

**L'USINE NOUVELLE**

SÉRIE | EEA

Michel Grout  
Patrick Salaün

# INSTRUMENTATION INDUSTRIELLE

Spécification et installation  
des capteurs et vannes de régulation

2<sup>e</sup> édition



**DUNOD**



# TABLE DES MATIÈRES

---

AVANT-PROPOS . . . . .	1
------------------------	---

---

CHAPITRE 1 - L'INSTRUMENTATION DANS LES PROCESSUS INDUSTRIELS . .	3
1.1 Mission d'une entreprise . . . . .	3
1.2 Activités dans une entreprise . . . . .	3
1.3 Procédé industriel . . . . .	5
1.4 Processus industriel . . . . .	5
1.5 Schéma de tuyauterie et d'instrumentation . . . . .	6
1.6 Hiérarchie des systèmes de contrôle. . . . .	7
1.7 Grandeurs à contrôler . . . . .	9
1.8 Régulation : terminologie et concepts . . . . .	9
1.9 Actions correctives des régulateurs. . . . .	12
1.10 Symbolisation . . . . .	16
1.11 Repères d'identification. . . . .	16

---

CHAPITRE 2 - CAPTEURS ET ACTIONNEURS : GÉNÉRALITÉS . . . . .	21
2.1 Schéma fonctionnel d'une boucle de régulation . . . . .	21
2.2 Capteurs et transmetteurs. . . . .	22
2.2.1 Définitions . . . . .	22
2.2.2 Échelle et étendue . . . . .	23
2.2.3 Gammes de réglage et rangeabilité . . . . .	24
2.2.4 Qualités métrologiques. . . . .	25
2.2.5 Transmetteur intelligent . . . . .	25
2.2.6 Signaux de sortie des transmetteurs électroniques . . . . .	28
2.2.7 Protocole Hart . . . . .	29
2.2.8 Réseaux de terrain . . . . .	30

2.3.2	Exemples	32
2.3.3	Rôle du relais d'asservissement	33
2.3.4	Qualités intrinsèques des vannes de régulation	33
2.3.5	Vanne régulatrice intelligente	34
2.4	Autres qualités requises des transmetteurs et des vannes régulatrices	36
2.5	Adaptation au processus	36
2.5.1	Conditions de service et conditions d'étude	36
2.5.2	Corrosion	38
2.6	Adaptation à l'environnement climatique et industriel	39
2.6.1	Degrés de protection procurés par les enveloppes des matériels électriques	40
2.6.2	Appareils électriques utilisables en atmosphère explosible	40
2.6.3	Équivalences des terminologies entre normes européennes et américaines	45
2.6.4	Norme américaine NEMA 250	45
2.6.5	Compatibilité électromagnétique (CEM)	52
2.7	Qualité de l'air ambiant des locaux techniques	59
2.7.1	Justification d'un système de conditionnement de l'air	59
2.7.2	Teneur en poussières	60
2.7.3	Teneurs en composés corrosifs gazeux	61
2.7.4	Température	62
2.7.5	Humidité relative	62
2.8	Sécurité fonctionnelle – Normes CEI 61508 et 61511	62
2.8.1	Norme CEI 61508	63
2.8.2	Norme CEI 61511	65
<b>CHAPITRE 3 - MESURE DE LA PRESSION</b>		
3.1	Définition	67
3.2	Unités pratiques de pression – Table de conversion	67
3.3	Pression relative et pression absolue	67
3.4	Pression différentielle	70
3.5	Manomètres à colonne de liquide	71
3.5.1	Principe	71
3.5.2	Manomètre à tube en U	72
3.5.3	Manomètre à colonne	73
3.6	Manomètres à déformation mécanique	76
3.6.1	Manomètre à tube de Bourdon	76
3.6.2	Autres manomètres métalliques	76

