

1	Sécurité au travail et protection de la santé	15	3.5.2	Piles (éléments primaires).....	65
1.1	Sécurité et protection de la santé sur le lieu de travail.....	15	3.5.3	Accumulateurs (éléments secondaires).....	67
1.2	Loi sur la sécurité des produits.....	15		Repeter - Appliquer - Approfondir : circuits de base.....	70
1.3	Ordonnance sur les produits dangereux.....	16	4	Champ électrique.....	71
1.4	Signalétique de sécurité.....	17	4.1	Propriétés du champ électrique.....	71
1.5	Premiers secours.....	18	4.2	Connaissances de base.....	72
	Conseil pratique : évaluation des risques.....	19	4.2.1	Intensité du champ électrique.....	72
	Repéter - Appliquer - Approfondir : sécurité au travail.....	20	4.2.2	Influence électrique et polarisation.....	72
			4.2.3	Champs électriques dans la pratique.....	73
2	Notions de base de l'électrotechnique ...	21	4.3	Condensateur en courant continu.....	74
2.1	Utilisation des grandeurs physiques.....	21	4.3.1	Comportement d'un condensateur.....	74
	Masse et force.....	21	4.3.2	Capacité d'un condensateur.....	74
	Travail mécanique.....	22	4.3.3	Charge et décharge d'un condensateur.....	76
	Energie.....	22	4.3.4	Energie du condensateur chargé.....	77
	Puissance mécanique.....	22	4.4	Branchements de condensateurs.....	78
2.2	Genres de circuits électriques.....	23	4.4.1	Branchement parallèle.....	78
	Circuit électrique à courant continu.....	24	4.4.2	Branchement série.....	78
	Symboles pour schémas électriques.....	25	4.5	Valeurs nominales et types de construction des condensateurs.....	79
2.3	Charge électrique (quantité d'électricité).....	26	4.5.1	Valeurs nominales.....	79
	Les atomes selon le modèle atomique de Bohr.....	27	4.5.2	Types de construction.....	79
2.4	Tension électrique.....	28		Repéter - Appliquer - Approfondir : champ électrique.....	81
2.4.1	Production de tension.....	28	5	Champ magnétique.....	82
2.4.2	Tension au consommateur.....	28	5.1	Propriétés et représentations des aimants.....	82
2.4.3	Potentiel.....	28	5.2	Electromagnétisme.....	84
2.4.4	Diverses façons de produire de la tension.....	29	5.2.1	Courant dans un conducteur et champ magnétique.....	84
2.4.5	Mesure de tensions électriques.....	30	5.2.2	Courant dans une bobine et champ magnétique.....	85
2.5	Courant électrique.....	31	5.3	Grandeurs magnétiques.....	86
2.5.1	Courant dans les métaux.....	32	5.3.1	Flux magnétique Φ	86
2.5.2	Mesure de l'intensité du courant.....	32	5.3.2	Excitation électrique Θ	86
2.5.3	Effets du courant électrique.....	33	5.3.3	Intensité du champ magnétique H	87
2.5.4	Types de courant.....	34	5.3.4	Densité du flux magnétique B	87
2.5.5	Densité de courant.....	35	5.4	Fer dans le champ magnétique d'une bobine.....	88
2.6	Conductance et résistance électrique.....	36	5.5	Courant et champ magnétique.....	91
2.7	Loi d'Ohm.....	37	5.5.1	Conducteur de courant dans un champ magnétique.....	91
2.8	Résistance des conducteurs.....	38	5.5.2	Bobine et courant dans un champ magnétique.....	93
2.9	Température et résistance.....	39	5.5.3	Conducteurs de courant parallèles.....	93
2.10	Technologie des résistances.....	40	5.6	Génération de tension par induction.....	94
2.11	Travail et énergie électrique.....	42	5.6.1	Principe du générateur (induct. par mouvement).....	94
2.11.1	Récupération d'énergie électrique.....	42	5.6.2	Loi de Lenz.....	95
2.11.2	Travail électrique.....	43	5.6.3	Principe du transformateur (induct. électromagn.).....	96
2.12	Puissance électrique.....	44		Auto-induction (self-induction).....	98
2.13	Rendement.....	46		Courants de Foucault.....	99
2.14	Chaleur électrique.....	47		Repéter - Appliquer - Approfondir : champ magnétique.....	100
	Repéter - Appliquer - Approfondir : concepts de base du génie électrique.....	48	6	Technique de commande.....	101
3	Circuits de base de l'électrotechnique....	49	6.1	Documents techniques.....	101
3.1	Circuit série.....	49		Conseil pratique : installation d'un circuit alternatif avec prise de courant.....	103
3.1.1	Lois du circuit série.....	49	6.2	Circuits d'installation.....	104
3.1.2	Résistance additionnelle.....	51	6.2.1	Circuits d'éclairage.....	104
