

 **edf** COLLECTION EDF R&D

# Réseaux publics de distribution d'électricité

## Fonctionnement et protection

**Michel Oddi**



**L***avoisier*  
TEC & DOC

# Tables des matières

Préface .....	V
Remerciements .....	VIII
Avertissement .....	IX

## Chapitre 1

<b>Un peu d'histoire</b> .....	1
1. De l'Antiquité aux premiers balbutiements .....	1
2. L'arrivée de l'électromagnétisme et de nouvelles découvertes .....	4
3. Le règne du courant continu et les premières applications de l'électricité ..	9
3.1. Génération et force motrice .....	9
3.2. Éclairage .....	10
3.3. Premières centrales .....	11
3.4. Transport d'électricité et traction électrique .....	12
4. La controverse Edison Westinghouse .....	12
4.1. Transformateur .....	12
4.2. Génératrices et moteurs à courant alternatifs .....	14
4.3. Le courant alternatif s'impose .....	15
5. Le choix du courant alternatif triphasé .....	17
6. L'interconnexion et la nécessité de standardiser .....	17
7. Le poids de l'histoire sur les réseaux .....	18
<b>Annexe – Comparaison des systèmes mono- et triphasés</b> .....	21
1. Puissance fluctuante monophasée et puissance constante triphasée ...	21
2. Transport monophasé et triphasé .....	22
3. Champ tournant .....	22
4. Mise à disposition de deux niveaux de tensions .....	24



Chapitre 2

Rappel des principales règles électrotechniques

<b>et conventions.</b> .....	25
1. Différentes représentations des grandeurs électriques sinusoïdales. ....	25
1.1. Représentation de Fresnel .....	25
1.2. Opérateurs $j$ et $a$ .....	26
1.3. Représentation dans le plan complexe .....	27
1.4. Conventions .....	27
2. Résistances, inductances et capacités .....	27
2.1. Équations fondamentales .....	28
2.2. Équations en régime sinusoïdal .....	28
3. Transformation série parallèle .....	29
3.1. Transformation parallèle série .....	30
3.2. Transformation série parallèle .....	30
3.3. Transformation triangle étoile et étoile triangle .....	31
4. Puissance instantanée et moyenne .....	33
4.1. Puissance en mode monophasé et triphasé .....	33
4.2. Valeurs efficaces .....	34
4.3. Puissance active, réactive et apparente .....	35
5. Principaux théorèmes .....	36
5.1. Lois de Kirchhoff .....	36
5.2. Théorème de Boucherot .....	37
5.3. Théorème de superposition .....	37
5.4. Théorème de Thévenin .....	38
5.5. Théorème de Norton .....	39
5.6. Théorème de Fortescue .....	39
6. Application du théorème de Fortescue .....	41
6.1. Schéma équivalent .....	41
6.2. Équations du défaut monophasé (entre phase et terre) .....	43
6.3. Défaut biphasé isolé .....	46
6.4. Défaut biphasé et à la terre .....	48
6.5. Défaut triphasé et à la terre .....	51
6.6. Ouverture (coupure) d'une phase .....	52
7. Grandeurs caractéristiques des différentes situations de réseau déséquilibré .....	56
<b>Annexe</b> .....	57
1. Transformation d'un circuit RLC parallèle en impédance série .....	57
2. Équations des régimes déséquilibrés .....	57



## Chapitre 3

<b>Réseaux de transport et de distribution</b> .....	63
1. Les différents types de réseaux : avantages et inconvénients .....	63
1.1. Réseaux maillés .....	63
1.2. Réseaux bouclés .....	65
1.3. Réseaux arborescents .....	67
1.4. Tableau comparatif .....	68
2. Réseaux de transport et de distribution .....	69
2.1. Réseaux de transport .....	69
2.2. Réseaux de distribution .....	70
2.3. Réseaux français .....	70
3. Structure des réseaux de distribution .....	70
3.1. Postes primaires .....	70
3.2. Réseaux moyenne tension .....	72
3.3. Distribution monophasée et triphasée .....	74