3.7.1	Système buse-palette	7
3.7.2	Relais amplificateur	8
3.7.3	Principe du transmetteur à déviation	8
3.8	Transmetteurs pneumatiques à balance de forces	8
3.8.1	Capteur à membrane	8
3.8.2	Principe du transmetteur à balance de forces	8
3.9	Transmetteurs électroniques à microdéformation	8
3.9.1	Capteur à membranes	8
3.9.2	Principe du transmetteur électronique intelligent	8
3.9.3	Réalisation pratique	8
3.10	Séparateurs à membrane	8
3.10.1	Description	8
3.10.2	Applications	8
3.10.3	Influence du séparateur à membrane sur la mesure	9
3.11	Représentation symbolique des capteurs de pression	9
3.12	Étalonnage des capteurs de pression	9
3.12.1	Étalons fondamentaux ou primaires	9
3.12.2	Étalons secondaires	9
3.12.3	Balance manométrique	9
3.13	Annexes	9
3.13.1	Manomètres indicateurs normalisés	9
3.13.2	Feuilles de spécifications	9

**CHAPITRE 4 - DÉBITMÈTRES À ÉLÉMENT PRIMAIRE ET MANOMÈTRE DIFFÉRENTIEL SUR CONDUITES CYLINDRIQUES**

4.1	Définitions	10
4.1.1	Débit d'un fluide à travers une section de conduite	10
4.1.2	Débit masse $q_m$ à travers une section de conduite	10
4.1.3	Débit volume $q_v$ à travers une section de conduite	10
4.2	Paramètres d'écoulement dans les conduites cylindriques	10
4.2.1	Nombre de Reynolds	10
4.2.2	Régimes d'écoulement	10
4.2.3	Expression du débit volume dans une conduite	10
4.3	Mesure du débit par mesure de la vitesse d'écoulement	10
4.3.1	Principe	10
4.3.2	Rappel sur le théorème de Bernoulli	10
4.3.3	Mesure de la pression dynamique par tube de Pitot	10
4.3.4	Relation entre vitesse et pression dynamique	10
4.3.5	Formule pratique de calcul du débit	10
4.3.6	Sonde Annubar	10
4.3.7	Guide pour l'utilisation d'un tube de Pitot ou d'une sonde Annubar	10

4.4.1	Principe d'un élément déprimogène . . . . .	110
4.4.2	Formule de calcul . . . . .	112
4.4.3	À propos des étendues standardisées des transmetteurs . . . . .	112
4.5	Éléments déprimogènes normalisés . . . . .	114
4.5.1	Norme ISO 5167-1 . . . . .	114
4.5.2	Diaphragme à bord droit . . . . .	114
4.5.3	Tuyères . . . . .	120
4.5.4	Tubes de Venturi . . . . .	122
4.5.5	Limites d'emploi des éléments déprimogènes . . . . .	124
4.5.6	Perte de charge dans les éléments déprimogènes . . . . .	124
4.5.7	Longueurs droites minimales en amont et en aval de l'élément déprimogène . . . . .	124
4.6	Autres éléments déprimogènes . . . . .	125
4.6.1	Diaphragme à bord arrondi . . . . .	125
4.6.2	Diaphragme intégré . . . . .	127
4.6.3	Élément déprimogène « en coin » (wedge element) . . . . .	128
4.7	Coefficient d'un débitmètre . . . . .	131
4.8	Débit exprimé en volume aux conditions de référence . . . . .	132
4.9	Incertitude sur la mesure du débit par élément déprimogène . . . . .	132
4.10	Coefficient de dilatation de l'orifice . . . . .	133
4.11	Représentation symbolique des capteurs de débit . . . . .	134
4.12	Annexes . . . . .	134
4.12.1	Formule de calcul du débit avec un élément déprimogène – Démonstration . . . . .	134
4.12.2	Calculs d'installations débitométriques à diaphragme et manomètre différentiel . . . . .	135
4.12.3	Calculs de portées de débitmètres à diaphragme et manomètre différentiel . . . . .	143
4.12.4	Feuille de spécification . . . . .	149

