



HAL
open science

Conception de l'installation électrique de l'hôtel Mak Palace – Liban, Hamra

Fadi Sanakouev

► **To cite this version:**

Fadi Sanakouev. Conception de l'installation électrique de l'hôtel Mak Palace – Liban, Hamra. Energie électrique. 2015. dumas-01396914

HAL Id: dumas-01396914

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01396914>

Submitted on 25 Nov 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Remerciement

Je tiens à adresser mes remerciements à :

L'équipe enseignante de l'ISAE - Cnam Liban et tout spécialement à M. Khaled Itani pour son énergie, pour sa patience, pour ses informations et surtout pour son soutien pendant tout le déroulement de ces années universitaires.

L'équipe du projet de l'entreprise SMART SYSTEM SOLUTION et au directeur de l'entreprise Mr. Hisham Majdalany pour ses efforts à réussir ce projet, son soutien et ses efforts à éliminer les contraintes de travail.

Au jury, président et membres, pour leurs temps et conseils précieux

A ma famille : Je souhaite profiter de cette occasion pour transmettre mes sincères remerciements à ma mère pour son soutien et son encouragement à poursuivre mes éducations.

Sommaire :

SOMMAIRE :	2
LISTE DES TABLEAUX :	8
LISTE DES FIGURES :	8
GLOSSARIES:	11
LISTE DES NORMES:	12
CHAPITRE 1. INTRODUCTION SUR LE PROJET	14
1.1 INTRODUCTION :	14
1.2 EXPERIENCES PROFESSIONNELLES:	15
1.3 LES RESPONSABILITES :	17
1.4 LES PARTIES ESSENTIELLES DU RAPPORT :	17
CHAPITRE 2. BILAN DE PUISSANCE	21
2.1 INTRODUCTION	21
2.2 LES FACTEURS DE BILAN DE PUISSANCE :	21
2.3 LA DISTRIBUTION DES CHARGES SUR LES 3 PHASES:	23
CHAPITRE 3. LE TRANSFORMATEUR	24
3.1 INTRODUCTION:	24
3.2 DIMENSIONNEMENT DU TRANSFORMATEUR:	24
3.2.1 LE CALCUL :	25
3.3 CHOIX DU NOMBRE DE TRANSFORMATEURS ASSOCIES EN PARALLELE :	25
3.4 CHOIX DU TYPE DE TRANSFORMATEUR :	26
3.4.1 COMPARAISON ENTRE LES TYPES DE TRANSFORMATEURS :	26
3.5 COUPLAGE DU TRANSFORMATEUR :	28
3.6 CHOIX DU CONDUCTEUR PRINCIPAL DU TRANSFORMATEUR :	28
3.7 LA PROTECTION DU CABLE EN AVAL DU TRANSFORMATEUR:	32
3.7.1 LA PROTECTION CONTRE LES DEFAUTS ELECTRIQUES :	32
3.7.2 LES CARACTERISTIQUES DU TRANSFORMATEUR CHOISIT:	32
3.7.3 CALCUL DE COURT-CIRCUIT :	33
3.7.4 COORDINATION ENTRE LES PROTECTIONS MOYENNE TENSION BASSE TENSION BASSE TENSION :	35
3.7.5 LE DISJONCTEUR DU TRANSFORMATEUR :	36
3.8 LA PROTECTION CONTRE LES DEFAUTS A LA TERRE :	38

