

Maurice PILLET

Professeur des Universités
IUT Annecy – Université de Savoie, Laboratoire LISTIC
Ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure de CACHAN

Appliquer la maîtrise statistique des processus (MSP/SPC)

Quatrième édition

© Éditions d'Organisation, 1995, 2000, 2002, 2005

ISBN : 2-7081-3349-7

Éditions

d'Organisation

Sommaire

Avant-propos	1
---------------------------	---

Chapitre 1

Maîtrise Statistique des Processus et performance industrielle	3
---	---

1. MSP et satisfaction clients	4
1.1. Nécessité de maîtriser les processus	4
1.2. La place de la Maîtrise Statistique des Processus (MSP) dans une démarche de Qualité Totale	5
1.3. La MSP, un outil, une méthode, une culture	7
2. La cote cible : un préalable à la MSP	8
2.1. Les boules de pâte à modeler... Lorsque les tolérances créent de la variabilité.	8
2.2. Qualité produit <i>versus</i> Qualité d'une caractéristique	10
2.3. Un principe incontournable : viser la cible	13
2.3.1. <i>La cible pour un assemblage robuste</i>	13
2.3.2. <i>La fonction perte de Taguchi</i>	16
2.4. Étude de la combinatoire de plusieurs caractéristiques	18
2.4.1. <i>Cas de deux caractéristiques additives</i>	19
2.4.2. <i>Étude de la combinatoire dans le cas de cinq caractéristiques</i>	20
2.4.3. <i>Étude de l'influence du décentrage</i>	21

2.5. En conclusion	22
3. La MSP face aux changements de culture	22
3.1. L'auto-contrôle	23
3.1.1. Le principe de l'auto-contrôle	23
3.1.2. Les causes communes et causes spéciales – séparer l'ordinaire de l'extraordinaire	24
3.1.3. Les moyens de l'autocontrôle	24
3.2. Les outils simples de pilotage permettant de garantir le respect de la cible	26
4. Un peu d'histoire	28

Chapitre 2

Les concepts de la Maîtrise Statistique des Processus (MSP)

1. Les 5 « M » du processus	32
2. Analyse de la forme de la dispersion	33
2.1. Répartition en forme de cloche	33
2.2. Causes communes – Causes spéciales	35
2.2.1. Les causes communes	36
2.2.2. Les causes spéciales	37
2.3. Processus « sous contrôle » et « hors contrôle »	37
3. Surveiller un processus par cartes de contrôle	38
3.1. Le principe de la carte de contrôle	38
3.1.1. Les limites naturelles d'un processus	38
3.1.2. Le pilotage par les limites naturelles	39
3.1.3. Pourquoi prélever des échantillons ?	41
3.2. La carte de pilotage (de contrôle) moyenne/étendue	43
3.2.1. Principe de remplissage	44
3.2.2. Moyenne et étendue, deux fonctions différentes	46
4. Mise en place des cartes de contrôle	48
4.1. Démarche DMAICS	48
4.2. Définir	49
4.2.1. Le choix des caractéristiques à piloter en MSP	49
4.2.2. La matrice d'impact	50
4.3. Mesurer	51
4.3.1. La capacité des moyens de mesure	51
4.3.2. Observation du processus	51

4.4. Analyser	55
4.4.1. Calcul des capacités	55
4.4.2. Calcul des cartes de contrôle	56
4.5. Contrôler	59
4.5.1. Pilotage du processus par cartes de contrôle	59
4.5.2. Décision sur la production	61
4.6. Analyser et Innover	62
4.7. Standardiser	62
5. Le concept de capacité (aptitude)	63
5.1. Le besoin de formaliser une notion floue	63
5.2. Définition de la capacité	64
5.3. Pp et Ppk (Performance du processus – long terme)	64
5.3.1. Performance intrinsèque du processus Pp	64
5.3.2. Indicateur de dérèglement Ppk	66
5.3.3. Interprétation de Pp et Ppk	67
5.4. Cp et Cpk (Capacité processus – Court terme)	68
5.5. Les indicateurs liés à la cible : le Cpm et le Ppm	70
5.6. Exemple de calcul de capacité	72
5.7. Synthèse des différents indicateurs de capacité	74
5.8. L'interprétation de la chute de capacité	75