**CHAPITRE 5 - AUTRES DÉBITMÈTRES SUR CONDUITES CYLINDRIQUES**  
**COMPARAISONS ENTRE DÉBITMÈTRES . . . . . 151**

5.1	Méthodes de mesure du débit volume dans les conduites cylindriques . . . . .	151
5.2	Mesure du débit volume par mesure de $U$ connaissant $S$ . . . . .	151
5.2.1	Débitmètre à turbine . . . . .	152
5.2.2	Débitmètre électromagnétique . . . . .	155
5.2.3	Débitmètres à ultrasons . . . . .	157
5.2.4	Débitmètre à effet vortex . . . . .	160

5.3.1	Principe . . . . .	153
5.3.2	Réalisations pratiques . . . . .	153
5.3.3	Ensembles indicateurs - régulateurs de débit . . . . .	153
5.4	Mesure directe du débit volume . . . . .	154
5.4.1	Débitmètre volumétrique étanche . . . . .	154
5.4.2	Débitmètre à roues ovales à engrenages . . . . .	154
5.5	Débitmètre massique . . . . .	155
5.5.1	Principe . . . . .	155
5.5.2	Réalisation pratique . . . . .	155
5.6	Utilisation des débitmètres en fonction du diamètre de la conduite et de la phase du fluide . . . . .	156
5.7	Précision des débitmètres . . . . .	157
5.8	Caractéristiques diverses des débitmètres . . . . .	158
5.9	Guide de sélection d'un débitmètre . . . . .	159
5.10	Unités pratiques de débit . . . . .	160
5.11	Représentation symbolique des capteurs de débit . . . . .	160
5.12	Annexes . . . . .	160
5.12.1	Formules de correction pour rotamètres indicateurs . . . . .	160
5.12.2	Feuilles de spécification . . . . .	160

**CHAPITRE 6 - MESURE DU NIVEAU . . . . .**

6.1	Définitions . . . . .	161
6.2	Détection et mesure du niveau . . . . .	162
6.3	Unités de niveau . . . . .	163
6.4	Méthodes de détection et de mesure usuelles pour liquides . . . . .	164
6.4.1	Niveaux optiques . . . . .	164
6.4.2	Niveaux à flotteur . . . . .	164
6.4.3	Niveaux hydrostatiques . . . . .	164
6.4.4	Niveaux électriques . . . . .	164
6.4.5	Niveaux à écho . . . . .	164
6.4.6	Niveaux à absorption de rayonnement gamma . . . . .	164
6.5	Méthodes de détection et de mesure usuelles pour pulvérulents . . . . .	165
6.5.1	Niveaux électromécaniques . . . . .	165
6.5.2	Niveau pour catalyseur fluidisé . . . . .	165
6.5.3	Autres méthodes . . . . .	165
6.6	Système HTG pour stockages . . . . .	166
6.6.1	Comparaison avec les jauges mécaniques . . . . .	166
6.6.2	Principe pour un réservoir ouvert . . . . .	166
6.6.3	Principe pour un réservoir sous pression . . . . .	166
6.6.4	Masse volumique et volume de stockage ramenés à 15 °C . . . . .	166

