar{x} + \frac{2.58 \bar{S}}{\sqrt{5} c_4} \quad \text{et} \quad LIC_x = \bar{x} - \frac{2.58 \bar{S}}{\sqrt{5} c_4}$$

$$\text{Pour l'écart-type : } LSC_s = 2.050 \bar{S}$$

$$\text{avec } S = \frac{1}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^5 (x_i - \bar{x})^2} \text{ écart-type estimé du paquet.}$$

Note : 2.58 est le fractile de la loi normale pour un risque de 1% (risque bilatéral de 0.5%)

Si pour chacun des paquets, la moyenne et l'écart-type estimé sont à l'intérieur de ces limites, les mesures sont considérées comme étant stables.

Indicateurs de capabilité :

Si l'écart-type et la moyenne sont stables, les capabilités sont calculées comme suit :

$$C_m = \frac{T_s - T_i}{6S_{\text{total}}} \text{ pour une caractéristique bilatérale (pas de } C_m \text{ dans le cas unilatéral).}$$

$$C_{mk} = \frac{\min(T_s - \bar{X}, \bar{X} - T_i)}{3S_{\text{total}}} \text{ pour une caractéristique bilatérale.}$$

$$C_{mk} = \frac{T_s - \bar{X}}{3S_{\text{total}}} \text{ pour une caractéristique unilatérale supérieure.}$$

$$C_{mk} = \frac{\bar{X} - T_i}{3S_{\text{total}}} \text{ pour une caractéristique unilatérale inférieure.}$$

Si l'écart-type est stable, mais pas la moyenne, les capabilités sont calculées à partir de la moyenne $\bar{\mu}_{\text{max}}$ des trois moyennes les plus grandes, et de la moyenne $\bar{\mu}_{\text{min}}$ des trois moyennes les plus petites, et avec une estimation de la dispersion par $\hat{\sigma} = \bar{S} / 0.94$:

$$C_m = \frac{(T_s - T_i) - (\bar{\mu}_{\text{max}} - \bar{\mu}_{\text{min}})}{6\hat{\sigma}} \text{ pour une caractéristique bilatérale}$$

$$C_{mk} = \frac{\min(T_s - \bar{\mu}_{\text{max}}, \bar{\mu}_{\text{min}} - T_i)}{3\hat{\sigma}} \text{ pour une caractéristique bilatérale.}$$

$$C_{mk} = \frac{T_s - \bar{\mu}_{\text{max}}}{3\hat{\sigma}} \text{ pour une caractéristique unilatérale supérieure.}$$

$$C_{mk} = \frac{\bar{\mu}_{\text{min}} - T_i}{3\hat{\sigma}} \text{ pour une caractéristique unilatérale inférieure.}$$

Si l'écart-type est instable, on indique dans l'histogramme à la place du C_{mk} , la proportion de mesures individuelles situées dans 60% de l'intervalle de tolérance ; c'est à dire :

- si la caractéristique est bilatérale
 - entre $0.8 T_i + 0.2 T_s$ et $0.4 T_i + 0.6 T_s$
- si la caractéristique est unilatérale supérieure
 - si $T_s > 0$: entre 0 et $0.6 T_s$
 - sinon, pas d'indication
- si la caractéristique est unilatérale inférieure
 - si $T_i < 0$: entre $0.6 T_i$ et 0
 - sinon, pas d'indication

5.5 – QS-9000 (FORD1996)

Ce paragraphe se réfère au 5.1 (« FORD 1989 »).

Cette nouvelle méthode diffère de la méthode « FORD 1989 » par les points suivants :

- Les indices de capabilité quantifiant la dispersion intrinsèque du procédé, anciennement intitulés « capabilité machine » C_m et C_{mk} ; sont désormais intitulés « indice de capabilité » et notés C_p et C_{pk} .
- Ils sont toujours calculés de la même façon (à partir de \bar{R}/d_2 ou \bar{S}/c_4).

6 - Calcul des limites et des capacités du procédé

6.1 – FORD (1989)

L'effectif des échantillons doit être compris entre 2 et 25 (en extension de la méthode FORD, nous effectuons tout de même le calcul au delà de 25).

Les limites de contrôle et les capacités sont calculées à l'aide des formules suivantes quelle que soit la forme de la distribution :

- carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$LSC_X = \text{cible} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC_X = \text{cible} - A_2 \bar{R}$$

$$C_p = \frac{T_s - T_i}{6\bar{R}/d_2} \text{ pour une caractéristique bilatérale (pas de } C_p \text{ dans le cas unilatéral).}$$

$$C_{pk} = \frac{\text{minimum}(T_s - \bar{X}, \bar{X} - T_i)}{3\bar{R}/d_2} \text{ pour une caractéristique bilatérale}$$

$$C_{pk} = \frac{T_s - \bar{X}}{3\bar{R}/d_2} \text{ pour une caractéristique unilatérale supérieure}$$

$$C_{pk} = \frac{\bar{X} - T_i}{3\bar{R}/d_2} \text{ pour une caractéristique unilatérale inférieure}$$

- carte moyennes/écarts-types :

$$LSC_s = B_4 \bar{S}$$

$$LIC_s = B_3 \bar{S}$$

$$LSC_X = \text{cible} + A_3 \bar{S}$$

$$LIC_X = \text{cible} - A_3 \bar{S}$$

$$C_p = \frac{T_s - T_i}{6\bar{S}/c_4} \text{ pour une caractéristique bilatérale (pas de } C_p \text{ dans le cas unilatéral).}$$

$$C_{pk} = \frac{\text{minimum}(T_s - \bar{X}, \bar{X} - T_i)}{3\bar{S}/c_4} \text{ pour une caractéristique bilatérale}$$

$$C_{pk} = \frac{T_s - \bar{X}}{3\bar{S}/c_4} \text{ pour une caractéristique unilatérale supérieure}$$

$$C_{pk} = \frac{\bar{X} - T_i}{3\bar{S}/c_4} \text{ pour une caractéristique unilatérale inférieure}$$

6.2 – CNOMO (E41.32.110.N , E41.32.120.N , et E41.30.050.R)

Estimation de l'écart-type :

La distribution d'échantillonnage d'un écart-type d'une distribution normale est un χ^2 à n degrés de liberté (voir en annexe). La norme CNOMO majore l'estimation de l'écart-type par un intervalle de confiance bilatéral à 99.8%.

La norme utilise donc le coefficient $C = \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{(5\%)}}}$: on a alors $\sigma < CS$.

Quelques valeurs de C :

n	C	n	C	n	C	n	C	n	C	n	C	n	C	n	C	n	C
10	1.64	18	1.40	30	1.28	50	1.21	100	1.13	200	1.09	400	1.06	700	1.05	2000	1.03
12	1.55	20	1.37	35	1.26	60	1.18	120	1.12	250	1.08	450	1.06	800	1.04	3000	1.03
14	1.48	24	1.32	40	1.24	75	1.16	150	1.11	300	1.07	500	1.06	900	1.04	5000	1.02
16	1.43	28	1.30	45	1.22	95	1.14	170	1.10	350	1.07	600	1.05	1000	1.04	10000	1.01

Le paramètre statistique « TYPCARTE » associé au contrôle, indique si la dispersion est pilotée par l'écart-type ou par l'étendue.

L'écart-type à long terme est estimé par $\sigma_0 = CS$.

L'effectif n des échantillons doit être compris entre 2 et 30 (en extension, nous effectuons tout de même le calcul au delà de 30).

6.2.1 – Loi normale

- carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = Dc_2 \sigma_0$$

$$LIC_R = Dc_1 \sigma_0$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 \sigma_0 / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 \sigma_0 / \sqrt{n}$$

- carte moyennes / écarts-types :

$$LSC_S = Bc_2 \sigma_0$$

$$LIC_S = Bc_1 \sigma_0$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 \sigma_0 / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 \sigma_0 / \sqrt{n}$$

Pour les deux types de cartes :

$$CAP = \frac{T_s - T_i}{6\sigma_0} \text{ (pas de CAP dans le cas unilatéral).}$$

$$CPK = \frac{\text{minimum}(T_s - \bar{X}, \bar{X} - T_i)}{3\sigma_0} \text{ pour une caractéristique bilatérale}$$

$$CPK = \frac{T_s - \bar{X}}{3\sigma_0} \text{ pour une caractéristique unilatérale supérieure}$$

$$CPK = \frac{\bar{X} - T_i}{3\sigma_0} \text{ pour une caractéristique unilatérale inférieure}$$

6.2.2 – Loi des défauts de forme

On calcule le rapport $\bar{z} / \sqrt{m_2}$ des moments d'ordre 1 et 2 pour l'ensemble des N mesures, puis on recherche les coefficients k_1 et k_2 dans la table (voir paragraphe 5.2.2). On en déduit les valeurs $s = k_1 \sqrt{m_2}$ (écart-type) et $\lambda = k_2 \sqrt{m_2}$ (moyenne).

- carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = Dc_2 s$$

$$LIC_R = Dc_1 s$$

$$LSC_X = \lambda + 3.09 s / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \lambda - 3.09 s / \sqrt{n}$$

- carte moyennes / écarts-types :

$$LSC_S = Bc_2 s$$

$$LIC_S = Bc_1 s$$

$$LSC_X = \lambda + 3.09 s / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \lambda - 3.09 s / \sqrt{n}$$

Pour les deux types de cartes :

$$CPK = \frac{T_s - \lambda}{3s} \text{ pour une caractéristique supérieure}$$

$$CPK = \frac{\lambda - T_i}{3s} \text{ pour une caractéristique inférieure}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de CAP.

6.2.3 – Loi normale tronquée

En supposant a priori que la troncature est consécutive à une opération de tri ne portant que sur les queues de la distribution, et non sur une partie significative de la population ; nous appliquons les mêmes règles que pour la loi normale.

6.2.4 – Loi log-normale

On calcule l'écart-type σ_{ln} et la moyenne m_{ln} pour l'ensemble des N mesures.

La dispersion globale D_g est calculée par le fractile à 95% ; que nous prenons en première approximation, égal à $e^{P_{normal}(U < 0.95)} \cong e^{1.645} = 5.181$; soit donc $D_g = 5.181 \sigma_{ln}$.

- carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = Dc_2 D_g$$

$$LIC_R = Dc_1 D_g$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

- carte moyennes / écarts-types :

$$LSC_S = Bc_2 D_g$$

$$LIC_S = Bc_1 D_g$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

Pour les deux types de cartes :

$$CPK = \frac{T_s - m_{ln}}{D_g - m_{ln}} \text{ pour une caractéristique supérieure}$$

$$CPK = \frac{m_{ln} - T_i}{m_{ln} - D_g} \text{ pour une caractéristique inférieure}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de CAP.

6.2.5 – Loi de RAYLEIGH

On calcule l'écart-type σ_r et la moyenne m_r pour l'ensemble des N mesures.

La dispersion globale D_g est établie par le fractile à 95% :

$$D_g = \frac{\chi_{95\%} \sigma_r}{\sqrt{2 - \pi/2}} = \sqrt{\frac{-2 \text{Log}(1 - P(U < 0.95))}{2 - \pi/2}} \sigma_r \cong 3.736 \sigma_r$$

- carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = Dc_2 D_g$$

$$LIC_R = Dc_1 D_g$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

- carte moyennes / écarts-types :

$$LSC_S = Bc_2 D_g$$

$$LIC_S = Bc_1 D_g$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

Pour les deux types de cartes :

$$CPK = \frac{T_s - m_r}{D_g - m_r}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de CAP.

- carte aux dérivées (voir le paragraphe 7.1 pour la définition de EMM) :

Que la dispersion soit pilotée par l'étendue ou par l'écart-type, le calcul est le même :

$$LSC_x = \bar{\bar{X}} + 3.09 \frac{D_g}{\sqrt{n}} + \frac{EMM}{2}$$

$$LIC_x = \bar{\bar{X}} - 3.09 \frac{D_g}{\sqrt{n}} - \frac{EMM}{2}$$

$$CPK = \frac{T_s - m_r - EMM/2}{D_g - m_r}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de CAP.

6.2.6 – Loi de WEIBULL

On calcule l'écart-type σ_w et la moyenne m_w pour l'ensemble des N mesures.

Le facteur de forme β de la distribution théorique est celui établi lors du calcul du dernier histogramme réalisé pour le lot et la caractéristique concernés. S'il n'y en a pas encore, il est pris par défaut égal à 3.3 (forme normale).

La dispersion globale D_g est établie par le fractile à 95% :

$$D_g = (-\log(0.05))^{\frac{1}{\beta}} \sigma_w \cong 2.996^{\frac{1}{\beta}} \sigma_w \quad (\text{pour } \beta = 3.3, D_g = 1.394 \sigma_w)$$

- carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = Dc_2 D_g$$

$$LIC_R = Dc_1 D_g$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

- carte moyennes / écarts-types :

$$LSC_S = Bc_2 D_g$$

$$LIC_S = Bc_1 D_g$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

Pour les deux types de cartes :

$$CPK = \frac{T_s - m_w}{D_g - m_w}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de CAP.

6.2.7 – Coefficients utilisés

Les coefficients sont donnés par la table suivante :

Effectif	B_{c1}	B_{c2}	D_{c1}	D_{c2}	B_n
2	0.002	4.126	0.00	4.12	0.564
3	0.036	2.964	0.04	2.99	0.724
4	0.098	2.528	0.10	2.58	0.798
5	0.161	2.285	0.16	2.36	0.841
6	0.215	2.128	0.21	2.22	0.869
7	0.262	2.017	0.26	2.12	0.888
8	0.303	1.931	0.29	2.04	0.903
9	0.338	1.864	0.32	1.99	0.914
10	0.367	1.809	0.35	1.94	0.923
11	0.395	1.763	0.38	1.90	0.930
12	0.418	1.724	0.40	1.87	0.936
13	0.439	1.691	0.42	1.84	0.941
14	0.457	1.661	0.43	1.81	0.945
15	0.474	1.635	0.44	1.79	0.949
16	0.491	1.612	0.45	1.77	0.952
17	0.505	1.592	0.45	1.76	0.955
18	0.517	1.571	0.46	1.76	0.958
19	0.529	1.554	0.46	1.75	0.960
20	0.541	1.538	0.46	1.75	0.962
21	0.551	1.524	0.47	1.75	0.964
22	0.560	1.509	0.47	1.74	0.966
23	0.570	1.498	0.47	1.74	0.967
24	0.579	1.487	0.47	1.74	0.968
25	0.587	1.475	0.48	1.74	0.970
26	0.594	1.465	0.48	1.75	0.971
27	0.601	1.456	0.48	1.75	0.972
28	0.608	1.447	0.48	1.75	0.973
29	0.615	1.438	0.48	1.75	0.974
30	0.621	1.430	0.49	1.75	0.975

Si l'effectif est supérieur à 30, les valeurs suivantes sont appliquées :

$$B_{c1} = 0.640$$

$$B_{c2} = 1.360$$

$$D_{c1} = 0.50$$

$$D_{c2} = 1.75$$

$$B_n = 0.980$$

Note : la méthode de l'étendue (coefficients D_{c1} et D_{c2}) ne devrait pas être utilisée si $n > 12$.
Hors norme CNOMO, nous la proposons tout de même dans ce cas.

6.3 – AFNOR (NFX 06-030, NFX 06-031)

6.3.1 – Loi normale

La norme AFNOR se base sur un intervalle de confiance bilatéral à 99.8% (soit un risque potentiel de 1/1000 au delà de chaque tolérance).

- indicateurs de capabilité :

Ils sont calculés à partir de la moyenne de toutes les mesures (et non pas de la moyenne des moyennes des prélèvements), et de l'estimation de l'écart-type par :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{p=1}^k \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad \text{où } N \text{ est le nombre total de mesures (} N = nk \text{ si l'effectif est constant)}$$

$$Cap = \frac{T_s - T_i}{6S} \quad \text{pour une caractéristique bilatérale (pas de Cap dans le cas unilatéral).}$$

$$Cpk = \frac{\text{minimum}(T_s - \bar{X}, \bar{X} - T_i)}{3S} \quad \text{pour une caractéristique bilatérale}$$

$$Cpk = \frac{T_s - \bar{X}}{3S} \quad \text{pour une caractéristique unilatérale supérieure}$$

$$Cpk = \frac{\bar{X} - T_i}{3S} \quad \text{pour une caractéristique unilatérale inférieure}$$

Pour les cartes aux dérives, on prend :

$$Cap = \frac{T_s - T_i - EMM}{6S} \quad \text{pour une caractéristique bilatérale (pas de Cap dans le cas unilatéral).}$$

$$Cpk = \frac{\text{minimum}(T_s - \bar{X} - EMM/2, \bar{X} - T_i - EMM/2)}{3S} \quad \text{pour une caractéristique bilatérale}$$

$$Cpk = \frac{T_s - \bar{X} - EMM/2}{3S} \quad \text{pour une caractéristique unilatérale supérieure}$$

$$Cpk = \frac{\bar{X} - T_i - EMM/2}{3S} \quad \text{pour une caractéristique unilatérale inférieure}$$