## Chapitre 4

<b>Stabilité des réseaux de transport et contribution des réseaux de distribution</b> .....	75
1. Équilibre production consommation .....	76
1.1. Stabilité des alternateurs .....	76
1.2. Stabilité statique d'un alternateur .....	77
1.3. Stabilité dynamique d'un alternateur .....	78
1.4. Statisme et équilibre production consommation .....	79
2. Tension, puissance active transmissible et puissance réactive .....	81
2.1. Chute de tension et déphasage aux extrémités d'une ligne de transport .....	81
2.2. Puissance maximale transmissible .....	82
2.3. Tension et puissance réactive .....	84
3. Compensation de la puissance réactive .....	85
3.1. Réseaux de distribution .....	85
3.2. Réseaux de transport .....	86
4. Réglage de tension .....	86
4.1. Réseaux de transport .....	86
4.2. Réseaux de répartition et de distribution .....	87
5. Mécanisme des incidents de grande ampleur .....	89
5.1. Surcharges en cascade .....	89
5.2. Écroulement de tension .....	90
5.3. Écroulement de fréquence .....	91
5.4. Rupture de synchronisme .....	91
6. Défense du système .....	92
7. Contribution des réseaux de distribution .....	93



Chapitre 5

<b>Grandeurs caractéristiques, perturbations et dispositions constructives des réseaux</b> .....	95
1. Vocabulaire .....	95
1.1. Tension assignée et de service .....	96
1.2. Courant permanent admissible et de courte durée .....	96
1.3. Domaines de tension français et internationaux .....	96
1.4. Puissance de court-circuit .....	98
1.5. Pouvoir de coupure (resp. fermeture) .....	98
2. Courant de court-circuit .....	98
2.1. Calcul du courant de court-circuit .....	98
2.2. Court-circuit symétrique .....	101
2.3. Court-circuit asymétrique .....	101
2.4. Courant de crête et courant stabilisé .....	102
3. Mécanismes des surtensions .....	102
3.1. Surtensions à fréquence industrielle .....	102
3.2. Surtensions de manœuvres .....	105
3.3. Surtensions d'origine atmosphérique .....	114
4. Coordination de l'isolement .....	117
4.1. Distance d'isolement .....	118
4.2. Tenue à la fréquence industrielle .....	119
4.3. Tenue aux surtensions de manœuvres .....	119
4.4. Tenue aux surtensions atmosphériques .....	119
4.5. Conception de l'appareillage .....	119
4.6. Notion de séparation .....	120
4.7. Niveaux normés d'isolement .....	121
5. Éclateurs et parafoudres .....	126
5.1. Éclateurs .....	126
5.2. Parafoudres .....	127
5.3. Protection et installation d'un parafoudre .....	129
6. Compatibilité électromagnétique .....	137
6.1. Perturbations conduites et rayonnées .....	138
6.2. Types de couplage .....	138
6.3. Modes de propagation .....	140
6.4. Principales exigences d'immunités .....	142
6.5. Compléments .....	147
7. Principales caractéristiques électriques des ouvrages .....	149
7.1. Circuits de puissance .....	149
7.2. Matériels de contrôle commande .....	149
7.3. Essais d'acceptation de type et de routine .....	150
<b>Annexe</b> .....	151
1. Résolution des équations différentielles du second ordre .....	151



1.1.	Association de l'équation différentielle à son équation caractéristique . . . . .	151
1.2.	Solutions générales de l'équation différentielle homogène . . . . .	151
1.3.	Solution particulière et solution générale . . . . .	152
2.	Modélisation des lignes et câbles – équation des télégraphistes . . . . .	153
2.1.	Quadripôle de Kirchhoff . . . . .	153
2.2.	Équations des télégraphistes . . . . .	156
2.3.	Propagation d'une onde sur une ligne sans perte . . . . .	157
3.	Caractéristiques habituelles des câbles et lignes sous 20 kV . . . . .	158