3.1.3	Chute de tension en ligne.....	52	6.2.2	Circuit de lampes témoins.....	106
3.2	Circuit parallèle.....	53	6.2.3	Télérupteur.....	107
3.3	Circuit mixte.....	55	6.2.4	Détecteur de mouvement à infrarouge.....	107
3.3.1	Diviseur de tension.....	55	6.2.5	Minuterie d'escaliers.....	108
3.3.2	Circuit en pont.....	57	6.2.6	Sonnerie domestique.....	108
3.3.2.1	Circuit en pont équilibré.....	57	6.2.7	Interphones domestiques.....	109
3.3.2.2	Circuit en pont non équilibré.....	58	6.3	Interrupteurs électromagnétiques.....	111
3.3.3	Déterminer la résistance par la mesure de tension et de courant.....	59	6.3.1	Relais.....	112
3.4	Source de tension.....	60	6.3.2	Contacteurs.....	114
3.4.1	Charge et source de tension.....	60	6.3.3	Circuits à contacteurs.....	115
3.4.2	Schéma équivalent d'une source de tension.....	61	6.3.3.1	Application des circuits à contacteurs.....	116
3.4.3	Adaptation.....	61	6.4	Schémas de borniers.....	121
3.4.4	Branchement de sources de tension.....	63			
3.5	Eléments galvaniques.....	64			
3.5.1	Transformation d'énergie chimique en énergie électrique.....	64			

6.5	Equipement électrique des machines	122	7.10.2	Dimensionnement des condensateurs de compensation	165
	Conseil pratique : exigences relatives aux circuits de commande	124	7.10.3	Circuits bloquants pour fréquence de télécommande	165
	Répéter - Appliquer - Approfondir : technologie des circuits	125	7.10.4	Compensation pour courant non sinusoïdaux Répéter - Appliquer - Approfondir : technologie du courant alternatif	166 167
7	Courant alternatif	126	8	Technique de mesure	168
7.1	Grandeurs spécifiques au courant alternatif	126	8.1	Instrument de mesures électriques	168
7.1.1	Période et valeur crête	126	8.1.1	Bases de la technique de mesure	168
7.1.2	Fréquence et période	126	8.1.2	Types d'affichage des instruments de mesure	169
7.1.3	Fréquence et longueur d'onde	127	8.1.3	Instruments de mesure analogiques	169
7.2	Grandeurs sinusoïdales	128	8.1.3.1	Erreurs de mesures pour les instruments analogiques	170
7.2.1	Représentation vectorielle des grandeurs sinusoïdales	128	8.1.3.2	Dispositifs de mesure	171
7.2.2	Pulsation	129	8.1.4	Instruments numériques	172
7.2.3	Génération de tensions sinusoïdales	129	8.1.5	Compteurs électriques	174
7.2.4	Valeur crête et valeur efficace en régime sinusoïdale	130	8.1.5.1	Compteurs à induction	174
7.2.5	Tracé temporel des valeurs alternatives	131	8.1.5.2	Compteurs électronique	175
7.2.6	Tensions et courants non-sinusoïdaux	132	8.2	Pratiques de mesures	176
7.2.7	Déphasage	133	8.2.1	Mesures de puissance	176
7.2.8	Résistance	133	8.2.2	Mesures de résistance	176
7.2.9	Impédance	133	8.2.3	Mesures avec pince ampèremétrique	177
7.3	Bobine en courant alternatif	134	8.2.4	Catégories de mesure	177
7.3.1	Réactance d'induction	134		Conseil pratique : mesure avec le multimètre numérique	178
7.3.2	Branchement en série d'une résistance et d'une réactance d'induction	135		Conseil pratique : mesure efficace de la valeur non sinusoïdale	179
7.3.3	Triangle des tension	136	8.3	Oscilloscope	180
7.3.4	Triangle des résistances	137	8.3.1	Oscilloscope analogique	180
7.3.5	Angle de perte, facteur de perte et facteur de qualité d'une bobine	137	8.3.1.1	Structure d'un oscilloscope analogique	180
7.3.6	Circuit en parallèle d'une résistance et d'une réactance d'induction	138	8.3.1.2	Oscilloscope à deux canaux	182
7.3.7	Triangle des courants et des conductances	138	8.3.1.3	Mesures à l'aide d'un oscilloscope	182
7.4	Puissances dans un circuit à courant alternatif	139	8.3.2	Oscilloscope à mémoire numérique	183
7.4.1	Puissance active	139		Conseil pratique : mesurer avec un oscilloscope	184
7.4.2	Puissance réactive	139	8.4	Mesures de valeurs non électriques à l'aide de capteurs	185
7.4.3	Puissance apparente	140	8.4.1	Capteurs actifs et passifs	185
7.4.4	Relation entre puissances apparente, active et réactive	141	8.4.2	Applications des capteurs	186
7.4.5	Facteur de puissance active et réactive	142	8.4.2.1	Capteurs de position et d'angle	186
7.4.6	Puissance perdue dans les bobines réelles	142	8.4.2.2	Capteurs de mesure de dilatation, de force, de pression et de couple	188