- limites pour la carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = D'_{c2} \bar{R}$$

$$LIC_R = D'_{c1} \bar{R}$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 \bar{R} / (d_n \sqrt{n}) = \text{cible} + A'_c \bar{R}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 \bar{R} / (d_n \sqrt{n}) = \text{cible} - A'_c \bar{R}$$

- limites pour la carte moyennes / écarts-types :

$$LSC_S = B'_{c2} \bar{S}$$

$$LIC_S = B'_{c1} \bar{S}$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 \bar{S} / (b_n \sqrt{n}) = \text{cible} + A''_c \bar{S}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 \bar{S} / (b_n \sqrt{n}) = \text{cible} - A''_c \bar{S}$$

- limites pour la carte aux dérivées moyennes / étendues (voir le paragraphe 7.1 pour la définition de EMM) :

$$LSC_X = \bar{\bar{X}} + 3.09 \bar{R} / (d_n \sqrt{n}) + \frac{EMM}{2}$$

$$LIC_X = \bar{\bar{X}} - 3.09 \bar{R} / (d_n \sqrt{n}) - \frac{EMM}{2}$$

- limites pour la carte aux dérivées moyennes / écarts-types (voir le paragraphe 7.1 pour la définition de EMM) :

$$LSC_X = \bar{\bar{X}} + 3.09 \bar{S} / (b_n \sqrt{n}) + \frac{EMM}{2}$$

$$LIC_X = \bar{\bar{X}} - 3.09 \bar{S} / (b_n \sqrt{n}) - \frac{EMM}{2}$$

- cas des cartes aux valeurs individuelles :

Dans ce cas, l'écart-type est estimé à partir de la moyenne $\bar{\bar{X}}$ des mesures individuelles.

6.3.2 – Loi des défauts de forme

On calcule la dispersion **D** comme indiqué au paragraphe 5.3.2 ; et les coefficients **s** et **λ** comme indiqué au paragraphe 7.2.2.

- carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = Dc_2 s$$

$$LIC_R = Dc_1 s$$

$$LSC_X = \lambda + 3.09 s / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \lambda - 3.09 s / \sqrt{n}$$

- carte moyennes / écarts-types :

$$LSC_S = Bc_2 s$$

$$LIC_S = Bc_1 s$$

$$LSC_X = \lambda + 3.09 s / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \lambda - 3.09 s / \sqrt{n}$$

Pour les deux types de cartes :

$$C_{pk} = \frac{T_s - \bar{x}}{D - x} \text{ pour une caractéristique supérieure}$$

$$C_{pk} = \frac{\bar{x} - T_i}{D - x} \text{ pour une caractéristique inférieure}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de Cap.

- carte aux dérivées (voir le paragraphe 7.1 pour la définition de EMM) :

Que la dispersion soit pilotée par l'étendue ou par l'écart-type, le calcul est le même :

$$LSC_x = \lambda + 3.09 \frac{s}{\sqrt{n}} + \frac{EMM}{2}$$

$$LIC_x = \lambda - 3.09 \frac{s}{\sqrt{n}} - \frac{EMM}{2}$$

$$C_{pk} = \frac{T_s - \bar{x} - EMM/2}{D - \bar{x}} \quad \text{pour une caractéristique supérieure}$$

$$C_{pk} = \frac{\bar{x} - T_i - EMM/2}{D - \bar{x}} \quad \text{pour une caractéristique inférieure}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de Cap.

6.3.3 – Loi normale tronquée

En supposant a priori que la troncature est consécutive à une opération de tri ne portant que sur les queues de la distribution, et non sur une partie significative de la population ; nous appliquons les mêmes règles que pour la loi normale.

6.3.4 – Loi log-normale

On calcule l'écart-type σ_{ln} et la moyenne m_{ln} pour l'ensemble des N mesures.

La dispersion globale D_g est calculée par le fractile à 98% ; que nous prenons en première approximation, égal à $e^{P_{normal}(U < 0.98)} \cong e^{2.053} = 7.791$; soit donc $D_g = 7.791 \sigma_{ln}$.

- carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = Dc_2 D_g$$

$$LIC_R = Dc_1 D_g$$

$$LSC_X = cible + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = cible - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

- carte moyennes / écarts-types :

$$LSC_S = Bc_2 D_g$$

$$LIC_S = Bc_1 D_g$$

$$LSC_X = cible + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = cible - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

Pour les deux types de cartes :

$$Cpk = \frac{Ts - m_{ln}}{D_g - m_{ln}} \text{ pour une caractéristique supérieure}$$

$$Cpk = \frac{m_{ln} - Ti}{m_{ln} - D_g} \text{ pour une caractéristique inférieure}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de Cap.

- carte aux dérivées (voir le paragraphe 7.1 pour la définition de EMM) :

Que la dispersion soit pilotée par l'étendue ou par l'écart-type, le calcul est le même :

$$LSC_x = \bar{\bar{X}} + 3.09 \frac{D_g}{\sqrt{n}} + \frac{EMM}{2}$$

$$LIC_x = \bar{\bar{X}} - 3.09 \frac{D_g}{\sqrt{n}} - \frac{EMM}{2}$$

$$C_{pk} = \frac{T_s - m_{ln} - EMM/2}{D_g - m_{ln}} \quad \text{pour une caractéristique supérieure}$$

$$C_{pk} = \frac{m_{ln} - T_i - EMM/2}{m_{ln} - D_g} \quad \text{pour une caractéristique inférieure}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de Cap.

6.3.5 – Loi de RAYLEIGH

L'écart-type des N mesures est estimé par $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$ et la dispersion par $D_g = 5.55S$

- carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = D_{c2} D_g$$

$$LIC_R = D_{c1} D_g$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

- carte moyennes / écarts-types :

$$LSC_S = B_{c2} D_g$$

$$LIC_S = B_{c1} D_g$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

Pour les deux types de cartes :

$$C_{pk} = \frac{T_s - \bar{x}}{D_g}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de Cap.

- carte aux dérivées (voir le paragraphe 7.1 pour la définition de EMM) :

Que la dispersion soit pilotée par l'étendue ou par l'écart-type, le calcul est le même :

$$LSC_X = \bar{X} + 3.09 D_g / \sqrt{n} + \frac{EMM}{2}$$

$$LIC_X = \bar{X} - 3.09 D_g / \sqrt{n} - \frac{EMM}{2}$$

$$C_{pk} = \frac{T_s - \bar{x} - EMM/2}{D_g}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de Cap.

6.3.6 – Loi de WEIBULL

On calcule l'écart-type σ_w et la moyenne m_w pour l'ensemble des N mesures.

Le facteur de forme β de la distribution théorique est celui établi lors du calcul du dernier histogramme réalisé pour le lot et la caractéristique concernés. S'il n'y en a pas encore, il est pris par défaut égal à 3.3 (forme normale).

La dispersion globale D_g est établie par le fractile à 98% :

$$D_g = (-\log(0.02))^{\frac{1}{\beta}} \sigma_w \cong 3.912^{\frac{1}{\beta}} \sigma_w \quad (\text{pour } \beta = 3.3, D_g = 1.512 \sigma_w)$$

- carte moyennes / étendues :

$$LSC_R = Dc_2 D_g$$

$$LIC_R = Dc_1 D_g$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

- carte moyennes / écarts-types :

$$LSC_S = Bc_2 D_g$$

$$LIC_S = Bc_1 D_g$$

$$LSC_X = \text{cible} + 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

$$LIC_X = \text{cible} - 3.09 D_g / \sqrt{n}$$

Pour les deux types de cartes :

$$Cpk = \frac{Ts - m_w - EMM}{D_g - m_w}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de Cap.

- carte aux dérivées (voir le paragraphe 7.1 pour la définition de EMM) :

Que la dispersion soit pilotée par l'étendue ou par l'écart-type, le calcul est le même :

$$LSC_x = \bar{\bar{X}} + 3.09 \frac{D_g}{\sqrt{n}} + \frac{EMM}{2}$$

$$LIC_x = \bar{\bar{X}} - 3.09 \frac{D_g}{\sqrt{n}} - \frac{EMM}{2}$$

$$C_{pk} = \frac{T_s - m_w - EMM/2}{D_g - m_w}$$

La distribution étant dissymétrique, il n'y a pas de calcul de Cap.