### Chapitre 6

#### Montées en potentiel, prises et réseaux de terre, risques de choc électrique . . . . . 161

1.	Mise à la terre et comportement en basse fréquence . . . . .	162
1.1.	Électrode de terre hémisphérique . . . . .	163
1.2.	Prise de terre et réseau de terre réels . . . . .	166
1.3.	Retour du courant par une deuxième terre . . . . .	172
2.	Méthodes de mesure . . . . .	174
2.1.	Mesure de la résistivité du sol . . . . .	174
2.2.	Mesure de la résistance de terre . . . . .	177
2.3.	Choix de la méthode de mesure de terre . . . . .	181
3.	Comportement des prises et des circuits de terre en régime transitoire . . . . .	183
3.1.	Influence de l'inductance . . . . .	183
3.2.	Influence de la valeur du courant . . . . .	186
3.3.	Comportements . . . . .	186
4.	Tension de pas et de toucher : risques de chocs électriques . . . . .	187
4.1.	Impédance du corps humain . . . . .	187
4.2.	Réaction au passage d'un courant dans le corps . . . . .	188
4.3.	Réaction à une tension de contact . . . . .	189
5.	Réalisation des prises et réseaux de terre . . . . .	190
5.1.	Respect des tensions de toucher et de pas . . . . .	190
5.2.	Transfert de potentiel . . . . .	191
5.3.	Norme NF EN 50522 . . . . .	191
5.4.	Réglementations et guides pratiques . . . . .	193
5.5.	Réseaux souterrains . . . . .	195

#### Annexe – Formule des résistances de terre . . . . . 196

### Chapitre 7

#### Du magnétisme à la théorie du transformateur . . . . . 201

1.	Rappels théoriques . . . . .	201
1.1.	Champ d'induction magnétique . . . . .	202
1.2.	Loi de Lenz . . . . .	203



1.3.	Théorème d'Ampère . . . . .	203
2.	Matériaux magnétiques . . . . .	204
2.1.	Intensité de champ magnétique . . . . .	204
2.2.	Classement des matériaux magnétiques . . . . .	206
3.	Matériaux ferromagnétiques . . . . .	206
3.1.	Courbe de première aimantation . . . . .	206
3.2.	Cycle d'hystérésis . . . . .	207
3.3.	Matériaux doux et durs . . . . .	208
4.	Circuit magnétique et bobine monophasée . . . . .	209
4.1.	Force magnétomotrice et relation d'Hopkinson . . . . .	210
4.2.	Inductance et énergie magnétique . . . . .	211
4.3.	Énergie magnétique . . . . .	213
4.4.	Pertes magnétiques . . . . .	214
4.5.	Fuites dans l'air . . . . .	216
4.6.	Schéma équivalent et courant magnétisant . . . . .	217
4.7.	Effet d'un entrefer . . . . .	218
5.	Transformateur idéal . . . . .	219
5.1.	Rapport entre tensions . . . . .	220
5.2.	Relations entre les courants . . . . .	221
5.3.	Adaptation d'impédance . . . . .	221
5.4.	Limitation du nombre de spires . . . . .	221
5.5.	Modélisation d'un transformateur idéal . . . . .	222
6.	Transformateur réel . . . . .	222
6.1.	Équations de base . . . . .	222
6.2.	Transformateur à vide . . . . .	223
6.3.	Transformateur en charge . . . . .	225
6.4.	Modélisation d'un transformateur réel . . . . .	226
6.5.	Influence du cycle d'hystérésis et de la saturation sur le courant de magnétisation . . . . .	226
6.6.	Courant d'appel à la mise sous tension à vide . . . . .	228
6.7.	Chute de tension et triangle de Kapp . . . . .	231
6.8.	Mise en parallèle de deux ou plusieurs transformateurs . . . . .	232
6.9.	Grandeurs réduites . . . . .	234
7.	Transformateurs à colonnes et cuirassés . . . . .	234
7.1.	Transformateurs à colonnes . . . . .	235
7.2.	Transformateur cuirassé . . . . .	235
7.3.	Flux libre et flux forcé . . . . .	236
8.	Autotransformateur . . . . .	237
9.	Couplage et impédance homopolaire des transformateurs triphasés . . . . .	238
9.1.	Représentation de Fresnel des tensions en fonction du mode de couplage . . . . .	238
9.2.	Couplage d'un transformateur . . . . .	239
9.3.	Impédance homopolaire . . . . .	240