Chapitre 3

Capabilité des Processus de Contrôle 79

1. Introduction	79
1.1. Processus de production et processus de mesure	79
1.2. Capabilité des processus de mesure et Gestion des moyens de mesure	81
1.3. Les différentes normes	83
2. Étude d'un processus de mesure	84
2.1. Objectifs	84
2.2. Pouvoir de discrimination de l'instrument	84
2.3. Dispersion court terme : R&R	85
2.3.1. Répétabilité	85
2.3.2. Reproductibilité	85
2.4. Biais	86
2.5. Linéarité	86
2.6. Dispersion long terme : Stabilité	87

3. R&R – Répétabilité et Reproductibilité	87
3.1. Incidence du Cpc sur l'indice Cp	89
3.2. Méthode R&R rapide	90
3.3. Méthode R&R complète avec les étendues	93
3.3.1. Essais à réaliser	93
3.3.2. Validité des mesures	95
3.3.3. Analyse de la répétabilité	96
3.3.4. Analyse de la reproductibilité	97
3.3.5. Analyse de la dispersion de l'instrument	98
3.3.6. Analyse de la dispersion des pièces	98
3.3.7. Analyse de la dispersion totale	98
3.3.8. Calcul du ndc	99
3.3.9. Analyse R ² R	100
3.4. Méthode R&R par l'analyse de la variance	104
3.4.1. Principe de calcul	104
3.4.2. Application sur notre exemple	107
3.5. Que faire en cas de mauvais Cpc	110
3.6. Calcul du Cpc dans les cas non standard	111
3.6.1. Cas des tolérances unilatérales	111
3.6.2. Cas des contrôles destructifs	112
3.6.3. Cas des mesures de concentration de bain	112
3.6.4. Cas des mesures avec dérive (couple de serrage)	113
4. Évaluer le biais et la linéarité	114
4.1. Évaluer le Biais	114
4.2. Évaluer la linéarité	115
5. Évaluer la stabilité	117
6. Méthode proposée par CNOMO	119
6.1. Le principe de calcul du CMC	119
6.2. Les étapes du calcul	120
6.3. Limite d'agrément de la capabilité du moyen	122
6.4. Exemple de calcul	122
7. Comparaison des différentes méthodes	124
8. Capabilité des moyens de contrôle pour le contrôle aux attributs	125
8.1. La méthode	125
8.2. Que faire en cas de mauvais score ?	129