6.3.8 – Coefficients utilisés

Les coefficients sont donnés par la table suivante :

Effectif	d_n	b_n	A'_c	A''_c	B'_{c1}	B'_{c2}	D'_{c1}	D'_{c2}
2	1.218	0.564	1.937	3.874	0.002	4.126	0.00	4.12
3	1.693	0.724	1.054	2.464	0.036	2.964	0.04	2.99
4	2.059	0.798	0.750	1.936	0.098	2.528	0.10	2.58
5	2.326	0.841	0.594	1.643	0.161	2.285	0.16	2.36
6	2.534	0.869	0.498	1.452	0.215	2.128	0.21	2.22
7	2.704	0.888	0.432	1.315	0.262	2.017	0.26	2.12
8	2.847	0.903	0.384	1.209	0.303	1.931	0.29	2.04
9	2.970	0.914	0.347	1.127	0.338	1.864	0.32	1.99
10	3.078	0.923	0.317	1.059	0.367	1.809	0.35	1.94
11	3.173	0.930	0.295	1.002	0.395	1.763	0.38	1.90
12	3.258	0.936	0.274	0.953	0.418	1.724	0.40	1.87
13	3.336	0.941	0.257	0.911	0.439	1.691	0.42	1.84
14	3.407	0.945	0.242	0.874	0.457	1.661	0.43	1.81
15	3.472	0.949	0.230	0.841	0.474	1.635	0.44	1.79
16	3.522	0.952	0.219	0.812	0.491	1.612	0.45	1.77
17	3.588	0.955	0.209	0.785	0.505	1.592	0.45	1.76
18	3.640	0.958	0.200	0.760	0.517	1.571	0.46	1.76
19	3.689	0.960	0.192	0.739	0.529	1.554	0.46	1.75
20	3.735	0.962	0.185	0.723	0.541	1.538	0.46	1.75
21	3.778	0.964	0.178	0.699	0.551	1.524	0.47	1.75
22	3.819	0.966	0.173	0.682	0.560	1.509	0.47	1.75
23	3.858	0.967	0.167	0.666	0.570	1.498	0.47	1.75
24	3.895	0.968	0.162	0.652	0.579	1.487	0.47	1.75
25	3.931	0.970	0.157	0.637	0.587	1.475	0.48	1.75
26	3.967	0.971	0.153	0.624	0.594	1.465	0.48	1.75
27	4.002	0.972	0.149	0.612	0.601	1.456	0.48	1.75
28	4.037	0.973	0.145	0.600	0.608	1.447	0.48	1.75
29	4.072	0.974	0.141	0.589	0.615	1.438	0.48	1.75
30	4.106	0.975	0.137	0.578	0.621	1.430	0.49	1.75

Si l'effectif n est supérieur à 30, les valeurs suivantes sont appliquées :

$$d_n = 4.200$$

$$b_n = 1.000$$

$$A_c' = 3.09 / (4.2 \sqrt{n})$$

$$A_c'' = 3.09 / \sqrt{n}$$

$$B_{c1}' = 0.700$$

$$B_{c2}' = 1.300$$

$$D_{c1}' = 0.50$$

$$D_{c2}' = 1.75$$

Note : la méthode de l'étendue (coefficients D'_{c1} et D'_{c2}) ne devrait pas être utilisée si $n > 12$.
Hors norme AFNOR, nous la proposons tout de même dans ce cas.

6.4 – BOSCH (06.1994)

6.4.1 – Calcul des limites de contrôle

Les limites peuvent être calculées selon trois méthodes différentes :

- « limites naturelles »
- « facteur Ka »
- « écart-type de la moyenne »

6.4.1.1 - Calcul à partir des limites naturelles

La méthode se base sur un intervalle de confiance à 99%.

L'écart-type est estimé par \bar{R}/d_2 ou par \bar{S}/c_4 selon qu'on travaille par les étendues ou par les écarts-types. Pour les cartes aux valeurs individuelles, l'écart-type est calculé directement à partir des mesures.

Carte moyennes / étendues

$$LSC_x = \text{cible} + A \bar{R}$$

$$LIC_x = \text{cible} - A \bar{R}$$

$$LSC_R = D_{\text{sup}} \bar{R}$$

$$LIC_R = D_{\text{inf}} \bar{R}$$

Carte moyennes / écarts-types

$$LSC_x = \text{cible} + A^* \bar{S}$$

$$LIC_x = \text{cible} - A^* \bar{S}$$

$$LSC_s = B_{\text{sup}}^* \bar{S}$$

$$LIC_s = B_{\text{inf}}^* \bar{S}$$

Carte moyennes glissantes

$$LSC_x = \text{cible} + \frac{2.58 \bar{R}}{\sqrt{n} d_2} \quad LIC_x = \text{cible} - \frac{2.58 \bar{R}}{\sqrt{n} d_2} \quad \text{si pilotage par l'étendue.}$$

$$LSC_x = \text{cible} + \frac{2.58 \bar{S}}{\sqrt{n} c_4} \quad LIC_x = \text{cible} - \frac{2.58 \bar{S}}{\sqrt{n} c_4} \quad \text{si pilotage par l'écart-type.}$$

Carte étendues glissantes

$$LSC_R = B_{\text{sup}}' \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$LIC_R = B_{\text{inf}}' \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Carte écarts-types glissants

$$LSC_S = B_{\text{sup}}' \frac{\bar{S}}{c_4}$$

$$LIC_S = B_{\text{inf}}' \frac{\bar{S}}{c_4}$$

Carte aux dérivées (voir le paragraphe 7.1 pour la définition de EMM)

$$LSC_x = \text{cible} + 2.58 \hat{\sigma} + \frac{\text{EMM}}{2}$$

$$LIC_x = \text{cible} - 2.58 \hat{\sigma} - \frac{\text{EMM}}{2}$$

6.4.1.2 – Calcul à partir des tolérances « facteur Ka »

Bien qu'étant disponible pour tous les types de cartes, cette méthode devrait être réservée aux cartes aux dérivées.

Condition : Le facteur Ka n'est appliqué que si l'écart-type estimé est suffisamment faible, selon le critère suivant :

$$\frac{T_s - T_i}{\hat{\sigma}} \geq 12 \quad \text{avec} \quad \hat{\sigma} = \bar{S}/c_4 \quad \text{ou} \quad \hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

(si le tolérancement est unilatéral, on effectue le test avec $|T_s| / \hat{\sigma}$ ou $|T_i| / \hat{\sigma}$).

Dans le cas contraire, on applique les limites naturelles (coefficients A et A*).

Limites :

$$LSC_x = T_s - k_a \hat{\sigma}$$

$$LSC_x = T_i + k_a \hat{\sigma}$$

Pendant la phase préliminaire (c'est à dire tant que le nombre de prélèvements est inférieur à la « période de calcul des limites » paramétrée dans la caractéristique), le paramètre k_a vaut 3.

Pendant la phase de stabilité, le paramètre k_a est calculé en fonction du « Cpk objectif » paramétré dans la caractéristique », et du « Cpk en cours », calculé à partir de la carte de contrôle:

$$k_a = \text{minimum} \left(Cpk_{\text{encours}}, 3 * Cpk_{\text{objectif}} + \frac{2.33}{\sqrt{n}} - 2.2 \right)$$

Les limites pour la dispersion sont les mêmes que dans le cas des limites « naturelles » :

$$LSC_R = D_{\text{sup}} \bar{R}$$

$$LIC_R = D_{\text{inf}} \bar{R}$$

$$LSC_S = B_{\text{sup}}^* \bar{S}$$

$$LIC_S = B_{\text{inf}}^* \bar{S}$$

6.4.1.3 – Calcul à partir de l'écart-type de la moyenne

On calcule l'écart-type estimé de la moyenne de p prélèvements: $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{k=1}^p (\bar{x}_k - \bar{\bar{x}})^2}$

Les limites de contrôle sont alors :

Si le tolérancement est bilatéral :

$$LSC_x = \text{cible} + 2.58 \hat{\sigma}$$

$$LIC_x = \text{cible} - 2.58 \hat{\sigma}$$

Si le tolérancement est unilatéral :

$$LSC_x = \bar{\bar{X}} + 2.58 \hat{\sigma}$$

ou

$$LIC_x = \bar{\bar{X}} - 2.58 \hat{\sigma}$$

Les limites pour la dispersion sont les mêmes que dans le cas des limites « naturelles » :

$$LSC_R = D_{\text{sup}} \bar{R}$$

$$LIC_R = D_{\text{inf}} \bar{R}$$

$$LSC_S = B_{\text{sup}}^* \bar{S}$$

$$LIC_S = B_{\text{inf}}^* \bar{S}$$

6.4.1.4 – Calculs pour les cartes aux attributs

Carte **p** (proportion de défectueux)