10. Alimentation d'une charge monophasée par un transformateur triphasé. . . . .	244
10.1. Schéma équivalent . . . . .	244
10.2. Couplage <i>Yy</i> . . . . .	245
10.3. Couplage <i>Yyn</i> . . . . .	245
10.4. Couplage <i>YNyn</i> . . . . .	247
10.5. Couplage <i>Dyn</i> . . . . .	247
10.6. Couplage <i>Yzn</i> . . . . .	248
11. Transformateurs spéciaux . . . . .	248
11.1. Transformateurs de Scott . . . . .	248
11.2. Transformateur de Leblanc. . . . .	249
11.3. Transformateur déphaseur. . . . .	250
12. Génération d'harmoniques . . . . .	250
12.1. Transformateur de type <i>YNyn</i> . . . . .	251
12.2. Transformateur de type <i>Yy</i> . . . . .	252
12.3. Transformateur de type <i>Dyn</i> . . . . .	252
12.4. Utilisation d'un enroulement tertiaire . . . . .	253
13. Choix du couplage . . . . .	253
14. Rendement et grandeurs de court-circuit . . . . .	253
14.1. Pertes d'un transformateur . . . . .	253
14.2. Classement en fonction des pertes . . . . .	254
14.3. Grandeurs à vide et en court-circuit . . . . .	256
15. Technologie. . . . .	259
15.1. Transformateur dans l'huile . . . . .	260
15.2. Changeur de prises (régleur en charge) . . . . .	268
15.3. Bruit . . . . .	273
16. Transformateurs de distribution . . . . .	273
16.1. Transformateurs secs. . . . .	274
16.2. Transformateur à protection coupure . . . . .	274
17. Transformateur isolé au SF <sub>6</sub> . . . . .	274

**Annexe** . . . . . 276

1. Tableau des impédances homopolaires des transformateurs les plus courants . . . . .	276
2. Impédance de court-circuit d'un transformateur . . . . .	278
3. Conséquence de la perte d'une phase primaire d'un transformateur triangle étoile à flux forcé. . . . .	280
4. Circulation d'un courant de neutre à la mise sous tension d'un transformateur voisin. . . . .	281

**Chapitre 8**

<b>Régimes de neutre</b> . . . . .	285
1. Surtensions sur les réseaux basse tension consécutifs aux défauts à la terre à moyenne tension. . . . .	286



1.1. Passage de la moyenne tension sur la basse tension . . . . .	286
1.2. Couplage des terres . . . . .	287
1.3. Influence du régime de neutre et limites réglementaires . . . . .	289
2. Modélisation du réseau de distribution . . . . .	290
3. Défaut franc à la terre : circuit équivalent <i>RLC</i> et représentation de Fresnel . . . . .	292
4. Neutre mis à la terre par une impédance de faible valeur (faiblement impédant) . . . . .	294
5. Neutre isolé . . . . .	296
6. Neutre compensé (bobine de Petersen) . . . . .	297
6.1. Principes . . . . .	297
6.2. Maîtrise des surtensions dans le cas des réseaux aéro-souterrains . . . . .	299
6.3. Limites de la compensation . . . . .	300
7. Neutre direct à la terre . . . . .	302
7.1. Neutre distribué . . . . .	302
7.2. Neutre non distribué . . . . .	304
8. Accord des réseaux à neutre compensé . . . . .	304
8.1. Principe d'accord . . . . .	304
8.2. Méthode du maximum de tension homopolaire . . . . .	310
8.3. Méthode du cercle des lieux . . . . .	312
8.4. Méthode par injection . . . . .	314
9. Bobine de Petersen . . . . .	318
9.1. Bobines à réglage continu . . . . .	318
9.2. Bobines réglables par pas . . . . .	319
9.3. Raccordements des bobines . . . . .	321
9.4. Compensation en réseau . . . . .	323
10. Exploitation à défaut maintenu . . . . .	324
<b>Annexe</b> . . . . .	325
1. Déplacement du point neutre en cas de défaut à la terre . . . . .	325
1.1. Neutre isolé . . . . .	326
1.2. Neutre mis à la terre par une résistance . . . . .	326
1.3. Neutre mis à la terre par une inductance et une résistance . . . . .	327
2. Quelques pratiques de compensation du neutre moyenne tension . . . . .	328
3. Courants d'écran de câbles en cas de défaut à la terre . . . . .	328
3.1. Types de câbles . . . . .	328
3.2. Courants dans les écrans de câbles unipolaires des portions saines de réseau . . . . .	330
3.3. Courant de défaut . . . . .	338
3.4. Courant dans les prises d'écran d'un câble en tête de poste . . . . .	338
3.5. Application numérique . . . . .	340
3.6. Tronçon en défaut . . . . .	341
3.7. Conclusion . . . . .	342