3.9 CONNEXION DES CONDUCTEURS DE PROTECTION (PE) DU TRANSFORMATEUR: 38

CHAPITRE 4. LES GENERATEURS:..... 40

4.1 INTRODUCTION : 40
4.2 LE CHOIX DE LA CAPACITE ET DU NOMBRE DE GENERATEURS:..... 40
4.2.1 MODE DE FONCTIONNEMENT : 40
4.2.2 LA COURBE DE CHARGE JOURNALIERE : 41
4.2.3 LES PICS DE COURANTS : 43
4.2.4 LES HARMONIQUES : 43
4.2.5 L'ENVIRONNEMENT : 44
4.3 SYNCHRONISATION DES GENERATEURS : 44
4.3.1 LES AVANTAGES DE SYNCHRONISATION : 44
4.3.2 LE FONCTIONNEMENT DE SYNCHRONISATION ET DE MANAGEMENT DE PUISSANCE:..... 45
4.4 LE TABLEAU DE SYNCHRONISATION MDB-G : 45
4.4.1 LES COMPOSANTS DU TABLEAU : 46
4.4.2 LE DISJONCTEUR EN AVAL DU GENERATEUR : 47
4.4.3 L'INTERRUPTEUR DE G1 AU NIVEAU DE MDB-G : 51
4.4.4 LE DISJONCTEUR PRINCIPAL DE MDB-G : 51
4.4.5 LE CONDUCTEUR ENTRE MDB-G ET MDB : 51

CHAPITRE 5. L'ALIMENTATION SANS INTERRUPTION:..... 52

5.1 INTRODUCTION : 52
5.2 CHOIX DE TYPE D'ASI : 52
5.2.1 ASI EN ATTENTE PASSIVE (OFFLINE) : 52
5.2.2 ASI EN INTERACTION AVEC LE RESEAU : 53
5.2.3 ASI EN DOUBLE CONVERSION (ON-LINE) : 53
5.3 LA PROTECTION DE L'ASI : 54
5.4 LES BATTERIES : 56
5.4.1 TYPE DE BATTERIES D'AUTONOMIE : 56
5.4.2 LE DIMENSIONNEMENT DES BATTERIES : 56
5.4.3 L'AUTONOMIE : 56

CHAPITRE 6. LES TABLEAUX ELECTRIQUES PRINCIPAUX :..... 59

6.1 INTRODUCTION : 59
6.2 LE TABLEAU MDB-TR : 59
6.2.1 INTERRUPTEUR PRINCIPAL : 59
6.2.2 LE JEU DE BARRE : 60
6.2.3 LES FORCES ELECTRODYNAMIQUES : 60
6.3 LE CABLE DE L'HOTEL ISSU DE MDB-TR : 63
6.4 LA CHUTE DE TENSION : 64
6.4.1 LE CALCUL : 64

6.4.2 LES PROBLEMES DE CHUTE DE TENSION :	65
6.5 LA PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS TRANSITOIRES :	66
6.6 LE TABLEAU MDB-EDL :	66
6.7 LE TABLEAU MDB :	67
6.7.1 TOPOLOGIE DU TABLEAU :	67
6.7.2 LES DISJONCTEURS :	67
6.7.2.1 LES DISJONCTEURS COTE TRANSFORMATEUR :	67
6.7.2.2 LES DISJONCTEURS COTE GENERATEUR :	67
6.7.2.3 CALCUL DE COURT-CIRCUIT :	68
6.7.2.4 LA SELECTIVITE ENTRE LES DISJONCTEURS:	69
6.7.2.5 LA FILIATION :	69
6.7.3 LA CONTRIBUTION DES MOTEURS AU COURT-CIRCUIT :	69
6.7.4 LES CHARGES PARTICULIERES :	70
6.7.5 LA NECESSITE DE PROTEGER ET DE SECTIONNER LE NEUTRE :	71
6.7.6 DESIGNATIONS DU DISJONCTEUR DE SERIE TMAX :	72
6.7.7 LES INTERRUPTEURS :	73
6.7.8 TRANSFERT AUTOMATIQUE :	74
6.7.8.1 LA NECESSITE DES ATS :	74
6.7.8.2 LE CHOIX ENTRE LES CONTACTEURS OU LES DISJONCTEURS MOTORISES :	75
6.7.8.3 LES CARACTERISTIQUES DES CONTACTEURS :	75
6.7.9 LE CONTROLE :	77
6.7.10 LA MESURE ELECTRIQUE :	78
6.7.11 LA PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS ELECTROMAGNETIQUES :	79
6.7.12 L'EVACUATION DE CHALEUR DU TABLEAU ELECTRIQUE :	80
6.7.13 LES CARACTERISTIQUES DU TABLEAU :	83
6.7.13.1 LA FORME DE SEPARATION :	83
6.7.13.2 LE DEGRE DE PROTECTION IP D'UN TABLEAU ELECTRIQUE :	84
6.7.13.3 LE DEGRE DE PROTECTION IK D'UN TABLEAU ELECTRIQUE:	85
6.7.13.4 LES CONTRAINTES DIELECTRIQUES :	86
6.7.14 LA PROTECTION CONTRE LES CONTACTS DIRECTS :	89