La proportion moyenne de défectueux de m prélèvements est : $\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m (np)_i}{\sum_{i=1}^m n_i}$

où $(np)_i$ est le nombre de pièces défectueuses dans le prélèvement i d'effectif n_i .

$$LSC_p = \bar{p} + 2.58 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad \text{et} \quad LIC_p = \bar{p} - 2.58 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

Carte **np** (nombre de défectueux)

Le nombre moyen de défectueux de m prélèvements est : $\bar{np} = \frac{\sum_{i=1}^m (np)_i}{m}$

où $(np)_i$ est le nombre de pièces défectueuses dans le prélèvement i d'effectif constant n .

$$LSC_{np} = \bar{np} + 2.58 \sqrt{\bar{np}\left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)} \quad \text{et} \quad LIC_{np} = \bar{np} - 2.58 \sqrt{\bar{np}\left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)}$$

Carte **u** (proportion de défauts par prélèvement)

La proportion moyenne de défauts dans m prélèvements est : $\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{\sum_{i=1}^m n_i}$

où c_i est le nombre de défauts dans le prélèvement i d'effectif n_i .

$$LSC_u = \bar{u} + 2.58 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad \text{et} \quad LIC_u = \bar{u} - 2.58 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

Carte **c** (nombre de défauts par prélèvement)

Le nombre moyen de défauts dans m prélèvements est : $\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{m}$

où c_i est le nombre de défauts dans le prélèvement i d'effectif constant n .

$$LSC_c = \bar{c} + 2.58 \sqrt{\bar{c}} \quad \text{et} \quad LIC_c = \bar{c} - 2.58 \sqrt{\bar{c}}$$

6.4.2 – Calcul des indicateurs de capabilité

Estimation de l'écart-type :

Pour les p prélèvements, on calcule :

la moyenne des moyennes $\bar{\bar{X}}$

l'écart-type estimé des mesures $\bar{S} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

l'écart-type des moyennes $\hat{\sigma}_x = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{k=1}^p (\bar{x}_k - \bar{\bar{X}})^2}$

Procédure :

S'il y a plus de 3 points en dehors des limites de contrôle, la valeur du Cpk sera indiquée entre crochets (par exemple : « Cpk = [1.02] ») ; et le message : « Attention: procédé hors contrôle » sera affiché.

Sinon, le procédé est considéré comme stable si $\hat{\sigma}_x > \frac{1.4 \bar{S}}{\sqrt{n} c_4}$.

Si le procédé est stable, les indicateurs de capabilité sont calculés comme suit :

$C_p = \frac{T_s - T_i}{6\bar{S}}$ pour une caractéristique bilatérale (pas de C_p dans le cas unilatéral).

$C_{pk} = \frac{\min(T_s - \bar{\bar{X}}, \bar{\bar{X}} - T_i)}{3\bar{S}}$ pour une caractéristique bilatérale.

$C_{pk} = \frac{T_s - \bar{\bar{X}}}{3\bar{S}}$ pour une caractéristique unilatérale supérieure.

$C_{pk} = \frac{\bar{\bar{X}} - T_i}{3\bar{S}}$ pour une caractéristique unilatérale inférieure.

Pour les cartes aux dérives (voir le paragraphe 7.1 pour la définition de EMM) :

$C_p = \frac{T_s - T_i - EMM}{6\bar{S}}$ pour une caractéristique bilatérale (pas de C_p dans le cas unilatéral).

$C_{pk} = \frac{\min(T_s - \bar{\bar{X}} - EMM/2, \bar{\bar{X}} - T_i - EMM/2)}{3\bar{S}}$ pour une caractéristique bilatérale.

$C_{pk} = \frac{T_s - \bar{\bar{X}} - EMM/2}{3\bar{S}}$ pour une caractéristique unilatérale supérieure.

$C_{pk} = \frac{\bar{\bar{X}} - T_i - EMM/2}{3\bar{S}}$ pour une caractéristique unilatérale inférieure.

S'il y a plus de 3 points en dehors des limites ou si le procédé est instable, les capacités sont calculées à partir de la moyenne $\bar{\mu}_{\max}$ des trois moyennes les plus grandes, et de la moyenne $\bar{\mu}_{\min}$ des trois moyennes les plus petites par :

$$C_p = \frac{(T_s - T_i) - (\bar{\mu}_{\max} - \bar{\mu}_{\min})}{6\bar{S}} \text{ pour une caractéristique bilatérale}$$

$$C_{pk} = \frac{\min(T_s - \bar{\mu}_{\max}, \bar{\mu}_{\min} - T_i)}{3\bar{S}} \text{ pour une caractéristique bilatérale.}$$

$$C_{pk} = \frac{T_s - \bar{\mu}_{\max}}{3\bar{S}} \text{ pour une caractéristique unilatérale supérieure.}$$

$$C_{pk} = \frac{\bar{\mu}_{\min} - T_i}{3\bar{S}} \text{ pour une caractéristique unilatérale inférieure.}$$

Pour les cartes aux dérives (voir le paragraphe 7.1 pour la définition de EMM) :

$$C_p = \frac{(T_s - T_i) - (\bar{\mu}_{\max} - \bar{\mu}_{\min}) - EMM}{6\bar{S}} \text{ pour une caractéristique bilatérale}$$

$$C_{pk} = \frac{\min(T_s - \bar{\mu}_{\max}, \bar{\mu}_{\min} - T_i - EMM/2)}{3\bar{S}} \text{ pour une caractéristique bilatérale.}$$

$$C_{pk} = \frac{T_s - \bar{\mu}_{\max} - EMM/2}{3\bar{S}} \text{ pour une caractéristique unilatérale supérieure.}$$

$$C_{pk} = \frac{\bar{\mu}_{\min} - T_i - EMM/2}{3\bar{S}} \text{ pour une caractéristique unilatérale inférieure.}$$

Pour les cartes aux attributs :

Carte p : Capacité = $1 - \bar{p}$ (c'est à dire la proportion de pièces conformes)

Carte np : Capacité = $1 - \bar{p}$ (c'est à dire la proportion de pièces conformes)

Carte c : Capacité = $1 - \bar{c}$ (c'est à dire un moins la proportion moyenne de défauts)

Carte u : Capacité = $1 - \bar{u}$ (c'est à dire un moins le nombre moyen de défauts)

6.4.5 – Coefficients utilisés

Les coefficients sont donnés par la table suivante :

Effectif	A	A*	B* _{inf}	B* _{sup}	D _{inf}	D _{sup}	B' _{inf}	B' _{sup}
2	1.614	2.283	0.008	3.518	0.008	3.518	0.006	2.807
3	0.879	1.678	0.080	2.597	0.080	2.614	0.071	2.302
4	0.626	1.398	0.168	2.245	0.166	2.280	0.155	2.069
5	0.495	1.225	0.242	2.050	0.239	2.100	0.227	1.927
6	0.415	1.105	0.302	1.924	0.296	1.986	0.287	1.830
7	0.360	1.015	0.350	1.883	0.341	1.906	0.336	1.758
8	0.320	0.944	0.390	1.764	0.378	1.846	0.376	1.702
9	0.289	0.886	0.423	1.709	0.408	1.798	0.410	1.657
10	0.265	0.837	0.451	1.664	0.434	1.760	0.439	1.619
11	0.245	0.796	0.476	1.627	0.459	1.728	0.464	1.587
12	0.228	0.761	0.498	1.595	0.479	1.702	0.487	1.559
13	0.214	0.729	0.517	1.568	0.484	1.678	0.506	1.536
14	0.202	0.702	0.534	1.544	0.494	1.661	0.524	1.515
15	0.192	0.677	0.549	1.523	0.499	1.652	0.539	1.496
16	0.182	0.655	0.563	1.504	0.500	1.650	0.554	1.479
17	0.174	0.635	0.576	1.486	0.500	1.650	0.567	1.463
18	0.167	0.616	0.587	1.471	0.500	1.650	0.578	1.450
19	0.160	0.599	0.598	1.457	0.500	1.650	0.590	1.437
20	0.155	0.584	0.608	1.444	0.500	1.650	0.600	1.425
21	0.149	0.569	0.617	1.432	0.500	1.650	0.609	1.414
22	0.143	0.556	0.626	1.421	0.500	1.650	0.619	1.404
23	0.139	0.543	0.634	1.411	0.500	1.650	0.627	1.395
24	0.135	0.531	0.641	1.401	0.500	1.650	0.634	1.386
25	0.131	0.521	0.649	1.392	0.500	1.650	0.642	1.378
26	0.127	0.512	0.656	1.383	0.500	1.650	0.649	1.369
27	0.124	0.504	0.663	1.374	0.500	1.650	0.657	1.361
28	0.120	0.497	0.670	1.365	0.500	1.650	0.664	1.352
29	0.117	0.491	0.676	1.358	0.500	1.650	0.670	1.346
30	0.114	0.486	0.682	1.350	0.500	1.650	0.676	1.338