7.5	Condensateur dans un circuit alternatif	143	8.4.2.3	Sondes de température	189
7.5.1	Réactance capacitive	143	8.4.3	Détecteurs de proximité	190
7.5.2	Circuit en série d'une résistance et d'une réactance de capacité	144	8.4.3.1	Détecteurs de proximité optiques	190
7.5.3	Circuit parallèle d'une résistance et d'une réactance de capacité	145	8.4.3.2	Détecteurs de proximité inductifs	190
7.5.4	Angle de perte et facteur de qualité du condensateur	146	8.4.3.3	Détecteurs de proximité capacitifs	191
7.6	Circuit bobine, condensateur et résistance	147	8.4.3.4	Raccordements des détecteurs de proximité	191
7.6.1	Circuit série de résistance, réactance inductive et réactance capacitive	147		Répéter - Appliquer - Approfondir : technique de mesure	192
7.6.2	Circuit parallèle de résistance, réactance inductive et réactance capacitive	148	9	Electronique	193
7.7	Circuits oscillants	149	9.1	Semi-conducteurs	193
7.7.1	Résonance	150	9.2	Résistances semi-conductrices	195
7.7.2	Circuit oscillant série	150	9.2.1	Résistances dépendant de la tension (varistances)	195
7.7.3	Circuit oscillant parallèle	151	9.2.2	Thermistances (NTC)	196
7.8	Circuits filtrants	153	9.2.3	Thermistances (PTC)	197
7.8.1	Passe-bas RL	153	9.2.4	Magnétorésistances (MDR)	199
7.8.2	Passe-haut RL	153	9.3	Sondes à effet Hall	199
7.8.3	Passe-bas RC	154	9.4	Diodes	200
7.8.4	Passe-haut RC	154	9.4.1	Principe de fonctionnement	200
7.9	Courant alternatif triphasé	155	9.4.2	Diodes de puissance	200
7.9.1	Production du courant triphasé	155	9.4.3	Diodes Z	201
7.9.2	Couplage	155	9.4.4	Codage des semi-conducteurs	202
7.9.3	Couplage étoile (symbole : Y)	157	9.4.5	Refroidissement des composants semi-conducteurs	203
7.9.4	Couplage triangle (symbole : Δ)	159	9.5	Transistors	204
7.9.5	Conducteur défaillant dans un système triphasé	160	9.5.1	Transistors bipolaires	204
7.9.6	Puissance en triphasé	161	9.5.1.1	Transistors dans la pratique	206
7.9.7	Mesure de puissance dans un système triphasé	162	9.5.1.2	Réglage du point de fonctionnement	207
7.10	Compensation	163	9.5.1.3	Stabilisation du point de fonctionnement	208
7.10.1	Genres de compensations	164	9.5.1.4	Transistor en tout ou rien (TOR)	209
			9.5.1.5	Bacules (multivibrateurs)	211

9.5.1.6	Amplificateurs.....	213	9.9.10	Blocs d'alimentation.....	272
9.5.2	Transistors à effet de champ (FET).....	215	9.9.10.1	Alimentations régulées.....	272
9.6	Optoélectronique.....	218	9.9.10.2	Régulateur linéaire de tension.....	273
9.6.1	Émetteurs optoélectroniques.....	218	9.9.10.3	Alimentations à découpage.....	273
9.6.2	Récepteurs optiques (détecteurs.....)	220		Répéter - Appliquer - Approfondir : électronique.....	274
9.6.3	Afficheurs à cristaux liquides (LCD).....	222			
9.6.4	Optocoupleur (photocoupleur).....	222			
9.7	Amplificateur opérationnel.....	223			
9.7.1	Notions de base.....	223			
9.7.2	Circuits analogiques à amplificateurs opérationnels.....	225			
9.7.3	Circuits numériques avec amplificateurs opérationnels.....	227			
9.8	Technique numérique.....	229			
9.8.1	Types de signaux en technique numérique et de commande.....	229			
9.8.2	Fonctions logiques.....	229			
9.8.2.1	Fonction ET.....	229			
9.8.2.2	Fonction OU.....	230			
9.8.2.3	Fonction NON.....	230			
9.8.3	Fonctions logiques avec entrée ou sortie inversée.....	231			
9.8.3.1	Fonctions à sorties inversées.....	231			
9.8.3.2	Fonctions à entrées inversées.....	231			
9.8.3.3	Branchement des entrées de fonctions logiques.....	232			
9.8.3.4	Application des fonctions logiques.....	232			
9.8.4	Familles de circuits intégrés logiques.....	233			
9.8.4.1	Circuits TTL.....	233			
9.8.4.2	Circuits CMOS.....	233			
9.8.5	Algèbre logique ou de Boole.....	234			
9.8.6	Fonction d'antivalence et d'équivalence.....	235			
9.8.7	Multivibrateurs.....	236			
9.8.7.1	Bascules et bistables.....	236			
9.8.7.2	Bascule JK maître-esclave.....	237			
9.8.7.3	Circuits avec bascules.....	238			
9.8.8	Convertisseurs analogique-numérique (AD converter).....	239			
9.8.9	Convertisseurs numérique-analogique (DA converter).....	241			
9.9	Électronique de puissance.....	242			
9.9.1	Composants de l'électronique de puissance ..	242			