CHAPITRE 7. LES TABLEAUX SECONDAIRES :..... 90

7.1 INTRODUCTION :	90
7.2 LES DISJONCTEURS:	90
7.3 LA PROTECTION CONTRE LES CONTACTS DIRECTS:	90
7.4 LES CARACTERISTIQUES DU TABLEAU:	92
7.5 LA PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS TRANSITOIRES:	92

CHAPITRE 8. LES TABLEAUX DIVISIONNAIRES :..... 94

8.1 INTRODUCTION :	94
8.2 L'INTERRUPTEURS DE CHARGE :	94
8.3 CALCUL DE COURT-CIRCUIT:	95

8.4 CHUTE DE TENSION:.....	96
8.5 LE DISPOSITIF DIFFERENTIEL RESIDUEL (DDR) :.....	96
8.6 LA PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS TRANSITOIRES:.....	96
8.7 LES CARACTERISTIQUES DU TABLEAU:	96
8.8 LE CONTACTEUR:.....	97

CHAPITRE 9. LES TABLEAUX DES DEMARREURS :..... 99

9.1 INTRODUCTION:	99
9.2 TYPE DE DEMARRAGE:.....	99
9.3 LES PROTECTIONS DES MOTEURS SONT DIVERSES :.....	100
9.4 CONTRIBUTION DES MOTEURS AU COURT-CIRCUIT :.....	101
9.5 LE CONTROLE DES MOTEURS:	102
9.5.1 LE CONTACTEUR:	102
9.5.2 COORDINATION ENTRE LES DISJONCTEURS ET LE CONTACTEUR :.....	103
9.6 LES SCHEMAS DE MCP-RF-VENT:.....	104
9.7 LES CARACTERISTIQUES DU TABLEAU:	105

CHAPITRE 10. LA CORRECTION DE FACTEUR DE PUISSANCE:106

10.1 LA NECESSITE D'AMELIORER LE FACTEUR DE PUISSANCE :.....	106
10.2 ETUDE DE CAS DE L'INSTALLATION :.....	106
10.3 TYPE DE COMPENSATION:.....	108
10.4 LES CHARGES CONSOMMATEURS D'ENERGIE REACTIVE :	110
10.5 DETERMINATION DE LA PUISSANCE REACTIVE A COMPENSER :	111
10.6 CHOIX DU NOMBRE DE GRADIN:	112
10.7 LA PROTECTION DES CONDENSATEURS:	112
10.8 LE CONTACTEUR:.....	113
10.9 LE TRANSFORMATEUR DE COURANT :	114
10.10 LA RESONANCE DANS L'INSTALLATION :	114

CHAPITRE 11. LES HARMONIQUES :115

11.1 INTRODUCTION :	115
11.2 LES CHARGES NON LINEAIRES :	115
11.3 LES EFFETS DES HARMONIQUES :.....	115
11.4 LE SURDIMENSIONNEMENT DU CABLE DE NEUTRE :.....	116
11.5 LES SOLUTIONS POUR ATTENUER LES HARMONIQUES :.....	117
11.6 LE FILTRAGE DES HARMONIQUES :	117
11.7 LE TYPE DE RACCORDEMENT :.....	118
11.8 CAS DE VARIATEUR DE VITESSE :	118
11.8.1 INDUCTANCE A L'ENTREE DU REDRESSEUR :.....	118
11.8.2 FILTRE PASSIF ANTI-HARMONIQUE :.....	119
11.8.3 FILTRE ACTIF :	119

