

François Bergeret
Sabine Mercier

STATISTIQUE INDUSTRIELLE

**Systèmes de mesure, estimation,
échantillonnage et maîtrise statistique
des procédés**

DUNOD

Direction artistique : Élisabeth Hébert

Conception graphique de la couverture : Élisabeth Riba

Illustration de couverture : François Bergeret

La photographie représentée en haut de l'image de couverture est celle de l'usine historique de Western Electric, où les cartes de contrôle ont été inventées par Shewhart.

© Dunod, 2021

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-082276-8

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

À la mémoire d'Yves Chandon

Table des matières

1 Introduction générale	1
Partie I Principes de la Statistique industrielle	
2 Introduction	9
2.1 Concepts et objectifs	9
2.2 Modélisation	10
2.2.1 La loi normale	11
2.2.2 Estimation des paramètres	12
2.2.3 Choix ou vérification de la loi de probabilité	14
2.3 Applications pratiques	16
3 L'analyse des systèmes de mesures	18
3.1 Introduction	18
3.1.1 Quelques définitions métrologiques	18
3.1.2 Étalonnage	19
3.1.3 Une méthode simple	21
3.1.4 Étude d'incertitude ou Gage R&R	23
3.2 Estimation des composants de la variance	30
3.3 Plans d'expériences optimaux appliqués à l'incertitude de mesure	32
4 Indices d'aptitude ou capabilités	35
4.1 Définitions	35
4.2 Estimation des dispersions	36
4.2.1 Variabilité long terme	37
4.2.2 Variabilité court terme	37
4.3 Autres indicateurs de capabilité	38
4.3.1 Tenir compte du décentrage	38
4.3.2 Taguchi	39
4.3.3 Intervalle de confiance	39

4.4	Interprétation des capacités	40
4.4.1	Une première approche	40
4.4.2	Interprétation des chutes de capacités	40
4.5	En pratique	40
4.6	Applications pratiques	42
5	Les cartes de contrôle	45
5.1	Introduction	45
5.2	Carte I	47
5.3	Moyenne : carte de Shewhart	47
5.4	Dispersion : carte des écarts types	50
5.5	Autres cartes usuelles	51
5.5.1	Carte EWMA classique	51
5.5.2	Carte CUSUM	53
5.5.3	Carte EWMA améliorée	54
5.5.4	Performance	55
5.5.5	Cartes de contrôle multidimensionnelles	55
5.5.6	Cartes à double échantillonnage	56
5.6	Les règles de Western Electric	56
5.7	Management de la MSP dans l'entreprise	57
5.7.1	Logiciel MSP et bases de données	58
5.7.2	Règles d'arrêt	58
5.7.3	Revue des limites de contrôle	59
5.7.4	Commentaires en cas de hors contrôle	60
5.8	Applications pratiques	60
6	Cas des attributs	65
6.1	Types de suivi par attributs	65
6.2	Les principales cartes de contrôle aux attributs	66
6.2.1	La carte np : nombre de défectueux	66
6.2.2	La carte p : proportion de défectueux	66
6.2.3	La carte c : nombre de défauts	67
6.2.4	La carte u : proportion de défauts	67
6.3	Cartes g	67
6.3.1	Carte g : modèle et données	67
6.3.2	Carte g : limites de contrôle et lecture	69
6.3.3	Carte g : risque de première espèce	70
6.3.4	Puissance de la carte g	71