0.8.1	Feuilles de spécification	231
6.8.2	Eclonnage des niveaux à plongeur	233

CHAPITRE 7 - MESURE DE LA TEMPÉRATURE . . . . . 237

7.1	Définitions	237
7.1.1	Température	237
7.1.2	Thermomètre et pyromètre	237
7.1.3	Thermomètres à contact et sans contact	237
7.2	Échelles conventionnelles usuelles	237
7.2.1	Échelle Celsius	238
7.2.2	Échelle Kelvin	238
7.2.3	Échelle Fahrenheit	238
7.2.4	Températures de référence	238
7.3	Méthodes de mesure usuelles	240
7.4	Thermomètres en verre à remplissage liquide	240
7.4.1	Thermomètres de laboratoire	242
7.4.2	Thermomètres industriels	242
7.5	Thermomètres à bulbe et manomètre	242
7.5.1	Thermomètre à dilatation de liquide	243
7.5.2	Thermomètre à tension de vapeur	244
7.5.3	Thermomètre à dilatation de gaz	245
7.6	Thermomètre à bilame	245
7.7	Couples thermoélectriques	246
7.7.1	Principe et utilisation pratique d'un couple thermoélectrique	247
7.7.2	Couples thermoélectriques normalisés	255
7.7.3	Mesure de la température de peau des tubes de four	259
7.7.4	Mesure d'une différence de température	259
7.8	Résistances thermoélectriques	259
7.8.1	Principe et définitions	262
7.8.2	Résistance de platine (Pt) normalisée	262
7.8.3	Réalisation d'une sonde à résistance	263
7.8.4	Installation d'une sonde dans une canne thermométrique	263
7.8.5	Résistance de platine pour enroulements statoriques	263
7.8.6	Raccordement électrique d'une résistance thermoélectrique	264
7.9	Transmetteurs de température	269
7.9.1	Transmetteur à montage direct	269
7.9.2	Transmetteur à montage sur rail	271

7.10.1	Utilisation	271
7.10.2	Réalisations	271
7.10.3	Exemples de réalisations	271
7.10.4	Calcul de résistance mécanique	271
7.11	Temps de réponse d'un capteur de température	271
7.11.1	Définitions	271
7.11.2	Temps de réponse des thermocouples	271
7.11.3	Temps de réponse des thermorésistances	271
7.11.4	Temps de réponse des sondes dans une gain	271
7.12	Choix entre thermocouple et résistance thermométrique	271
7.13	Thermomètres optiques IR	271
7.13.1	Applications	271
7.13.2	Principes fondamentaux	271
7.13.3	Thermomètres à infrarouge monochromatique	271
7.13.4	Thermomètres à infrarouge bichromatique	271
7.14	Représentation symbolique des capteurs de température	271
7.15	Annexe : tables de conversion °C ↔ °F	271

CHAPITRE 8 - NOTIONS SUR LES ANALYSEURS INDUSTRIELS . . . . .

8.1	Définitions	271
8.2	Rôle et justification des analyseurs industriels	271
8.3	Méthodes de classification des analyseurs industriels	271
8.3.1	Classification en fonction de l'application	271
8.3.2	Classification en fonction du principe de détec	271
8.3.3	Classification en fonction de la grandeur mesu	271
8.4	Composition d'un système d'analyse en continu	271
8.4.1	Analyseur	271
8.4.2	Système d'analyse	271
8.5	Système de prélèvement et de transport de l'échantillon	271
8.5.1	Nécessité d'une boucle d'échantillonnage	271
8.5.2	Exemple de réalisation	271
8.5.3	Exigences relatives au prélèvement et au transp	271
8.6	Système de préparation de l'échantillon	271
8.6.1	Nécessité d'un système de préparation	271
8.6.2	Exemple de réalisation	271
8.6.3	Exigences relatives à la préparation de l'échanti	271
8.7	Système de contrôle de l'éclonnage	271
8.8	Adaptation au processus et à l'environnement	271
8.9	Bâtiment pour analyseurs	271