Chapitre 4

Les études de capabilité (d'aptitude) 131

1. Les différentes normes de capabilité 132
 - 1.1. L'importance de la référence QS9000 133
 - 1.2. Les indicateurs de capabilité QS9000 134
2. Le calcul des capabilités 135
 - 2.1. Capabilité court terme et long terme 135
 - 2.2. Les indicateurs liés au décentrage 138
 - 2.3. Calcul des capabilités sur un lot 139
 - 2.3.1. *Calcul des indicateurs de performance long terme* 139
 - 2.3.2. *Exemple de calcul* 141
 - 2.3.3. *Calcul des indicateurs de capabilité court terme* 142
 - 2.4. Calcul des capabilités à partir d'une carte de contrôle 145
 - 2.4.1. *Calcul des indicateurs de capabilité C_p , C_{pk} , C_{pm}* 147
 - 2.4.2. *Calcul des indicateurs de performance P_p , P_{pk} , P_{pm}* 148
 - 2.4.3. *Application sur un exemple* 148
 - 2.4.4. *Calcul du P_p et du P_{pk} lorsqu'on ne connaît pas les valeurs individuelles* 151
3. Intervalle de confiance sur les capabilités 153
 - 3.1. Intervalle de confiance sur le C_p (ou P_p) 153
 - 3.2. Intervalle de confiance sur le C_{pk} (ou P_{pk}) 155
4. L'interprétation et le suivi de la chute des capabilités ... 157
 - 4.1. Définition du rendement de stabilité R_s 158
 - 4.1.1. *Définition de l'indicateur R_s* 158
 - 4.1.2. *Interprétation de l'indicateur R_s* 159
 - 4.1.3. *Les causes d'un mauvais R_s* 160
 - 4.2. Définition du Rendement de Réglage R_r 161
 - 4.2.1. *Présentation du rendement R_r* 161
 - 4.2.2. *Les causes d'un mauvais R_r* 161
 - 4.3. La chute des capabilités 162
 - 4.4. Le tableau des capabilités et son interprétation 163
5. L'indicateur z de Six Sigma 164
 - 5.1. L'indicateur de capabilité z 165
 - 5.2. Relation entre le z et la proportion de défauts 166
6. Le démarrage d'une série ou la réception d'une machine 168
 - 6.1. Comment déterminer P_{Pp} et P_{Ppk} ? 168

6.2. Étude de la carte d'analyse	169
6.2.1. Vérification de la normalité	169
6.2.2. Vérification de la stabilité du processus	169
6.2.3. Calcul des indicateurs Pp et Ppk	170
6.2.4. Définition des fréquences de prélèvement	170
6.3. Mise en place d'une production	171
7. Cas des caractéristiques non mesurables	173
7.1. Cas des produits non-conformes, étude sur un exemple . .	173
7.2. Cas des non-conformités, étude sur un exemple	174
7.3. Cas des non-conformités, utilisation des DPO	176
8. Les cas particuliers	177
8.1. Cas des répartitions non normales	177
8.2. Le cas des processus multi-générateurs.	180
8.3. Calcul de la capabilité globale sur plusieurs critères	182

Chapitre 5

Les cartes de contrôle 185

1. Cartes de contrôle pour le suivi des valeurs individuelles 186	
1.1. Cartes Valeurs individuelles / Étendues glissantes	186
1.2. Cartes de contrôle aux valeurs individuelles Moyennes glissantes/Étendues glissantes	189
2. Les cartes de contrôle par échantillons	192
2.1. Carte de contrôle de la médiane (carte $\tilde{X}$)	192
2.2. Carte de contrôle des écarts types (carte S)	195
2.3. Les cartes de Shewhart pour le suivi par échantillons	196
2.4. Les cartes de Shainin « precontrol » – cartes couleurs	196
3. Le calcul des limites de contrôle	200
3.1. Les limites de contrôle traditionnelles	200
3.2. Exemple de calculs des limites	203
3.3. Origine des calculs de limites	205
3.3.1. Le calcul de la carte des moyennes à partir de l'écart type de la population totale	205
3.3.2. Le calcul de la carte des moyennes à partir de la moyenne des écarts types S d'échantillons de petite taille	207
3.3.3. Le calcul de la carte des moyennes à partir de la moyenne des étendues d'échantillons de petite taille	208