## Chapitre 9

<b>Schéma des liaisons à la terre en basse tension</b> .....	343
1. Neutre basse tension et schéma des liaisons à la terre .....	343
2. Schéma TT .....	345
3. Schéma TN .....	346
3.1. Schéma TN-C .....	346
3.2. Schéma TN-S .....	347
3.3. Schéma TN-C-S .....	348
4. Schéma IT .....	348
4.1. Coexistence de plusieurs schémas de liaison à la terre .....	350
5. Comparaison et pratiques des différents schémas de liaisons à la terre	350
5.1. Surtensions et sécurité .....	350
5.2. Continuité de fourniture .....	351
5.3. Maintenance et robustesse .....	351
5.4. Rupture du neutre .....	351
5.5. Pratiques .....	351
<b>Annexe – Surtensions en cas de rupture du neutre basse tension</b> ..	353

## Chapitre 10

<b>Résonance et ferrorésonance</b> .....	357
1. Résonance .....	358
1.1. Résonance série .....	358
1.2. Résonance parallèle .....	358
1.3. Cas de résonance .....	359
2. Mécanisme de la ferrorésonance .....	360
2.1. Construction graphique .....	360
2.2. Formes d'onde et fréquence .....	363
2.3. Classification .....	366
3. Exemples de ferrorésonance .....	366
3.1. Transformateurs de tension en cas de réseau à neutre isolé .....	366
3.2. Transformateurs de tension connectés entre phases .....	367
3.3. Réseau à neutre compensé .....	368
4. Présomption de ferrorésonance et solutions .....	368
<b>Annexe – Résonance d'un réseau mis à la terre par bobine de Petersen</b> .....	369

## Chapitre 11

<b>Capteurs de mesures : type, comportement et spécification</b> .....	373
1. Transformateur de courant à effet inductif .....	373
1.1. Comportement .....	373



1.2. Caractéristiques . . . . .	375
1.3. Réponse d'un transformateur saturé . . . . .	377
1.4. Choix d'un transformateur de courant de protection . . . . .	379
1.5. Réalisation pratique . . . . .	380
2. Capteur de courant à bobine de Rogowski . . . . .	382
2.1. Théorie . . . . .	382
2.2. Réalisation pratique . . . . .	384
2.3. Détermination d'un capteur à bobine de Rogowski . . . . .	386
3. Autres techniques de mesure du courant . . . . .	386
3.1. Capteur à effet Hall . . . . .	386
3.2. Capteur optique . . . . .	387
4. Transformateurs de tension à effet inductif . . . . .	388
4.1. Caractéristiques . . . . .	389
4.2. Risque de ferrorésonance . . . . .	391
4.3. Choix d'un transformateur de tension . . . . .	391
5. Capteur de tension à effet capacitif . . . . .	392
6. Mesure de la tension par diviseur . . . . .	393
6.1. Diviseurs capacitifs . . . . .	393
6.2. Diviseurs résistifs . . . . .	395
6.3. Diviseurs mixtes . . . . .	395
7. Capteur de tension à effet optique . . . . .	395
8. Capteurs non conventionnels et hybrides . . . . .	396
9. Mise en œuvre des transformateurs de courant et de tension . . . . .	396
9.1. Transformateurs de courant . . . . .	396
9.2. Transformateurs de tension . . . . .	398
10. Conclusion . . . . .	401
<b>Annexe</b> . . . . .	402
1. Erreurs admissibles des transformateurs de courant selon la norme CEI EN 61869-2 . . . . .	402
2. Erreurs admissibles des transformateurs de tension selon la norme CEI EN 61869-3 . . . . .	403
2.1. Transformateurs de mesure . . . . .	403
2.2. Transformateur de protection . . . . .	403
<i>Chapitre 12</i>	
<b>Introduction au plan de protection des réseaux à moyenne tension</b> . . . . .	405
1. Réseaux publics de distribution moyenne tension . . . . .	406
1.1. Structure des postes primaires . . . . .	406
1.2. Réseau public de distribution à moyenne tension . . . . .	407
1.3. Structure des réseaux moyenne tension . . . . .	408
1.4. Réseaux amont et aval . . . . .	411