9.9.1.1	Thyristor.....	242			
9.9.1.2	Thyristor GTO.....	245			
9.9.1.3	Triac.....	245			
9.9.1.4	Diac.....	246			
9.9.1.5	IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).....	247			
9.9.2	Notions d'électronique de puissance.....	248			
9.9.3	Circuits redresseurs.....	249			
9.9.3.1	Redresseurs non commandés.....	249			
9.9.3.2	Redresseurs commandés.....	254			
9.9.4	Fonctionnement d'un convertisseur de courant en onduleur.....	257			
9.9.5	Convertisseurs de fréquence.....	258			
9.9.5.1	Circuit de commutation ACW1C.....	258			
9.9.5.2	Commande à train d'ondes.....	259			
9.9.6	Convertisseur DC.....	260			
9.9.6.1	Hacheur DC.....	260			
9.9.6.2	Convertisseurs à récupération d'énergie.....	261			
9.9.6.3	Modes de régulation pour convertisseurs DC.....	261			
9.9.7	Onduleurs auto-commandés.....	262			
9.9.8	Systèmes d'alimentation sans coupure (UPS).....	263			
9.9.9	Convertisseurs pour entraînements électriques.....	264			
9.9.9.1	Mode de fonctionnement des entraînements électriques.....	264			
9.9.9.2	Moteur à courant continu et convertisseur à thyristor.....	265			
9.9.9.3	Moteur DC et circuit en pont à six impulsions B6C.....	266			
9.9.9.4	Moteur DC en fonctionnement à quatre quadrants (4Q).....	266			
9.9.9.5	Régulation de vitesse avec convertisseur DC à transistors.....	267			
9.9.9.6	Convertisseurs de fréquence.....	268			
9.9.9.7	Moteur asynchrone triphasé et convertisseur de fréquence.....	269			
9.9.9.8	Choix d'un entraînement triphasé avec convertisseur de fréquence.....	270			
	Conseil pratique : convertisseur de fréquence.....	271			
			10	Production, installation et consommation.....	275
			10.1	Production et distribution d'énergie.....	275
			10.1.1	Centrales électriques.....	275
			10.1.1.1	Centrales thermiques.....	276
			10.1.1.2	Protection de l'environnement dans les centrales thermiques.....	277
			10.1.1.3	Centrale thermique en montage-bloc (CTMB).....	278
			10.1.1.4	Centrales hydroélectriques.....	279
			10.1.1.5	Energies renouvelables.....	280
				Conseil pratique : conception et dimension- nement d'un système photovoltaïque.....	283
			10.1.2	Gestion de l'énergie dans les réseaux intelligents (Smart Grid).....	285
			10.1.2.1	Smart Grid dans les bâtiments.....	286
			10.1.2.2	Système de stockage d'énergie.....	286
			10.1.3	Sous-stations.....	287
			10.1.3.1	Niveaux de tension.....	287
			10.1.3.2	Postes de transformation.....	287
			10.1.3.3	Dispositifs de commutation et de sectionnement à haute tension.....	288
			10.1.4	Réseaux de transport et de distribution.....	290
			10.1.4.1	Réseaux à très haute tension.....	290
			10.1.4.2	Types de réseaux.....	291
			10.1.5	Systèmes basse tension.....	292
			10.1.5.1	Structure du réseau.....	292
			10.1.5.2	Introduction des bâtiments.....	293
			10.1.5.3	Systèmes de mise à la terre.....	295
			10.1.5.4	Conducteur d'équipotentialité de protection et barre principale de terre.....	296
			10.1.5.5	Systèmes d'alimentation électrique principale.....	297
				Conseil pratique : armoire à compteurs.....	299
				Conseil pratique : systèmes électriques des résidences.....	302
			10.1.6	Compatibilité électromagnétique et système TN.....	303
			10.2	Lignes isolées, câbles et lignes aériennes.....	306
			10.2.1	Câbles isolés.....	306
				Conseil pratique : codage couleur des conducteurs.....	309
			10.2.2	Câbles pour installations moyenne et basse tension.....	310
			10.2.3	Lignes aériennes pour installation haute et moyenne tension.....	310
			10.2.4	Câbles de données.....	311
				Conseil pratique : pose de câbles.....	312
			10.3	Protection des câbles électriques et des consommateurs.....	314
			10.4	Disjoncteur.....	317
			10.4.1	Déclencheur thermique.....	317
			10.4.2	Déclencheur électromagnétique.....	317
			10.4.3	Disjoncteur de ligne.....	318
			10.4.4	Disjoncteur principal sélectif.....	318
			10.4.5	Disjoncteur de protection incendie (AFDD).....	319
			10.4.6	Disjoncteurs de puissance.....	320
			10.4.7	Dispositifs de protection du moteur.....	320
			10.5	Dimensionnement des canalisations fixes.....	323
			10.5.1	Chute de tension sur les câbles.....	324