3.3.4. Le calcul de la carte des écarts types à partir de l'écart type de la population totale	208
3.3.5. Calcul de la carte des écarts types à partir de la loi du χ^2 . .	210
3.3.6. Le calcul de la carte des écarts types à partir des écarts types S de petits échantillons	211
3.3.7. Le calcul de la carte des étendues à partir des étendues R de petits échantillons	212
4. Efficacité des cartes de contrôle	213
4.1. Courbe d'efficacité d'une carte de contrôle	213
4.2. POM d'une carte de contrôle	215
4.3. Établissement d'une carte de contrôle à partir des risques α et β	216
4.3.1. Les moyennes refusables	217
4.3.2. Calculs de la taille des échantillons	218
4.3.3. Calcul de limites élargies	221
5. L'application de limites élargies	222
5.1. Domaine d'application	222
5.1.1. Procédés à dérive	222
5.1.2. Procédé à réglage par seuil	223
5.2. Calcul des limites élargies pour un Cpk objectif	224
5.2.1. Application	226
5.3. La carte à doubles limites	228
6. Quelques cas particuliers	229
6.1. Les cas des processus multi-générateurs	229
6.2. Le cas des processus gigognes	234
6.3. Les cartes à caractéristiques multiples	239
7. Quelques conseils pour une bonne application des cartes de contrôle	241
7.1. Carte de contrôle et maîtrise des processus	241
7.2. Critère de choix d'un paramètre à surveiller	241
7.3. Lorsque les fréquences de prélèvement sont trop élevées .	242
7.4. L'informatisation des cartes de contrôle	243
7.5. La réactualisation des cartes de contrôle	244
7.6. Le suivi d'un projet MSP	245

Chapitre 6

Les cartes EWMA et CUSUM 247

1. Les cartes EWMA	248
1.1. Principe de la carte EWMA	248
1.2. Calcul des limites	251
1.3. Exemples d'application	252
1.3.1. Premier exemple	252
1.3.2. Second exemple	253
1.4. Choix de λ et de L	255
2. Les cartes CUSUM	256
2.1. Le principe	257
2.2. Exemple d'application	259
2.2.1. Carte FIR CUSUM	262
2.2.2. Combinaison Shewhart/CUSUM	264
2.3. Les cartes CUSUM avec masque en V	266
2.3.1. Principes	266
2.4. Efficacité des cartes CUSUM	269

Chapitre 7

Le cas des processus multidimensionnels 271

1. Les cartes multidimensionnelles pour le suivi en position	272
1.1. Introduction	272
1.2. La carte χ^2 pour le suivi de la position	273
1.2.1. Principe	273
1.2.2. Exemple d'application	276
1.3. La carte T^2 de Hotelling pour le suivi de la position	279
1.3.1. Principe	279
1.3.2. Calcul des limites	280
1.3.3. Exemple d'application	281
1.3.4. Comparaison entre la carte T^2 et la carte χ^2	283
1.4. Carte EWMA multidimensionnelle	283
2. Carte multidimensionnelle pour le suivi de la variabilité	286
2.1. Principe	286
2.2. Exemple d'application	287

3. Interprétation des cartes multidimensionnelles	289
3.1. Les difficultés d'interprétation	289
3.2. Les règles d'interprétation	291
3.2.1. <i>Suivi de chaque caractéristique individuelle</i>	291
3.2.2. <i>Réduire le nombre de variables à partir d'une analyse</i> <i>en composantes principales</i>	291
3.2.3. <i>Analyser la direction du défaut, source d'informations</i> ...	292

Chapitre 8

Le cas des attributs 295

1. Les particularités du contrôle par attributs	295
1.1. La qualification par attributs	295
1.2. Les différents types de suivi par attributs	296
1.3. Critères de conformité	298
1.4. Causes communes et causes spéciales dans le cas des attributs	298
1.4.1. <i>Rappels</i>	298
1.4.2. <i>Séparer l'ordinaire de l'extraordinaire</i>	299
2. Le principe d'une carte de contrôle aux attributs	300
2.1. Identifier les causes spéciales	300
2.2. Interprétation des cartes de contrôle aux attributs	302
2.3. Mise en place d'une carte de contrôle	303
2.3.1. <i>Définir</i>	304
2.3.2. <i>Mesurer</i>	304
2.3.3. <i>Analyser/Innover</i>	304
2.3.4. <i>Contrôler</i>	305
2.3.5. <i>Standardiser</i>	305
3. Les principales cartes de contrôle aux attributs	305
3.1. La carte np, nombre d'articles non-conformes	306
3.1.1. <i>Utilité de la carte np</i>	306
3.1.2. <i>Mesurer – Observation du procédé</i>	306
3.1.3. <i>Analyser – Calcul de la carte np</i>	307
3.1.4. <i>Contrôler – Suivi du procédé par carte np</i>	308
3.1.5. <i>Standardiser – L'amélioration continue</i>	310
3.2. La carte p – proportion d'articles non conformes	310
3.2.1. <i>Calcul des limites de contrôle</i>	310
3.2.2. <i>Suivi du procédé par la carte de contrôle p</i>	312