11.8.4 FILTRE HYBRIDE :	120
11.8.5 REDRESSEUR A THYRISTOR DE 12 IMPULSIONS :	120
11.8.6 LA SOLUTION CONVENABLE :	120
11.9 LES CONTRAINTES A L'ETUDE :	122

CHAPITRE 12. L'EFFICACITE ENERGETIQUE :.....123

12.1 INTRODUCTION :	123
12.2 L'ECLAIRAGE :	123
12.3 LES MOTEURS:	124
12.4 LA CLIMATISATION :	125
12.5 LA CORRECTION DE FACTEUR DE PUISSANCE :	126
12.6 LA SYNCHRONISATION DES GENERATEURS :	126
12.7 DESEQUILIBRE DE COURANT SUR LES 3 PHASES:	127

CHAPITRE 13. LA PROTECTION CONTRE LES CHOCS ELECTRIQUES :.....128

13.1 INTRODUCTION :	128
13.2 LE REGIME DU NEUTRE :	128
13.3 LA MISE A LA TERRE :	129
13.4 L'INSTALLATION:	129
13.3.1 LES PRISES DE TERRE :	129
13.3.2 LES LIAISONS EQUIPOTENTIELLES :	131
13.3.3 LE RESEAU DE MISE A LA TERRE :	131
13.5 DEFAUT A LA TERRE :	134
13.6 PE CONDUCTRICE DE PROTECTION :	134
13.7 LE DISPOSITIF DIFFERENTIEL RESIDUEL :	135
13.6.1 LA NECESSITE DES DDR :	135
13.6.2 DECLENCHEMENTS INTEMPESTIFS: CAUSES ET SOLUTIONS.....	136

CHAPITRE 14. LA PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS

TRANSITOIRES :139

14.1 INTRODUCTION :	139
14.2 LA Foudre ET SES DEGATS :	139
14.3 LES CAUSES DE SURTENSION :	139
14.4 ÉTUDE D'UNE PROTECTION CONTRE LA Foudre :	140
14.5 LE MODELE ELECTROGEOMETRIQUE :	143
14.6 L'INSTALLATION :	144
14.7 LES RECOMMANDATIONS SUR L'INSTALLATION:	145
14.8 LE PARAFoudre :	147
14.8.1 LES TYPES DE PARAFoudRES :	147
14.8.2 LA SELECTIVITE DES PARAFoudRES :	150

CONCLUSION : 152
RESUME : **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**
BIBLIOGRAPHIES : **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**
ANNEXE : **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

Liste des tableaux :

<i>Tableau I : nombre de générateurs à mettre en marche selon la charge saisonnière et journalière.....</i>	42
<i>Tableau II : Tableau divisionnaire alimente par l'ASI</i>	58
<i>Tableau III : tableau de MDB-TR</i>	65
<i>Tableau IV : tableau de MDB.....</i>	74
<i>Tableau V : tableau de SMDB-7F</i>	93
<i>Tableau VI : tableau de DB-7F-R1</i>	98
<i>Tableau VII : tableau de MCP-RF-VENT</i>	104
<i>Tableau VIII : calcul de contribution en court-circuit des moteurs du tableau MCP-RF-VENT.....</i>	105

Liste des figures :