2.	Typologie et terminologie des défauts.....	412
2.1.	Nombre de phases affectées.....	412
2.2.	Résistance du défaut.....	412
2.3.	Emplacement des défauts.....	413
2.4.	Nature du défaut.....	414
2.5.	Durée de coupure.....	416
3.	Courant de défauts polyphasés.....	416
3.1.	Courants de défaut bi- et triphasé.....	416
3.2.	Phases des courants de défaut bi- et triphasé.....	418
4.	Courants de défaut à la terre en régime stabilisé.....	420
4.1.	Circulation des courants et schéma homopolaire équivalent.....	420
4.2.	Rapport entre courants résiduels dans les arrivées et les départs.....	422
4.3.	Calcul des courants, tensions et résistance de défaut.....	425
4.4.	Phases des tensions et courants.....	432
5.	Défaut très résistant : évolution du courant résiduel et interprétation.....	432
5.1.	Variation du courant résiduel.....	432
5.2.	Détection d'un défaut résistant.....	434
6.	Présence et amplification d'harmoniques.....	435
7.	Régimes transitoires d'établissement d'un défaut à la terre.....	436
7.1.	Superposition de trois régimes transitoires d'établissement du défaut.....	436
7.2.	Décharge de la phase en défaut.....	437
7.3.	Oscillations à moyenne fréquence.....	439
7.4.	Conclusion.....	452
8.	Régime transitoire d'extinction.....	453
8.1.	Mise en équation.....	453
8.2.	Application numérique.....	457
8.3.	Cas particulier des régimes de neutre isolé.....	460
9.	Analyse des défauts à la terre affectant les réseaux à neutre compensé.....	462
9.1.	Mécanisme des défauts auto-extincteurs et intermittents sur les réseaux à neutre compensé.....	462
9.2.	Types de défauts.....	463
9.3.	Cas particulier des réseaux à neutre isolé.....	463
10.	Conclusion.....	464
10.1.	Défauts polyphasés.....	464
10.2.	Défauts à la terre.....	464
	<b>Annexe</b> .....	<b>467</b>
1.	Cas particulier de bobine zigzag sur un jeu de barres.....	467
2.	Exemples de calcul de résistance de défaut.....	468
2.1.	Cas d'un neutre mis à la terre par une résistance.....	468
2.2.	Cas d'un réseau à neutre compensé.....	470
2.3.	Conclusion.....	472



- 3. Types de défauts à la terre en régime de neutre compensé . . . . . 473
- 4. Établissement des défauts à la terre en régime de neutre compensé . . . 475

*Chapitre 13*

**Protections et automatismes . . . . . 479**

- 1. Protections à temps constant et protections à temps dépendant . . . . . 479
- 2. Protections ampèremétriques . . . . . 481
- 3. Protections voltmétriques . . . . . 481
- 4. Protections directionnelles . . . . . 482
  - 4.1. Protection directionnelle de terre . . . . . 482
  - 4.2. Protection directionnelle de phase . . . . . 493
- 5. Protection à variation d'admittance homopolaire . . . . . 495
- 6. Protection différentielle . . . . . 496
  - 6.1. Protection différentielle de ligne . . . . . 497
  - 6.2. Protection différentielle de barres ou de transformateur . . . . . 501
  - 6.3. Protection de masse . . . . . 509
- 7. Protection de distance . . . . . 510
  - 7.1. Principes généraux . . . . . 510
  - 7.2. Zones de détection . . . . . 512
  - 7.3. Stades et protection de zones . . . . . 516
  - 7.4. Mise en œuvre . . . . . 518
- 8. Relais Buchholz . . . . . 518
- 9. Automatismes . . . . . 519
  - 9.1. Réenclencheurs . . . . . 519
  - 9.2. Disjoncteurs shunt . . . . . 524
  - 9.3. Détecteur de terre résistante . . . . . 529
- 10. Sensibilité des protections ampèremétriques contre les défauts à la terre . . . . . 530
  - 10.1. Protection ampèremétrique homopolaire des départs . . . . . 532
  - 10.2. Protection ampèremétrique homopolaire des arrivées . . . . . 532
  - 10.3. Protection wattmétrique homopolaire . . . . . 533
  - 10.4. Protection centralisée de terre résistante . . . . . 534
- 11. Protection par fusibles . . . . . 536
  - 11.1. Technologie et mécanisme de la coupure et de la limitation du courant . . . . . 537
  - 11.2. Courbes de fusion et de limitation du courant . . . . . 539
  - 11.3. Compléments sur les fusibles moyenne tension . . . . . 540