3.3. Carte c – nombre de non-conformités	313
3.3.1. Utilité de la carte c	313
3.3.2. Calcul des limites de la carte c	313
3.4. Carte u – Proportion de non-conformités	314
3.4.1. Utilité de la carte u	314
3.4.2. Calcul des limites de la carte u	314
3.4.3. Exemple d'utilisation d'une carte u	315
3.5. Récapitulatif des calculs des limites	317
4. Les cartes sur valeurs transformées	317
4.1. Cartes CUSUM aux attributs	317
4.1.1. CUSUM pour le nombre de non-conformités (c) – carte de Lucas.	318
5. Le suivi des fréquences d'apparition de défauts	320
5.1. Cas d'utilisation	320
5.2. Le principe	322
5.3. Le suivi par carte EWMA (ou CUSUM)	323
5.4. Exemple d'utilisation en maintenance	325
6. Limites des cartes de contrôle aux attributs	327

Chapitre 9

Le cas des petites séries 329

1. Introduction	329
1.1. Les bénéfices de l'application de la MSP dans le cas des petites séries	329
1.2. La méthode traditionnelle de pilotage dans le cas des petites séries	332
1.2.1. Exemples dans le cas d'une série de 10 pièces	332
1.2.2. Critique de la méthode	334
2. Le suivi par valeurs individuelles	335
2.1. Identification de l'écart type de la production	337
2.2. Suivi par carte de contrôle Valeurs/étendues glissantes	338
2.3. Amélioration de l'efficacité de la détection	339
3. Retrouver un effet de série	342
3.1. Raisonner en écarts par rapport à la cible	342
3.2. Les cartes de contrôle multi-produits	344
3.2.1. Cas 1 : les étendues sont constantes pour l'ensemble des lots	345

3.2.2. Cas 2 : les étendues ne sont pas constantes d'un lot à l'autre	346
3.2.3. Critique de la méthode	349
3.2.4. Cas des échantillons de taille variable	350
3.3. Carte EWMA Multi-produits	351
4. La carte de contrôle « petites séries »	353
4.1. Le besoin d'une nouvelle méthode	353
4.2. Principe de base de la carte de contrôle « petites séries »	353
4.2.1. Présentation de la carte	353
4.2.2. Le remplissage de la carte des petites séries	354
4.3. Le calcul des limites de contrôle	356
4.3.1. Identification de l'écart type de la population	356
4.3.2. Calcul de la carte des moyennes	359
4.3.3. Calcul de la carte des étendues	361
4.4. Efficacité de la carte de contrôle « petites séries »	362
4.5. Autres utilisations de la carte de contrôle « petites séries »	363
5. La carte de « pré contrôle » petites séries	364
6. Utiliser l'échantillonnage	369
7. L'analyse a posteriori	372
7.1. Collecte des données	373
7.2. Étude des causes communes de dispersion	376
7.3. Étude de la capabilité du procédé	377
7.4. Critique de la méthode	378
8. Capabilité à partir des cartes « petites séries »	379
8.1. Capabilité court terme	379
8.2. Capabilité long terme	380
9. Détermination du réglage optimal	381
9.1. Cas où le réglage doit être réalisé sur la première pièce	381
9.2. Cas du réglage sur la nième pièce	385
9.3. Règle pratique de réglage	386
9.3.1. Détermination de la règle	386
9.3.2. Détermination d'une grille de réglage	387