			10.5.2	Disposition des systèmes de protection contre les surintensités.....	325
				Conseil pratique : exemple de calcul de ligne.....	326
				Conseil pratique : déterminer la section du conducteur pour les courants harmoniques ..	327

10.6	Locaux et installations d'un type particulier .	329	11.12.5	Mesure de la résistance d'isolation des sols et murs isolants .	369
10.6.1	Installation électrique dans les salles d'eau .	329	11.12.6	Test de la mesure de protection : coupure automatique de l'alimentation électrique dans les systèmes TN, TT et IT .	370
10.6.2	Installations de sauna .	331	11.12.6.1	Contrôle du système TN .	370
10.6.3	Installations de chantier .	331	11.12.6.2	Contrôle du système TT .	371
10.6.4	Exploitations agricoles et horticoles .	332	11.12.6.3	Mesure de la résistance de terre .	371
10.6.5	Locaux à risque d'incendie .	333	11.12.6.4	Contrôle du système IT .	372
10.6.6	Zones à risque d'explosion .	335	11.12.6.5	Contrôle du dispositif de protection contre les courants résiduels .	372
10.6.7	Zones à usage médical .	336	11.12.6.6	Sens du champ tournant .	372
10.6.8	Alimentations pour véhicules électriques .	337	11.12.7	Contrôles périodiques d'installations électriques et d'équipements fixes .	373
10.6.8.1	Stations de recharge .	337		Conseil pratique : test des systèmes électriques	375
10.6.8.2	Connecteurs et modes de charge .	338	11.13	Protection contre les charges électrostatiques	378
10.6.8.3	Instructions de montage .	338		Répéter - Appliquer - Approfondir : mesures de protection .	379
10.6.9	Aperçu des locaux et installations d'un type particulier .	339			
10.7	Lutte contre l'incendie dans les installations électriques .	340	12	Systèmes techniques du bâtiment .	380
10.7.1	Comportement en cas d'incendie dans les installations électriques .	340	12.1	Systèmes d'éclairage .	380
10.7.2	Agents extincteurs .	340	12.1.1	Spectre de couleurs et rendu des couleurs .	381
	Répéter - Appliquer - Approfondir : systèmes électriques .	341	12.1.2	Grandeurs d'éclairage .	382
11	Mesures de protection .	342	12.1.3	Critères pour un bon éclairage .	384
11.1	Dangers liés à la manipulation du courant électrique .	342	12.1.4	Exigences en matière d'efficacité énergétique	385
11.1.1	Effets du courant électrique dans le corps humain .	342	12.1.5	Aperçu des lampes .	386
11.1.2	Contact direct et indirect .	344	12.1.6	Lampes halogènes .	387
11.1.3	Termes techniques, mesures de protection .	344	12.1.7	Lampes fluorescentes .	389
11.2	Consignes de sécurité pour les installations basse tension .	345	12.1.8	Ballasts pour lampes fluorescentes .	390
11.2.1	Classes de protection .	345	12.1.9	Lampes à induction .	391
11.2.2	Indices de protection IP .	346	12.1.10	Lampes à vapeur de sodium basse pression .	391
11.2.3	Mesures à prendre en cas de travaux sur des installations électriques .	347	12.1.11	Lampes LED .	391
11.2.4	Qualifications pour travailler dans le domaine de l'électrotechnique .	348		Conseil pratique : remplacer l'éclairage halogène par un éclairage LED .	392
11.2.5	Types de défauts dans les systèmes électriques	349		Conseil pratique : déterminer le nombre de lampes .	393
11.2.6	Tensions de défaut .	349	12.1.12	Logiciel de calcul de l'éclairage .	394
11.3	Systèmes réseaux .	350	12.1.13	Répartition de l'intensité lumineuse des luminaires .	394
11.4	Protection contre les chocs électriques .	351	12.1.14	Systèmes de gestion d'éclairage .	395
11.5	Arrêt automatique de l'alimentation électrique	352	12.2	Appareils électriques .	396
11.5.1	Exigences relatives à la protection de base (contact direct) .	352	12.2.1	Généralités sur les appareils électriques .	396
11.5.2	Exigences relatives à la protection contre les défauts (contact indirect) .	353	12.2.2	Chaque-eaux électriques .	397
11.5.3	Protection dans le système TN .	354	12.2.3	Chauffage électrique des locaux .	399
11.5.4	Protection dans le système TT .	355	12.2.4	Appareils électriques pour le stockage et la préparation des aliments .	403
11.5.5	Protection dans le système IT .	356		Appareils électriques pour la lessive et la vaisselle	407
11.6	Isolation double ou renforcée .	357	12.2.5	Lave-linge .	407