6.3.5 Exemples de cartes g	71
6.3.6 Temps d'attente du k -ième "succès"	75
6.4 Capabilité pour le cas des attributs	75
6.4.1 Cas des défectueux	75
6.4.2 Cas des défauts	75
6.5 Applications pratiques	76
7 Estimation et échantillonnage	78
7.1 Propriétés des estimateurs	79
7.1.1 Propriétés de la moyenne empirique	82
7.1.2 Propriétés des variances empiriques	83
7.2 Estimation ponctuelle	84
7.3 Intervalles de confiance	84
7.3.1 Intervalles de confiance pour une moyenne	85
7.3.2 Intervalle de confiance de Wald pour une proportion	86
7.3.3 Choix de la taille d'échantillon	87
7.3.4 Intervalle de confiance d'une proportion – Méthode exacte	88
7.3.5 Méthodes approchées	89
7.4 Types d'échantillonnage	91
7.4.1 Échantillonnage aléatoire simple	91
7.4.2 Échantillonnage stratifié	93
7.4.3 Échantillonnage à deux degrés	94
7.4.4 Conclusion	95
7.5 Applications pratiques	95
8 Choix d'un plan d'échantillonnage	96
8.1 Rappels sur les tests	96
8.1.1 Déroulement d'un test	97
8.1.2 Risques liés à l'inférence	99
8.1.3 Lien avec les intervalles de confiance	100
8.2 Application aux cartes de Shewhart $\bar{X}$	101
8.2.1 Risque de fausse alarme α	101
8.2.2 Risque client β	102
8.2.3 Courbes d'efficacité et choix de la taille d'échantillon	103
8.3 Application au cas des attributs	104
8.3.1 Plan d'échantillonnage	104
8.3.2 Attributs : risque de fausse alarme	104

8.3.3 Attributs : risque client	105
8.3.4 Risque client et courbes "OC"	105
8.3.5 Niveau de Qualité Acceptable NQA (Accepted Quality Level AQL)	106
8.3.6 Choix d'un plan par lecture de tables	107
8.3.7 Lien entre NQA et OC curves	107
Partie II Études de cas industriels	
9 Fonderie à cire perdue : un cas classique	113
9.1 Présentation des données	113
9.2 Étude préliminaire des données	114
9.3 Carte de contrôle	115
9.4 Bénéfices, risques et perspectives	116
10 Particules sur plaques de silicium	117
10.1 Contexte et démarche	117
10.2 Démarche statistique	118
10.3 Bénéfices, risques et perspectives	121
11 Focus : données auto corrélées	123
11.1 Contexte et démarche	123
11.2 Démarche statistique	124
11.3 Bénéfices, risques et perspectives	125
12 Avant et après amélioration de la mesure	127
12.1 Contexte et démarche	127
12.2 Démarche statistique	127
12.3 Bénéfices, risques et perspectives	129
13 Osmolarité, production par lots	130
13.1 Contexte	130
13.2 Démarche statistique	131
13.3 Bénéfices, risques et perspectives	133
14 Carte de contrôle pour distribution multimodale	135
14.1 Contexte et démarche	135
14.2 Démarche statistique	135
14.3 Bénéfices, risques et perspectives	137

15 Cartes de contrôle multivariées	138
15.1 Contexte et démarche	138
15.2 Démarche statistique	138
15.3 Bénéfices, risques et perspectives	140
Conclusion sur les études de cas	141
Partie III Annexes	
16 Quelques rappels	145
16.1 Divers	145
16.2 Variances et sommes des carrés	145
17 Approximations par la loi normale	148
17.1 Conditions d'application	148
17.2 Calculs de probabilités diverses	150
17.3 Risques réels d'une carte np usuelle	151
17.3.1 Risque de fausse alarme pour une carte np usuelle	151
17.3.2 Risque client pour une carte np usuelle	153
17.4 Conclusion	153
18 Probabilité de recouvrement	155
19 Tests d'adéquation	158
19.1 Test de Kolmogorov-Smirnov	158
19.2 Test du Khi-deux d'ajustement	160
19.3 Test de Shapiro-Wilks	162
20 Corrigés des applications pratiques	163
21 Tables	194
21.1 Coefficients pour estimer l'écart type instantané	194
21.2 Facteurs pour les cartes de contrôle	195
21.3 Fonction de répartition de la loi normale	196
21.4 Fractiles de la loi normale	197
21.5 Fractiles de la loi du Khi-deux	199
Bibliographie	201
Index	205