Chapitre 10

Le cas des distributions non gaussiennes et des critères unilatéraux 389

1. Comment traiter le cas des distributions non gaussiennes ? 390
 - 1.1. Les différentes approches 390
 - 1.2. Approche $\pm 3\sigma$ sigma pour le calcul des capacités 390
 - 1.3. Transformation des données 391
 - 1.4. Approche par les percentiles 391
2. Approche 3 sigma de calcul des capacités 393
 - 2.1. Approximation de la loi normale 393
 - 2.2. Méthode du mode 394
 - 2.3. Méthode du mode – cas des tolérances bilatérales 395
3. Méthode de transformation des données 397
 - 3.1. Utilisation de la loi lognormale 397
 - 3.1.1. Principe 397
 - 3.1.2. Exemple de calcul 398
 - 3.2. Transformation de Box-Cox 400
 - 3.3. Transformation de Johnson 402
 - 3.3.1. Choix du type de transformation 403
 - 3.3.2. Calcul des coefficients des fonctions de transformation 405
4. Identification de la fonction 407
 - 4.1. Utilisation de la loi de Weibull 407
 - 4.2. Distribution des valeurs extrêmes (de Gumbel) 411
 - 4.2.1. Valeurs extrêmes minimum 412
 - 4.2.2. Valeurs extrêmes maximum 412
 - 4.2.3. Estimation des paramètres 413
 - 4.2.4. Application 413
5. Indicateur Ppm dans le cas unilatéral 414
 - 5.1. Définitions 414
 - 5.2. Calcul de Cpm et comparaison avec Cpk 416
6. Calcul des cartes de contrôle dans le cas des critères uni limites 418

Chapitre 11

Du tolérancement au pire des cas au tolérancement inertiel 419

1. Différentes approches du tolérancement en cas d'assemblages 420
 - 1.1. Tolérancement au pire des cas 421
 - 1.2. Tolérancement statistique 423
 - 1.3. Règles simples de calcul mnémotechnique 424
 - 1.4. Les autres approches statistiques 425
2. La décision de conformité sur les caractéristiques élémentaires 425
3. Le tolérancement inertiel 428
 - 3.1. Définition du tolérancement inertiel 428
 - 3.2. Interprétation du tolérancement inertiel 430
 - 3.2.1. *Représentation graphique* 430
 - 3.2.2. *Cas extrêmes* 432
 - 3.2.3. *Représentation n°2* 433
 - 3.2.4. *Représentation n°3* 433
 - 3.3. Indicateurs de capabilité en tolérancement inertiel 434
 - 3.4. Conformité et tolérancement inertiel 435
 - 3.5. Tolérancement inertiel dans le cas d'un assemblage 437
 - 3.5.1. *Garantir l'inertie de la caractéristique finale Y* 437
 - 3.5.2. *Garantir la conformité de la caractéristique finale Y.* 438
 - 3.5.3. *Application sur un exemple* 438
4. Tolérancement inertiel dans le cas de critères unilatéraux 440
5. Pilotage des caractéristiques inertielles 441
6. Conclusion 443

Annexes

Statistiques de base 445

1. Représentation graphique d'une distribution 445
 - 1.1. Le diagramme des fréquences 445
 - 1.2. La représentation sous forme d'histogramme 446