Si l'effectif n est supérieur à 30, les valeurs suivantes sont appliquées :

$$A = 0.100$$

$$A^* = 0.500$$

$$B^*_{inf} = 0.700$$

$$B^*_{sup} = 1.300$$

$$B'_{inf} = 0.700$$

$$B'_{sup} = 1.300$$

$$D_{inf} = 0.500$$

$$D_{sup} = 1.650$$

6.5 – Indicateur Cpm (Genichi TAGUCHI – 1987)

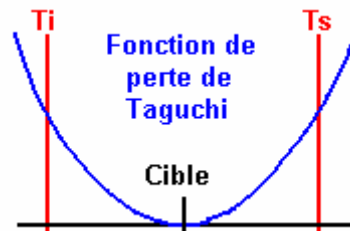
6.5.1 – Fonction de perte

Les tolérances définies pour une caractéristique incitent à considérer une pièce comme parfaite dès qu'elle est dans ces tolérances, et mauvaise en dehors. Aucune nuance n'est faite entre deux pièces mesurées très près des tolérances ; l'une à l'intérieur et l'autre à l'extérieur. Ceci est d'autant plus « choquant » que ces tolérances sont choisies avec une certaine marge arbitraire.

En termes de pertes (c'est à dire de coût de non qualité) pour l'entreprise, on considère ainsi que la perte est nulle à l'intérieur des tolérances et totale à l'extérieur.



Une méthode plus réaliste consiste à modéliser la perte par une variation régulière, minimale pour la cible ; et qui croît proportionnellement au carré de la distance à la cible.



On exprime donc la « fonction de perte » pour la mesure d'une pièce, par $L = K(X - \text{Cible})^2$ où K est une constante caractérisant le coût de non qualité engendré (ce paramètre peut être déterminé dès qu'on sait évaluer la perte pour une valeur donnée).

Exemple :

- La perte est de 15 € lorsque la caractéristique est sur la tolérance. La cible est centrée.
- Soit donc $15 = K (Ts - (Ts + Ti) / 2)^2$, d'où $K = 60 / IT^2$
- La fonction de perte s'écrit donc $L = 60 \left(\frac{X - \text{cible}}{IT} \right)^2 \text{ €}$

Cette fonction de perte permet le calcul d'un indicateur « Cpm » qui tient compte à la fois du décentrage et de la dispersion. C'est un indicateur synthétique des Cp et Cpk.

6.5.2 – Indicateur Cpm dans le cas de tolérances bilatérales

Si la fonction de perte s'écrit pour une pièce $L = K (X - \text{Cible})^2$, alors la perte moyenne pour un échantillon de taille n , de moyenne \bar{X} , et d'écart-type σ est :

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K(X_i - \text{Cible})^2 = \frac{K}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X} + \bar{X} - \text{Cible})^2 = K \left[\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \text{Cible})^2}{n} + (\bar{X} - \text{Cible})^2 \right]$$

Soit $\bar{L} = K (\sigma^2 + (\bar{X} - \text{Cible})^2)$; et ceci indépendamment de la forme de la distribution.

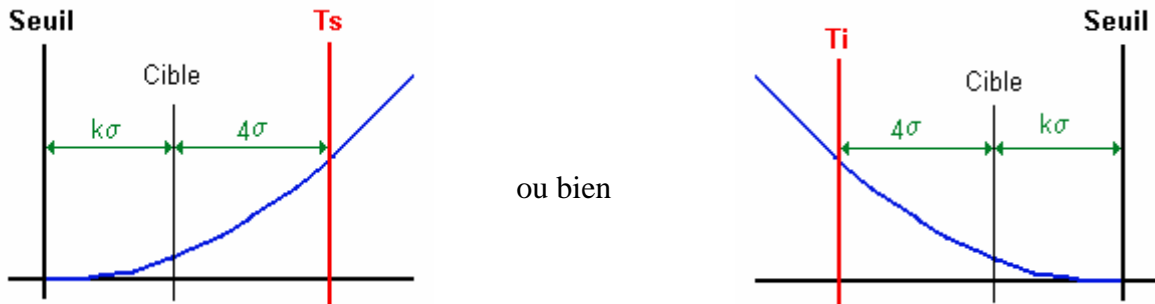
L'indicateur Cpm tient compte à la fois du centrage et de la dispersion. Il est défini par :

$$Cpm = \frac{IT}{6\sqrt{\sigma^2 + (\bar{X} - \text{Cible})^2}} = \frac{Cp}{\sqrt{1 + \left(\frac{\bar{X} - \text{Cible}}{\sigma}\right)^2}} = \frac{Cp}{\sqrt{1 + 9(Cp - Cpk)^2}}$$

6.5.3 – Indicateur Cpm dans le cas d'une tolérance unilatérale

La fonction de perte peut être soit minimale, soit maximale pour la valeur limite de la distribution.

7.5.3.1 – Si l'optimum est un minimum



La fonction de perte s'écrit : $L = K X^2$.

$$\text{D'ou la perte moyenne : } \bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K X_i^2 = \frac{K}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X} + \bar{X})^2 = K \left[\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n} + \sum_{i=1}^n (\bar{X})^2 \right].$$

$$\text{Soit } \bar{L} = K \left[\sigma^2 + (\bar{X})^2 \right].$$

On définit une situation de référence telle que la cible soit située à une distance $k \sigma$ de la valeur seuil, et à 4σ de la tolérance.

$$\text{La perte moyenne dans ce cas est alors } \bar{L} = K \left[\sigma^2 + (k\sigma)^2 \right].$$

$$\text{Et } C_{pm} = \frac{(4+k)\sigma}{A\sqrt{\sigma^2 + (k\sigma)^2}}.$$

Dans une situation de référence où $C_{pm} = 1.33$, on en déduit le coefficient

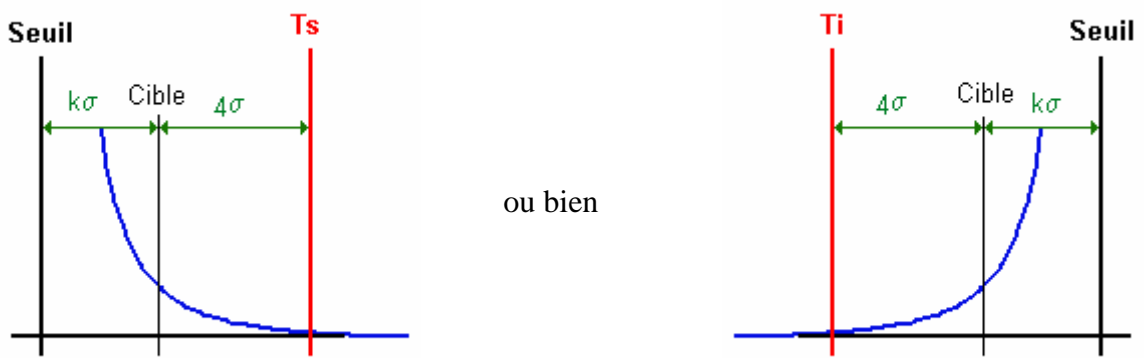
$$A = \frac{4+k}{1.33\sqrt{1+k^2}}.$$

La valeur du coefficient k est connue pour une cible paramétrée ou calculée ; on peut donc établir le coefficient de TAGUCHI :

$$C_{pm} = \frac{T_s - \text{Seuil}}{\frac{4+k}{1.33\sqrt{1+k^2}} \sqrt{\sigma^2 + \bar{X}^2}} \quad \text{dans le cas d'une tolérance supérieure}$$

$$C_{pm} = \frac{\text{Seuil} - T_i}{\frac{4+k}{1.33\sqrt{1+k^2}} \sqrt{\sigma^2 + \bar{X}^2}} \quad \text{dans le cas d'une tolérance inférieure}$$