## CHAPITRE 9 - VANNES DE RÉGULATION – CONCEPTIONS . . . . . 311

9.1	Classification des vannes de régulation. . . . .	311
9.2	Vannes de régulation à mouvement linéaire . . . . .	311
9.2.1	Types de corps . . . . .	313
9.2.2	Types de clapets pour corps droit réversible. . . . .	318
9.2.3	Types de clapets pour corps droit non réversible et vanne d'angle. . . . .	320
9.2.4	Types de servomoteurs pneumatiques à membrane . . . . .	321
9.2.5	Types de servomoteurs pneumatiques à double effet. . . . .	322
9.2.6	Position en cas de panne d'air selon les combinaisons des corps et des servomoteurs . . . . .	324
9.3	Vannes de régulation à clapet semi-rotatif excentré . . . . .	324
9.3.1	Conception du corps et du clapet . . . . .	324
9.3.2	Servomoteurs pneumatiques pour vanne à clapet semi-rotatif. . . . .	327
9.3.3	Position en cas de panne d'air . . . . .	328
9.4	Vannes de régulation à papillon . . . . .	329
9.4.1	Conception . . . . .	329
9.4.2	Montages sur conduite . . . . .	329
9.5	Vannes de régulation à boule. . . . .	331
9.6	Vannes de régulation à trois voies . . . . .	332
9.6.1	Applications . . . . .	332
9.6.2	Vannes 3 voies à déplacement linéaire. . . . .	333
9.6.3	Vannes 3 voies papillon . . . . .	334
9.7	Vannes à faible $C_v$ . . . . .	335
9.8	Accessoires . . . . .	336
9.8.1	Relais d'asservissement . . . . .	336
9.8.2	Commande manuelle. . . . .	338
9.8.3	Vannes pneumatiques de commutation . . . . .	339

## CHAPITRE 10 - VANNES DE RÉGULATION – SPÉCIFICATIONS ET CALCULS 343

SPÉCIFICATIONS. . . . . 343		
10.1	Spécifications d'une vanne de régulation . . . . .	343
10.2	Coefficient de débit . . . . .	344
10.2.1	Définition . . . . .	344
10.2.2	Coefficient de débit $C_v$ . . . . .	344
10.2.3	Coefficient de débit $K_v$ . . . . .	345
10.2.4	Relation entre $C_v$ et $K_v$ . . . . .	345
10.2.5	Exemple de calcul. . . . .	345

10.3.1	Définition et types de caractéristiques. . . . .	
10.3.2	Caractéristique linéaire . . . . .	
10.3.3	Caractéristique égale pourcentage . . . . .	
10.3.4	Caractéristique tout ou rien . . . . .	
10.3.5	Modification de caractéristique par relais d'asservissement. . . . .	
10.3.6	Choix de la caractéristique de débit . . . . .	
10.4	Coefficient de réglage . . . . .	
10.5	Vitesses d'entrée et de sortie . . . . .	
10.5.1	Vitesse d'entrée . . . . .	
10.5.2	Vitesse de sortie . . . . .	
10.6	Classes d'étranglement. . . . .	
10.7	Perte de charge maximale admissible. . . . .	
10.8	Position de la vanne en cas de panne d'air . . . . .	
10.8.1	Règle à suivre . . . . .	
10.8.2	Réalisation . . . . .	
CALCULS . . . . .		
10.9	Méthode de calcul du $C_v$ nominal . . . . .	
10.10	Écoulement en phase liquide . . . . .	
10.10.1	Variation de la pression statique dans la vanne . . . . .	
10.10.2	Cavitation et vaporisation . . . . .	
10.10.3	Calcul de la pression différentielle critique . . . . .	
10.10.4	Moyen pour éviter l'écoulement engorgé . . . . .	
10.10.5	Calcul du $C_v$ en régime non engorgé. . . . .	
10.10.6	Influence de la viscosité sur le $C_v$ . . . . .	
10.10.7	Influence des convergents-divergents sur le $C_v$ . . . . .	
10.11	Écoulement en phase gazeuse . . . . .	
10.11.1	Écoulement en régime non critique et en régime critique . . . . .	
10.11.2	Calcul du $C_v$ . . . . .	
10.11.3	Utilisation en régime critique . . . . .	
10.12	Écoulement biphasique . . . . .	
10.13	Le bruit dans les vannes de régulation . . . . .	
10.13.1	Niveau d'intensité acoustique . . . . .	
10.13.2	Noxivité du bruit. . . . .	
10.13.3	Origine du bruit des vannes . . . . .	
10.13.4	Niveau sonore acceptable . . . . .	
10.13.5	Calcul prédictif du bruit . . . . .	
10.13.6	Moyens pour réduire le bruit . . . . .	
10.14	Gamme des dimensions nominales des vannes de régulation . . . . .	