**Annexe – Codification ANSI des protections . . . . . 543**

*Chapitre 14*

**Exemples de plan de protection des réseaux publics et réglages . 545**

- 1. Protection, automatismes et contrôle commande . . . . . 545



1.1.	Protections et automatismes .....	545
1.2.	Localisation et coordination des protections .....	546
1.3.	Contrôle commande .....	546
2.	Plan de protection d'un réseau électrique .....	547
2.1.	Qualité et nécessité d'un compromis .....	547
2.2.	Principes .....	548
2.3.	Organisation .....	549
2.4.	Niveaux de protections .....	549
3.	Sélectivité .....	551
3.1.	Sélectivité chronométrique .....	551
3.2.	Sélectivité logique .....	556
4.	Grands principes des réglages d'un plan de protection .....	557
4.1.	Secours et sélectivité .....	557
4.2.	Respect des niveaux de surtension sur le lieu d'un défaut à la terre ..	557
4.3.	Risques de déclenchement par sympathie .....	558
5.	Protection contre les défauts polyphasés .....	558
5.1.	Protections ampèremétriques de phase à temps constants .....	559
5.2.	Protection des transformateurs de puissance .....	562
5.3.	Automatismes .....	563
5.4.	Sélectivité logique .....	564
5.5.	Cas particulier des mises sous tension .....	564
5.6.	Récapitulatif des principaux réglages .....	566
6.	Protection contre les défauts à la terre en régime de neutre faiblement impédant .....	566
6.1.	Seuils ampèremétriques des protections ampèremétriques homopolaires .....	567
6.2.	Seuils chronométriques des protections ampèremétriques homopolaires .....	572
6.3.	Protection des transformateurs de puissance .....	573
6.4.	Protections de masse .....	574
6.5.	Automatismes .....	578
6.6.	Cas particuliers des mises sous tension .....	579
6.7.	Récapitulatif des principaux réglages .....	579
6.8.	Mise en œuvre de protections directionnelles de terre .....	580
6.9.	Détection des défauts à la terre résistants et très résistants : limites .....	582
7.	Protection contre les défauts à la terre en régime de neutre compensé .....	588
7.1.	Chaînes de détection .....	589
7.2.	Allongement des temporisations .....	589
7.3.	Protections homopolaires directionnelles de départ (niveau 3) ...	590
7.4.	Protections voltmétriques homopolaires des arrivées moyenne tension (niveau 2) .....	591
7.5.	Protection de la liaison entre transformateur de puissance et arrivée(s) moyenne tension (niveau 1) .....	595



2. Intégration des énergies renouvelables .....	631
2.1. Impact sur les réseaux de transport .....	631
2.2. Impact sur les réseaux de distribution .....	633
3. Impact du raccordement de la production décentralisée sur les réseaux de distribution .....	634
3.1. Courant de défaut polyphasé et protection de départs .....	635
3.2. Augmentation de la tension au point d'injection .....	639
3.3. Protections de découplage .....	644
3.4. Découplage des productions décentralisées raccordées en basse tension .....	653
3.5. Indicateur de passage de défauts .....	656
4. Réseaux intelligents .....	657
4.1. Réseaux de communications .....	657
4.2. Nouveaux services et usages .....	659
4.3. Technologie .....	663
4.4. Consommateur acteur .....	667
5. Conclusion .....	667
<b>Annexe</b> .....	669
1. Exemple d'intelligence décentralisée : automatisme de boucle fermée moyenne tension .....	669
2. Exemple d'appareillage intelligent : compensation intelligente de neutre .....	671
<b>Index</b> .....	673