7.5.3.2 – Si l'optimum est un maximum



La fonction de perte s'écrit : $L = K / X^2$.

$$\text{D'ou la perte moyenne : } \bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{K}{X_i^2} = \frac{K}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{(X_i - \bar{X} + \bar{X})^2} = \frac{K}{n \bar{X}^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i + \bar{X} - \bar{X}}{\bar{X}} \right)^{-2}.$$

$$\text{Soit } \bar{L} = \frac{K}{\bar{X}^2} \left[1 + 3 \frac{\sigma^2}{\bar{X}^2} \right] \text{ en utilisant le développement limité } (1+x)^{-2} \approx 1 - 2x + 3x^2 + \varepsilon.$$

On définit une situation de référence telle que la cible soit située à une distance $k \sigma$ de la valeur seuil, et à 4σ de la tolérance.

$$\text{La perte moyenne dans ce cas est alors } \bar{L} = \frac{K}{k^2 \sigma^2} [1 + 3/k^2].$$

$$\text{Et } C_{pm} = \frac{IT}{A \sqrt{\frac{1+3/k^2}{k^2 \sigma^2}}} = \frac{k \sigma IT}{A \sqrt{1+3/k^2}} = \frac{k IT^2}{A (4+k) \sqrt{1+3/k^2}}.$$

$$\text{Dans une situation de référence où } C_{pm} = 1.33, \text{ on en déduit } A = \frac{k IT^2}{1.33 (4+k) \sqrt{1+3/k^2}}.$$

La valeur du coefficient k est connue pour une cible paramétrée ou calculée ; on peut donc établir le coefficient de TAGUCHI :

$$C_{pm} = \frac{1.33 \bar{X} (4+k) \sqrt{1+3/k^2}}{k (Ts - \text{Seuil}) \sqrt{1+3\sigma^2/\bar{X}^2}} \quad \text{dans le cas d'une tolérance supérieure}$$

$$C_{pm} = \frac{1.33 \bar{X} (4+k) \sqrt{1+3/k^2}}{k (\text{Seuil} - Ti) \sqrt{1+3\sigma^2/\bar{X}^2}} \quad \text{dans le cas d'une tolérance inférieure}$$

6.6 – QS-9000 (FORD 1996)

Ce paragraphe se réfère au 6.1 (« FORD 1989 »).

Cette nouvelle méthode diffère de la méthode « FORD 1989 » par les points suivants :

- Les anciens « indices de capabilité Cp et Cpk », quantifiant la dispersion totale du procédé, sont désormais appelés « indices de performance » et intitulés Pp et Ppk.
- Ils sont calculés à partir de l'écart-type estimé des valeurs individuelles (et non à partir de l'écart-type estimé par \bar{R}/d_2 ou \bar{S}/c_4).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{n}{n-1}} \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}}$$

- Il n'y a plus d'indice de capabilité préliminaire (anciennement Pp et Ppk).
- Il n'y a aucun changement sur la méthode de calcul des limites.

7. – Remarques communes à toutes les normes

- Les valeurs des capabilités sont toujours forcées dans une fourchette de -9.99 à +99.99 (si elles sont calculées).

Si la caractéristique est déclarée bilatérale et la nominale est égale à une tolérance, alors il est possible en cochant la case « Cpk / Tol. » dans la définition de la caractéristique, d'effectuer le calcul du Cpk par rapport à la distance à la tolérance opposée (et non par rapport à la distance à la tolérance la plus proche). **Attention : dans ce cas, il est possible d'avoir Cpk > Cp !**

Pour FORD1989 : Cm, Cmk (capabilité machine vraie) , Pp,Ppk (démarrage série) , Cp,Cpk (process > 25 prélèvement).

Pour AFNOR : Cam, Cmk , Cap, Cpk

Pour CNOMO : CAM, pas de Cmk, CAP, Cpk

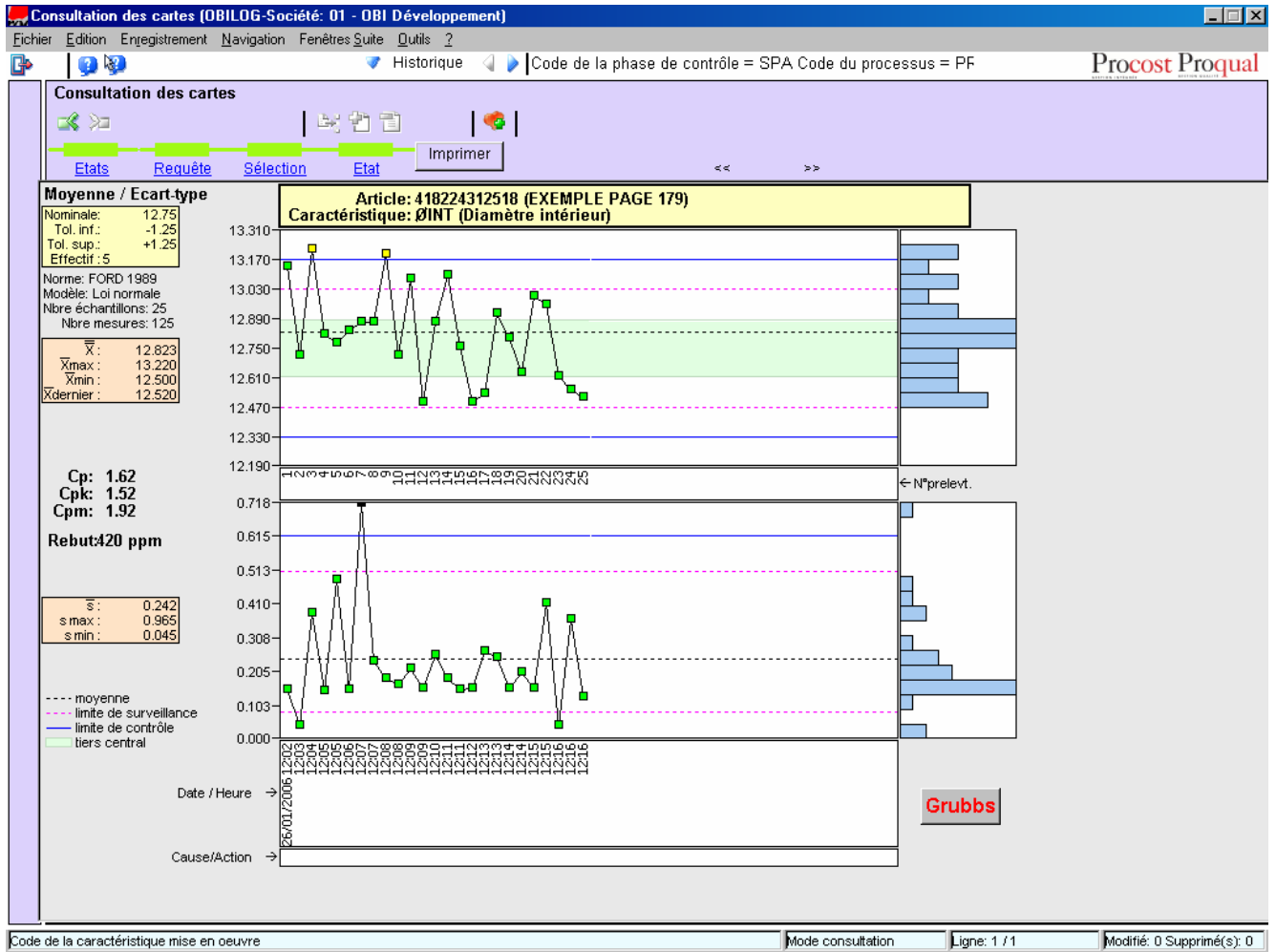
Pour BOSCH : Cm, Cmk , Cp, Cpk

Pour QS9000 (FORD1996) : Cp , Cpk , Pp , Ppk

Les différences entre les normes sont sur le calcul de l'écart-type et sur la méthode d'échantillonnage. Un même prélèvement de mesure peut avoir des indicateurs de capabilité différents en fonctions des normes utilisées.