10.15.1	Fiche de calcul d'une vanne de régulation pour liquide	372
10.15.2	Fiche de calcul d'une vanne de régulation pour gaz	375
10.15.3	Fiche de calcul d'une vanne de régulation pour vapeur	378
10.15.4	Feuille de spécification pour vanne de régulation	378
10.15.5	Paramètres pour calculs en écoulement biphasique	382

## CHAPITRE 11 - SCHEMAS TYPES D'INSTALLATION DES MATERIELS (TRANSMETTEURS ET VANNES REGULATRICES) . . . . . 383

11.1	Introduction	383
11.2	Installation des capteurs – Règles à suivre	383
11.2.1	Prendre en compte les phénomènes physiques dans la liaison et le capteur	386
11.2.2	Protéger le capteur	386
11.2.3	Prévoir les facilités d'entretien	386
11.2.4	Assurer la sécurité et la protection de l'environnement	387
11.2.5	Penser à l'accessibilité	387
11.2.6	Copier avec précaution	387
11.3	Installation des capteurs – Types de montages	388
11.3.1	Montages de débitmètres en ligne	389
11.3.2	Montages de niveaux en direct sur les capacités	389
11.3.3	Montages en dérivation	389
11.3.4	Montages de thermocouples et sondes thermométriques	395
11.4	Installation des vannes de régulation	398
11.4.1	Tuyauterie	398
11.4.2	Manifold	398
11.4.3	Dimensions des vannes de sectionnement et de bipasse	398
11.4.4	Vannes de purge	400
11.4.5	Accessoires	400
11.5	Annexes	400
11.5.1	Manifolds et blocs manifolds pour transmetteurs montés en dérivation	400
11.5.2	Liquides tampons	404
11.5.3	Purges continues	409
11.5.4	Réchauffage et calorifugeage	417
11.5.5	Tubulures et raccords à compression pour tubulures	426

## CHAPITRE 12 - ALIMENTATION EN AIR DE COMMANDE . . . . . 43

12.1	Exigences à respecter	43
12.2	Système de production	43
12.2.1	Capacité de production d'air de commande	43
12.2.2	Schéma d'un système de production	43
12.3	Système de distribution	43
12.3.1	Réseau de distribution d'air de commande	43
12.3.2	Alimentation d'un consommateur local	43
12.3.3	Alimentation d'un tableau (local ou en salle de contrôle)	43
12.4	Annexe : teneur en eau dans les gaz	44

## CHAPITRE 13 - ALIMENTATIONS ELECTRIQUES . . . . . 44

13.1	Exigences à respecter	44
13.2	Conception de la distribution BT	44
13.2.1	Principe	44
13.2.2	Régimes de neutre	44
13.2.3	Principe de la protection du personnel selon le régime de neutre	44
13.2.4	Choix du régime de neutre	44
13.2.5	Classification des charges	44
13.2.6	Autres détails de conception	45
13.3	Interfaces de conditionnement ou de protection	45
13.3.1	Perturbations sur le réseau de distribution	45
13.3.2	Principales interfaces utilisées	45
13.4	Mises à la terre	45
13.4.1	Utilité des mises à la terre	45
13.4.2	Mise à la terre des installations électriques	45
13.4.3	Mise à la terre des équipements électroniques	45
13.5	Vérifications initiale et périodique d'une installation	45

## CHAPITRE 14 - APPAREILS ELECTRIQUES POUR ATMOSPHERES EXPLOSIBLES UTILISES EN INSTRUMENTATION . . . . . 46

14.1	Rappels	46
14.2	Suppression interne « p »	46
14.2.1	Définition	46
14.2.2	Principe	46
14.2.3	Réalisations couvertes par la norme	46