<i>Figure 1: La façade de l'hôtel MAK Palace au début de la restauration</i>	18
<i>Figure 2: la zone des chambres à louer.....</i>	18
<i>Figure 3 : Le garage en B3 avant la restauration (3ème étage sous-sol).....</i>	19
<i>Figure 4: Vue perspective de l'hôtel.....</i>	19
<i>Figure 5: La salle de réception principale au rez-de-chaussée</i>	20
<i>Figure 6: Facteur de simultanéité (tableau à droite pour la distribution principale, à gauche pour la distribution secondaire et au centre pour celle au niveau des charges)</i>	22
<i>Figure 7: Transformation à résine moulée</i>	26
<i>Figure 8: Comparaison entre les types de transformateurs.....</i>	27
<i>Figure 9 : Canalisation préfabriquée</i>	30
<i>Figure 10 : modes de pose (partie du tableau 52-3 de la norme CEI 60364-5-52)</i>	30
<i>Figure 11 : Température maximale de fonctionnement pour les types d'isolant (tableau 52-4 de la norme CEI 60364-5-52).....</i>	31
<i>Figure 12 : Valeurs du facteur de correction k1 pour des températures ambiantes différentes de 30 °C à (tableau A 52-14 de la norme CEI 60364-5-52).....</i>	31
<i>Figure 13 : Valeurs du facteur de correction k4 pour un groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multiconducteurs (tableau A 52-17 de la CEI 60364-5-52)</i>	31
<i>Figure 14 : Courant admissibles en ampères (tableau B.52-1 de la norme CEI 60364-5-52)</i>	32
<i>Figure 15 : Caractéristique d'un transformateur de type sec</i>	33
<i>Figure 16 : Courants du circuit pour déterminer le calibre de la protection (fusible ou disjoncteur)</i>	35
<i>Figure 17 : Sélectivité entre fusible moyenne tension et disjoncteur basse tension en aval pour la protection transformateur</i>	36
<i>Figure 18 : Courbes de déclenchement pour disjoncteurs de type ACB et de marque ABB avec déclencheur électronique LI (courbe de déclenchement de long durée (L) et instantanée (I))</i>	38
<i>Figure 19 : Mise à la terre du transformateur</i>	39
<i>Figure 20 : Section des conducteurs de protection entre transformateur MT/BT et TGBT en fonction de la puissance du transformateur et du temps de fonctionnement de la protection</i>	39

<i>Figure 21 : Fonctionnement parallèle des groupes électrogènes</i>	45
<i>Figure 22 : Courbes de déclenchement pour disjoncteurs avec déclencheurs électroniques</i>	50
<i>Figure 23 : Les diverses protections offertes par l'ASI de type en double conversion</i>	53
<i>Figure 24 : Les avantages des 2 types d'ASI (offline et online)</i>	54
<i>Figure 25 : Le schéma des 3 types d'ASI</i>	55
<i>Figure 26: Coefficient (n) de la valeur crête de court-circuit</i>	61
<i>Figure 27 : Caractéristique des jeux de barres en cuivre rigide de forme plat et de section 10mm</i>	61
<i>Figure 28 : Distance maximale permissible entre 2 supports</i>	62
<i>Figure 29 : Jeu de barres avec leurs supports</i>	62
<i>Figure 30 : Résistivité des conducteurs en fonction du type de court-circuit avec ρ_0 résistivité à 20°C [10]</i>	64
<i>Figure 31 : Réactance linéique des conducteurs en fonction du type de câble et de mode de pose</i>	64
<i>Figure 32 : Compteur d'énergie kWh</i>	66
<i>Figure 33 : Sectionnement des phases et du neutre selon le régime du neutre</i>	72
<i>Figure 34 : Circuit de commande d'un contacteur électronique</i>	77
<i>Figure 35 : L'échange thermique du tableau</i>	81
<i>Figure 36 : Niveaux de protection contre les corps solides et liquides et l'accès au tableau</i>	85
<i>Figure 37 : Degrés de protection IK contre les impacts mécaniques selon la marque CEI 62262</i>	86
<i>Figure 38 : Les lignes de fuites entre les jeux de barres</i>	87
<i>Figure 39 : Distance d'isolement entre les jeux de barres</i>	88
<i>Figure 40 : Distance d'isolement correspond à la tension de tenue aux chocs et courbe impulsionnelle 1,2/50us</i>	88
<i>Figure 41 : Sections minimales des conducteurs de protection (tableau 54-3 de la norme CEI 60364-5-54)</i>	89
<i>Figure 42 : Contact direct entre un conducteur et une personne</i>	91
<i>Figure 43 : Tableau électrique de classe I</i>	92
<i>Figure 44 : tarification de l'énergie réactive par EDL</i>	106
<i>Figure 45 Valeurs de $\cos \phi$ et $\tan \phi$ pour les appareils</i>	108
<i>Figure 46 : Principe de la compensation semi-automatique d'une installation</i>	110
<i>Figure 47: puissance réactive à compenser pour le transformateur</i>	112
<i>Figure 48 : Section des câbles de connexion pour des batteries de condensateurs de moyenne et forte puissance</i>	113
<i>Figure 49: Les effets des harmoniques et les limites</i>	116
<i>Figure 50 : comparaison entre les différentes solutions d'atténuation des harmoniques de courant d'un variateur</i>	121
<i>Figure 51 : Les dispositifs de contrôle d'éclairage</i>	124
<i>Figure 52 : Système de climatisation à débit d'eau variable</i>	126
<i>Figure 53 : Boucle de défaut de fuite de courant dans l'installation</i>	130
<i>Figure 54 : Section de liaison équipotentielle selon le courant nominal de l'appareil électrique suivant la norme CEI 60439-1</i>	131
<i>Figure 55: Schéma de connexion de l'installation de mise à la terre]</i>	133
<i>Figure 56: Section du PE selon sa section</i>	135