11.7	Protection par séparation galvanique .	357	12.2.5.1	Sèche-linge .	408
11.8	Protection par très basse tension via SELV ou PELV .	358	12.2.5.2	Lave-vaisselle .	409
11.9	Dispositifs de protection contre les courants résiduels .	359	12.2.5.3	Compatibilité électromagnétique (CEM) des équipements électriques .	410
11.9.1	Structure et fonction .	359	12.2.6	Test d'appareils électriques après réparation et modification .	412
11.9.2	Applications des DDR .	360	12.2.7	Répéter les essais sur les équipements électriques	414
11.9.3	Valeurs caractéristiques des DDR .	361	12.3	Systèmes d'antennes et distribution .	415
11.9.4	Choix et utilisation des DDR .	361	12.3.1	Mode de fonctionnement des antennes .	415
11.9.5	DDR en protection incendie .	363	12.3.2	Antennes de réception .	416
11.10	Contrôleurs d'isolement à courant différentiel résiduel .	363	12.3.3	Gain, atténuation et niveau .	418
11.11	Mesures de protection pour les installations qui ne sont exploitées et surveillées que par du personnel qualifié .	364	12.3.4	Structure d'antennes .	419
11.12	Contrôle des mesures de protection .	365	12.3.5	Systèmes de réception de télévision par satellite .	420
11.12.1	Essais initiaux d'installations et d'équipements électriques fixes .	366		Conseil pratique : réception numérique par satellite .	423
11.12.2	Contrôle des conducteurs de protection et équipotentiels de protection .	368	12.3.6	Système de réception DVB-T2 HD (TNTT2 HD)	424
11.12.3	Mesure de la résistance d'isolement dans les installations électriques .	368	12.3.7	Équipements de communication à haut débit ou large bande .	424
11.12.4	Contrôle des mesures de protection SELV, PELV et séparation de protection .	369	12.3.8	Calcul d'un système d'antenne de réception .	425
			12.3.9	Montage de systèmes d'antennes de réception	426
				Conseil pratique : câblage multimédia dans le séjour .	428
			12.4	Technologie all-IP .	429
			12.4.1	Bases du all-IP .	429
			12.4.2	Technologie de connexion .	430

12.4.3	Technologie VoIP	431
	Conseil pratique : choix et raccordement d'un routeur DSL	432
12.4.4	RNIS (ISDN) connexion all-IP	433
12.5	Automatisation des bâtiments	434
12.5.1	Technique de gestion des bâtiments	434
12.5.2	Réseaux domestiques	435
	Conseil pratique : programmer un projet KNX	439
	Conseil pratique : convertir une commande de stores en KNX	441
	Conseil pratique : la maison en réseau	442
12.5.3	Automatisation des bâtiments avec visualisation	444
12.6	Systèmes de sécurité	445
12.6.1	Spécifications générales	445
12.6.2	Systèmes de sécurité incendie	446
12.6.3	Détection d'effraction	448
12.6.4	Systèmes contre les braquages	450
	Conseil pratique : système d'alarme anti-effraction	451
	Conseil pratique : installation de détecteurs de fumée	452
12.7	Protection contre la foudre	453
12.7.1	Origine de la cellule orageuse	453
12.7.2	Effets du courant de foudre	453
12.7.3	Protection contre la foudre	453
12.7.3.1	Protection externe contre la foudre	454
12.7.3.2	Protection interne contre la foudre	455
12.7.3.3	Distance de séparation	456
	Répéter - Appliquer - Approfondir : technologie du bâtiment	458

13 **Machines électriques** 459

13.1	Transformateurs	460
13.1.1	Transformateur monophasé	460
13.1.1.1	Conception et fonctionnement	460
13.1.1.2	Tension à vide	460
13.1.1.3	Rapports	461
13.1.1.4	Comportement et fonctionnement à vide	462
13.1.1.5	Comportement en charge	462
13.1.1.6	Comportement en cas de court-circuit	463
13.1.1.7	Courant de court-circuit et courant d'appel	464
13.1.1.8	Rendement des transformateurs	465
13.1.2	Petits transformateurs	466
13.1.2.1	Construction	466
13.1.2.2	Types de petits transformateurs	467
13.1.2.3	Tension d'essai pour petits transformateurs	468
13.1.3	Transformateurs spéciaux	469
13.1.3.1	Autotransformateurs	469
13.1.3.2	Transformateurs à shunt magnétique	470
13.1.4	Transformateurs de mesure	470
13.1.4.1	Transformateur de tension ou de potentiel (TP)	470
13.1.4.2	Transformateur de courant ou d'intensité (TI)	471
13.1.5	Transformateurs triphasés	472
13.1.5.1	Structure et principe	472
13.1.5.2	Couplages	473
13.1.5.3	Charge asymétrique	475
13.1.5.4	Types de couplages communs	476