1.3. Exemple de construction d'histogramme	449
1.4. La boîte à moustache	450
2. Les lois de répartition continues	451
2.1. Notion de population et d'échantillon	451
2.2. Expérience sur les peintures d'un groupe de 50 hommes	452
2.3. Expérience avec des pièces	453
3. Calculs des paramètres d'une courbe de Gauss	454
3.1. Paramètres de position	454
3.1.1. Moyenne arithmétique ($\bar{X}$)	454
3.1.2. Espérance mathématique (μ)	454
3.1.3. La médiane ($\tilde{X}$)	455
3.1.4. Le mode	455
3.2. Paramètres d'échelle	455
3.2.1. L'étendue (notée R Range en Anglais)	456
3.2.2. L'écart type estimé (noté S ou σ_{n-1})	456
3.2.3. L'écart type réel (noté σ)	457
3.2.4. La variance vraie (σ^2) ou estimée (S^2)	457
3.2.5. La dispersion	458
3.3. Liaison entre l'écart type et la courbe de Gauss	458
3.4. Calcul de pourcentage de pièces hors tolérance	459
4. Formes d'une distribution	461
4.1. Expériences	461
4.2. Étude de normalité – Droite de Henry	462
4.3. Étude de normalité – Test du χ^2 (CHI 2)	464
4.3.1. Principe du test	464
4.3.2. Exemple	465
4.3.3. Effet de bord dans le test du χ^2	466
4.3.4. Étude de forme	467
4.3.5. Généralisation des paramètres de dispersion	467
4.3.6. Aplatissement	468
4.3.7. Dissymétrie	468
4.4. Le test de Anderson-Darling	469
5. Distribution de Student	472
6. Les lois de répartition discrètes	473
6.1. La loi de distribution hypergéométrique	473
6.2. La loi binomiale	474
6.3. La loi de Poisson	476

7. Distribution des caractéristiques d'un échantillon	477
7.1. Distribution statistique des moyennes	477
7.2. Distribution statistique des écarts types	478
8. Estimation des caractéristiques d'une population totale .	479
8.1. Estimation	479
8.1.1. <i>Estimation par valeur ou par intervalle de confiance</i>	479
8.1.2. <i>Biais d'un estimateur</i>	480
8.2. Estimation par une valeur	480
8.2.1. <i>Estimation de la moyenne</i>	480
8.2.2. <i>Estimation de l'écart type</i>	480
8.2.3. <i>Cas des petits échantillons – Estimation à partir</i> <i>de l'écart type</i>	482
8.2.4. <i>Cas des petits échantillons – Estimation à partir</i> <i>de l'étendue</i>	483
8.3. Estimation par un intervalle de confiance	484
8.3.1. <i>Estimation de la moyenne</i>	484
8.3.2. <i>Estimation d'un intervalle de confiance sur l'écart type</i> . .	486
8.3.3. <i>Exemple de calcul d'intervalle de confiance</i>	488
8.3.4. <i>Estimation de la moyenne</i>	488
8.3.5. <i>Estimation de l'écart type</i>	488

Tables et résumés	491
Démarche de mise sous contrôle d'un processus	492
Proportion hors tolérances fonction de Pp et Ppk	493
Valeur mini du Cp pour un Cp calculé (risque unilatéral à 5 %)	494
Valeur mini du Cpk pour un Cpk calculé (risque unilatéral à 5 %)	495
DPMO en fonction du z du processus	496
Table de la loi normale	497
Table de la loi de Student	498
Table de la loi du χ^2	499
Tableau des coefficients	500
Résumé des principales formules de calculs des cartes MSP . . .	501
Résumé des principales formules de calcul des cartes MSP . . .	502
<i>Carte Valeurs individuelles</i>	502
<i>Carte limites élargies</i>	502
<i>Coefficient A_6 pour le calcul des limites élargies</i>	502
<i>Coefficient A_5 pour le calcul des limites élargies</i>	502
<i>Carte EWMA</i>	503

<i>Cartes aux attributs</i>	503
<i>Calcul des cartes aux attributs</i>	503
<i>Carte exponentielle</i>	503
Résumé sur les capacités	504
Règles de pilotage d'une production par « carte de pilotage SPC »	505
Tableau de décision	505
<i>Règles principales d'interprétation des cartes de pilotage</i>	506
Carte de contrôle aux attributs	508
 Bibliographie	 511
 Logiciels et sites internet	 523
 Index	 525