Ainsi un échantillon de 60 pièces ne va pas donner les mêmes résultats si on est sur 12 prélèvements de 5 pièces ou un seul prélèvement de 60 pièces en fonction de la norme et de l'étude de capabilité choisis

8. – Exemples :



Consultation des cartes

Etats Requête Sélection Etat Imprimer

Moyenne / Ecart-type

Nominale: 12.75
 Tol. inf.: -1.25
 Tol. sup.: +1.25
 Effectif: 5
 Norme: CNOMO 32-110N
 Modèle: Loi normale
 Nbre échantillons: 25
 Nbre mesures: 125

\bar{x} : 12.823
 x_{max} : 13.220
 x_{min} : 12.500
 $x_{dernier}$: 12.520

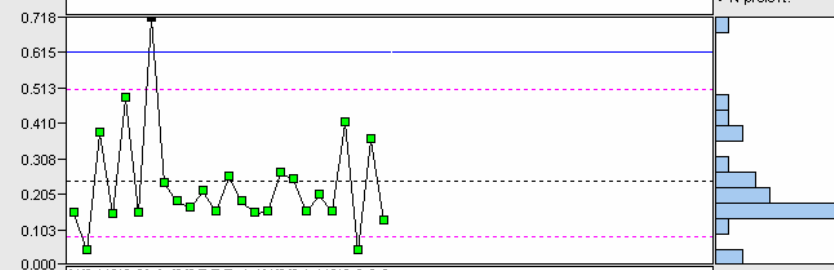
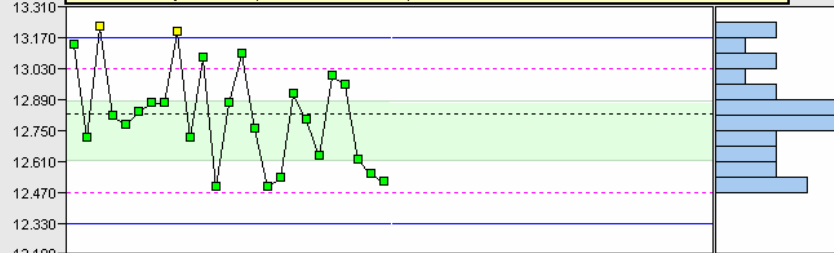
CAP: 1.20
 CPK: 1.13
 Cpm: 1.82

Rebut: 420 ppm

s : 0.242
 s_{max} : 0.965
 s_{min} : 0.045

--- moyenne
 - - - limite de surveillance
 ——— limite de contrôle
 ■ tiers central

Article: 418224312518 (EXEMPLE PAGE 179)
Caractéristique: ØINT (Diamètre intérieur)



Date / Heure →

Cause/Action →

Grubbs

Consultation des cartes

Etats Requête Sélection Etat Imprimer

Moyenne / Etendue
 Nominale: 12.75
 Tol. inf.: -1.25
 Tol. sup.: +1.25
 Effectif: 5
 Norme: AFNOR 06-030
 Modèle: Loi normale
 Nbre échantillons: 25
 Nbre mesures: 125

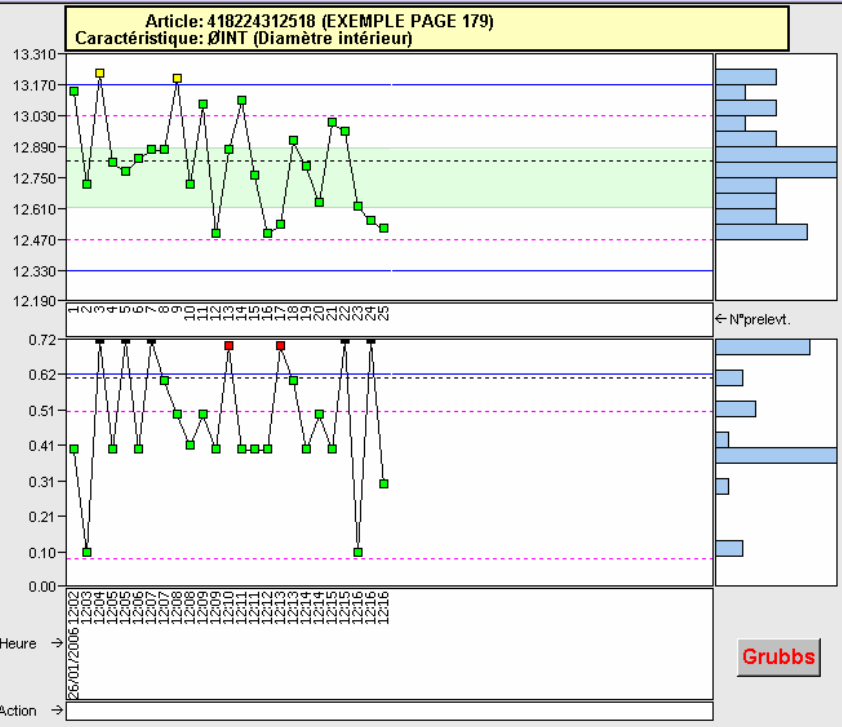
\bar{X} : 12.823
 Xmax: 13.220
 Xmin: 12.500
 Xdernier: 12.520

Cap: 1.92
 Cpk: 1.81
 Cpm: 1.82

Rebut: 420 ppm

w: 0.60
 wmax: 2.40
 wmin: 0.10

--- moyenne
 - - - limite de surveillance
 ——— limite de contrôle
 ■ tiers central



Consultation des cartes

Etats Requête Sélection Etat Imprimer

Moyenne / Ecart-type

Nominale: 12.75
 Tol. inf.: -1.25
 Tol. sup.: +1.25
 Effectif: 5

Norme: BOSCH 1994
 Limites naturelles
 Modèle: Loi normale
 Nbre échantillons: 25
 Nbre mesures: 125

\bar{x} : 12.823
 Xmax: 13.220
 Xmin: 12.500
 Xdernier: 12.520

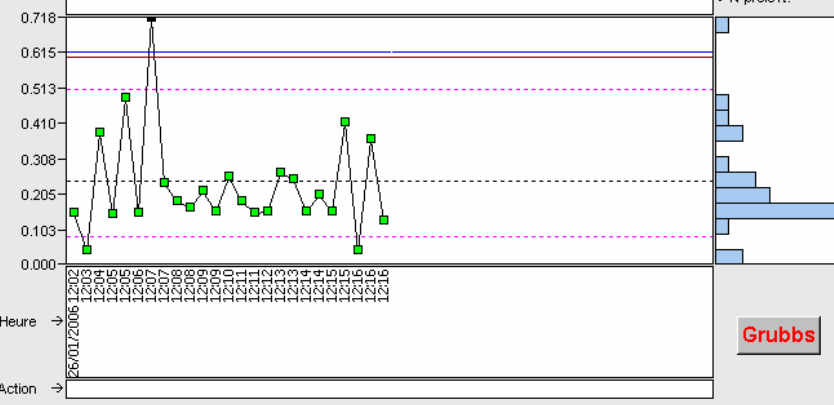
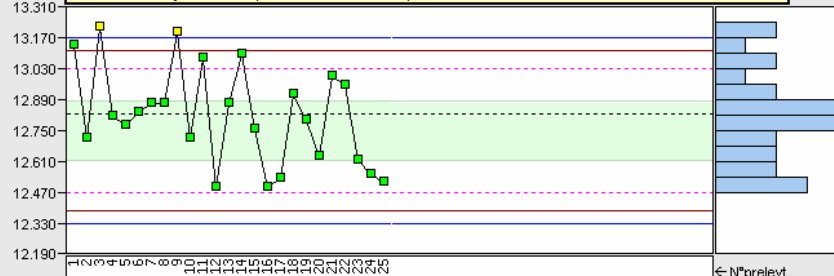
Cp: 1.72
 Cpk: 1.62
 Cpm: 1.82

Rebut: 420 ppm

\bar{s} : 0.242
 s max: 0.965
 s min: 0.045

- moyenne
- limite de surveillance
- limite de contrôle
- marque Cpk=1.33
- tiers central
- t tri demandé
- T tri effectué

Article: 418224312518 (EXEMPLE PAGE 179)
 Caractéristique: ØINT (Diamètre intérieur)



Grubbs

Consultation des cartes

Etats Requête Sélection Etat Imprimer

Moyenne / Ecart-type

Nominale:	12.75
Tol. inf.:	-1.25
Tol. sup.:	+1.25
Effectif:	5
Norme: QS-9000	
Modèle: Loi normale	
Nbre échantillons: 25	
Nbre mesures: 125	
\bar{X} :	12.823
Xmax:	13.220
Xmin:	12.500
Xdernier:	12.520
σ_x :	0.216

Pp: 1.20
Ppk: 1.13
Cpm: 1.82

Rebut: 420 ppm

\bar{s} :	0.242
s max:	0.965
s min:	0.045

- moyenne
- - - limite de surveillance
- limite de contrôle
- tiers central