13.1.6	Mise en parallèle des transformateurs	477
13.2	Machines électriques tournantes	478
13.2.1	Bases	478
13.2.1.1	Puissance et couple	478
13.2.1.2	Construction de machines tournantes	479
13.2.1.3	Plaque d'identification	479
13.2.1.4	Sens de rotation	479
13.2.1.5	Types de services des machines électriques	480
13.2.1.6	Refroidissement des machines électriques	481
13.2.1.7	Formes et dimensions des machines électriques tournantes	482
13.2.1.8	Isolation électrique	482
13.2.2	Moteurs asynchrones triphasés	483
13.2.2.1	Champ tournant	483
13.2.2.2	Moteur à cage d'écureuil	484
13.2.2.3	Démarrage des moteurs à cage d'écureuil	487

13.2.2.4	Moteur à bagues collectrices (ou à rotor bobiné)	489
13.2.2.5	Moteurs à commutation de pôles	490
	Conseil pratique : connexion d'un moteur triphasé	491
	Aperçu de la formule du moteur asynchrone triphasé	492
	Conseil pratique : choix d'un moteur électrique	493
13.2.2.6	Fonction de freinage des moteurs asynchrones triphasés	495
13.2.2.7	Moteur triphasé alimenté en monophasé (branchement de Steinmetz)	496
13.2.2.8	Moteur asynchrone monophasé	497
13.2.3	Moteurs linéaires triphasés	498
13.2.4	Moteur synchrone	499
13.2.5	Moteurs spéciaux	500
13.2.5.1	Moteurs à pôles bagués	500
13.2.5.2	Moteur à réluctance	501
13.2.5.3	Moteurs pas à pas	501
13.2.6	Génératrice synchrone	504
13.2.7	Moteurs à collecteur	506
13.2.7.1	Structure des moteurs à courant continu	506
13.2.7.2	Mode de fonctionnement	507
13.2.7.3	Champ perpendiculaire et réaction d'induit	508
13.2.7.4	Désignation des connexions	509
13.2.7.5	Types de moteurs à courant continu	510
13.2.7.6	Démarrage de moteurs DC	512
13.2.7.7	Contrôle de la vitesse des moteurs DC	513
13.2.7.8	Moteur universel	514
13.2.8	Servomoteurs	515
13.2.8.1	Servomoteur à courant continu	516
13.2.8.2	Servomoteur triphasé	516
13.2.9	Entretien et teste des machines électriques	519
	Répéter - Appliquer - Approfondir : machines électriques	520

14 **Technique de l'information** 521

14.1	Domaines des technologies de l'information	521
14.2	Ordinateurs, programmes et périphériques	522
14.2.1	Composants et fonctionnalités d'un ordinateur	522
14.2.2	Hardware, Software et Firmware	523
14.2.3	Système informatique	523
14.3	Micro-ordinateur	524
14.4	Ordinateur personnel (PC)	525
14.4.1	Composants d'un PC	525
14.4.2	Microprocesseur (CPU)	526
14.4.3	Mémoire à semi-conducteurs	527
14.4.4	Communication par bus	528
14.4.5	Unité d'entrée et de sortie	528
	Conseil pratique : sélection d'une carte mère pour PC	529
14.5	Dispositifs d'entrée, de sortie et de stockage	530
14.5.1	Dispositifs d'entrée	530
14.5.2	Dispositifs de sortie	530
14.5.2.1	Imprimantes	530
14.5.2.2	Ecrans ou moniteurs couleur	531
14.5.3	Dispositifs périphériques pour le stockage des données	532
	Conseil pratique : travaux de maintenance sur PC	533
14.6	Logiciel (Software)	534
14.6.1	Programmes du système	534
14.6.2	Programmes d'application	535
14.6.3	Développement de logiciels	536
14.7	Réseaux informatiques	537
14.7.1	Services dans les réseaux informatiques	537
14.7.2	Topologies des réseaux	537
14.7.3	Composants d'un réseau local (LAN), topologie en étoile	538
14.7.4	Protocole de réseau	539
14.7.5	Réseau mondial Internet	540
	Conseil pratique : connecter deux PC via un réseau	541

	Conseil pratique : établir une connexion WLAN avec un réseau	542	16.2.1.1	Jonctions électriques déconnectables	602
14.8	Sécurité et protection des données et droits d'auteur	543	16.2.1.2	Jonctions électriques permanentes	602
14.9	Programmes malveillants (malware)	543	16.2.2	Circuits imprimés	605
	Répéter - Appliquer - Approfondir : technique de l'information	544	16.2.3	Technologie SMD ou CMS	607
15	Technique d'automatisation	545	16.3	Protection de l'environnement	608
15.1	Technique de commande	545	16.3.1	Réglementation de la protection de l'environnement dans l'électrotechnique	608
15.1.1	Commande	545	16.3.2	Protection de l'environnement en entreprise	609
15.1.1.1	Termes techniques de la commande	545	16.3.3	Recyclage et élimination des déchets	610
15.1.1.2	Types de commandes	546	16.4	Economies d'énergie	612
15.2	Relais logiques	548	16.4.1	Utilisation rationnelle de l'énergie	612