14.2.4	Règles pour les enveloppes à surpression interne . . .	464
14.2.5	Dispositifs de sécurité et dispositions de sécurité . . .	464
14.2.6	Exemple de réalisation avec débit continu du gaz de protection . . . . .	465
14.3	Enveloppe antidéflagrante « d » . . . . .	465
14.3.1	Définition . . . . .	465
14.3.2	Principe . . . . .	467
14.3.3	Précautions d'installation . . . . .	468
14.4	Sécurité augmentée « e » . . . . .	468
14.4.1	Définition . . . . .	468
14.4.2	Principe . . . . .	468
14.5	Sécurité intrinsèque « i » . . . . .	468
14.5.1	Définition . . . . .	468
14.5.2	Principe . . . . .	468
14.5.3	Barrières de sécurité intrinsèque . . . . .	471
14.5.4	Catégories de matériels électriques de sûreté « i » . . . . .	474
14.5.5	Document descriptif et validité d'un système de sécurité intrinsèque . . . . .	475
14.5.6	Câbles et câblages . . . . .	476

**CHAPITRE 15 - CÂBLAGES DES INSTRUMENTS . . . . . 477**

15.1	Liaisons entre capteurs, actionneurs et moyens de contrôle . . . . .	477
15.1.1	Architecture générale . . . . .	477
15.1.2	Conception des liaisons . . . . .	477
15.2	Câbles normalisés . . . . .	480
15.3	Câbles d'extension et de compensation pour thermocouples . . . . .	481
15.3.1	Spécifications . . . . .	481
15.3.2	Protection contre les parasites . . . . .	481
15.4	Câbles d'instrumentation . . . . .	485
15.4.1	Spécifications . . . . .	485
15.4.2	Protection contre les parasites . . . . .	485
15.5	Réalisation « classique » des liaisons entre site et local technique . . . . .	485
15.5.1	Schéma général . . . . .	485
15.5.2	Boîtes de jonction . . . . .	485
15.5.3	Borniers en local technique . . . . .	491
15.5.4	Chemineaux . . . . .	491
15.5.5	Mise à la terre des écrans et des armures . . . . .	494
15.5.6	Protection contre les effets indirects de la foudre . . . . .	497
15.6	Câbles et câblages en sécurité intrinsèque . . . . .	499
15.6.1	Intégrité du système . . . . .	499
15.6.2	Borniers . . . . .	500

15.6.3	Câbles à utiliser . . . . .	
15.6.4	Pose des câbles . . . . .	
15.6.5	Repérage des matériels et des câbles SI . . . . .	
15.6.6	Cas des réseaux de terrain . . . . .	

**ANNEXES . . . . .**

A.1	Alphabet grec (symboles) . . . . .	
A.2	Principales unités SI et unités pratiques . . . . .	
A.3	Propriétés de quelques éléments et corps composés . . . . .	
A.4	Viscosité dynamique de quelques gaz . . . . .	
A.5	Propriétés de l'eau . . . . .	
A.5.1	Masse volumique de l'eau . . . . .	
A.5.2	Viscosité dynamique de l'eau . . . . .	
A.5.3	Pression absolue de la vapeur . . . . .	
A.5.4	Masse volumique de la vapeur saturée . . . . .	
A.5.5	Masse volumique de la vapeur surchauffée . . . . .	
A.5.6	Viscosité dynamique de la vapeur surchauffée . . . . .	
A.6	Propriétés des hydrocarbures . . . . .	
A.6.1	Masse volumique des hydrocarbures liquides . . . . .	
A.6.2	Correction de la masse volumique des produits pétroliers selon ASTM D 1250 . . . . .	
A.6.3	Viscosité cinématique des hydrocarbures liquides – Calcul . . . . .	
A.6.4	Viscosité dynamique de quelques hydrocarbures gazeux . . . . .	
A.7	Masse volumique des gaz – Facteur de compressibilité . . . . .	
A.8	Dimensions des tubes en acier sans soudure . . . . .	
A.9	Calcul des pertes de charge dans les conduites cylindrique	

**INDEX . . . . .**