15.3	Automate programmable (API)	550	16.4.2	Mode veille	614
15.3.1	Construction	550	16.4.3	Conseils d'économie d'énergie	615
15.3.2	Langages de programmation	551		Répéter - Appliquer - Approfondir : matériaux, fabrication, environnement	616
15.3.3	Fonctionnement d'un API	551	17	Profession / entreprise	617
15.3.4	Structure en blocs dans STEP 7	553	17.1	Compétence d'action	617
15.3.5	Programmation	554		Conseil pratique : comportement et style	
15.3.5.1	Liens de base	554	17.1.1	au travail	618
15.3.5.2	Contacts d'ouverture et de fermeture	555	17.1.2	Travail d'équipe (team)	620
15.3.5.3	Fonctions de mémoire	557	17.1.3	Méthodes de travail et planification du temps	621
15.3.5.4	Fonctions temporelles	559	17.1.4	Communication	622
15.3.5.5	Compteurs	560	17.1.5	Techniques de créativité	623
15.3.5.6	Comparateurs	562		Acquisition d'informations	624
15.3.6	Séquenceurs	563	17.2	Présentation	625
15.3.6.1	Genres de séquenceurs	563	17.2.1	Tâches de présentation et préparation	625
15.3.6.2	Modes de fonctionnement	563	17.2.2	Visualisation	626
15.3.6.3	Chaîne de séquences (structure)	564	17.2.3	Faire une présentation	627
15.3.6.4	Chaînes de séquences avec embranchements	565	17.3	Gestion de projet	628
15.3.6.5	Programmation d'une chaîne de processus avec un API	566	17.3.1	Tâches des projets	628
15.3.7	Blocs de bibliothèques	567	17.3.2	Phases du projet	629
	Conseil pratique : créer un projet S7	570	17.4	Commande et service à la clientèle	630
15.3.8	Sécurité des machines	572	17.4.1	Attentes et relations avec les clients	630
15.3.8.1	Catégories de sécurité (niveau de performance)	572	17.4.2	Phases d'une commande	631
15.3.8.2	Parties liées à la sécurité	572	17.4.3	Service clientèle	633
15.3.8.3	Actions en cas d'urgence (arrêt d'urgence, coupure d'urgence)	573	17.5	Calcul d'une offre	634
15.3.9	Systèmes de bus	574	17.5.1	Calcul en entreprise industrielle	635
15.3.9.1	Bus de terrain	574	17.5.2	Calcul des services	636
15.4	Visualisation des processus	578	17.5.3	Calcul dans l'artisanat	637
15.5	Technique de régulation	580	17.5.4	Facturation	638
15.5.1	Tâches et notions	580	17.6	Gestion de la qualité	639
15.5.2	Systèmes régulés	581	17.6.1	Objectifs de la gestion de la qualité	639
15.5.2.1	Comportement statique des systèmes régulés	581	17.6.2	Série de normes EN ISO 9000 etc.	639
15.5.2.2	Comportement dynamique des systèmes régulés	582	17.6.3	Méthode TQM	640
15.5.3	Régulateur	585	17.6.4	Outils de la qualité	641
15.5.3.1	Régulateurs discontinus	585		Conseil pratique : création d'une entreprise	642
15.5.3.2	Régulateurs continus	587		Répéter - Appliquer - Approfondir : profession et entreprise	643
15.5.4	Boucle de régulation	591		résultats des calculs de révision	644
15.5.4.1	Comportement aux oscillations	591	Info	645	
15.5.4.2	Choix du régulateur	591		Répertoire d'entreprises	645
15.5.4.3	Réglage du régulateur	592		Symboles électriques	646
15.5.5	Régulateur universel	593		Symboles électrotechniques importants	652
	Conseil pratique : projet de régulation	594		Marques de conformité, symboles et logos importants	653
	Répéter - Appliquer - Approfondir : technique d'automatisation	595		Marquage des résistances et des condensateurs	654
16	Matériaux, procédés de fabrication, protec. de l'environnement et écon. d'énergie	596		Caractéristiques de déclenchement des dispositifs de protection contre les surintensités	655
16.1	Matériaux en électrotechnique	596		Types d'installation des câbles et conducteurs isolés, section minimale des conducteurs	656
16.1.1	Conducteurs et matériaux de contact	597		Capacité de charge en courant, facteurs de conversions pour câbles et conducteurs isolés	657
16.1.1.1	Matériaux conducteurs	597		Données de fonctionnement des moteurs triphasé à cage d'écureuil	658
16.1.1.2	Matériau de contact	598		Diodes	659
16.1.2	Matériaux isolants	599		Transistor NPN	660
16.1.2.1	Propriétés électriques des matériaux isolants	599		Thyristor, Triac	661
16.1.2.2	Isolants inorganiques et organiques	600		Glossaire : Français - Allemand - Anglais	662
16.1.2.3	Isolants liquides et gazeux	601			
16.2	Processus de production	602			
16.2.1	Connexions (jonction)	602			