<i>Figure 57 : Temps maximal de coupure maximal du DDR selon la tension de l'installation</i>	136
<i>Figure 58 : raccordement du parafoudre en présence du DDR</i>	136
<i>Figure 59 : Résistance maximale de la prise de terre selon la sensibilité du DDR</i>	137
<i>Figure 60 : sensibilité du DDR recommandée selon les normes CEI</i>	138
<i>Figure 61 : type de DDR recommandée selon la charge</i>	138
<i>Figure 62 : Les facteurs de dimensionnement C1 à C5 selon NF C 17-102 pour la nécessité de paratonnerre</i>	142
<i>Figure 63 : niveau de protection correspond à la distance D (NFC 17-102 / UNE 21186)</i>	143
<i>Figure 64 : Rayon de protection (en m) du paratonnerre à amorçage</i>	144
<i>Figure 65 : La descente des paratonnerres vers la terre</i>	146
<i>Figure 66 : Distance d'amorçage et de courant crête selon le niveau de protection suivant NFC 17-100</i>	147
<i>Figure 67 : Onde de courant 10/350 et 8/20</i>	149
<i>Figure 68 : Ecoulement de l'énergie de foudre par les 3 types de parafoudre</i>	149
<i>Figure 69 : Choix de type de parafoudre</i>	150
<i>Figure 70: I_{max}, courant de décharge maximum en fonction du niveau de l'exposition</i>	151
<i>Figure 71: catégorie du parafoudre à choisir selon le type de charge à protéger</i>	151

Glossaries:

ATS: automatic transfer switch;

ASI: alimentation sans interruption;

API : Automate Programmable Industriel ;

BT : Basse tension ;

CEI : Commission Electrotechnique Internationale ;

CEM : Comptabilité Electromagnétique ;

DDR: dispositif différentiel résiduel ;

EDL: Electricité du Liban ;

HT : haute tension ;

IP : Indice de Protection ;

IK : Indice de résistance au choc mécanique ;

JDB: Jeu de Barres

MCB: Miniature Circuit Breaker;

MCC: Motor Control Center;

MCCB: Molded Case Circuit Breaker;

MDB: Main distribution Board;

PC: Personal Computer;

PDC: Pouvoir de coupure ;

PE: Protective earth ;

PVC: Polyvinyl Chloride;

THD: Total Harmonic Distortion ;

TMD: Thermomagnetic release with adjustable thermal and fixed magnetic threshold;

Liste des normes:

CEI 60076 Transformateurs de puissance ;

CEI 60158 Appareillage de commande à basse tension ;

CEI 60354 Guide de charge pour transformateurs de puissance immergés dans l'huile ;

CEI 60364 Installations électriques à basse tension ;

CEI 60364-4-41 Installations électriques à basse tension - Protection pour assurer la sécurité - Protection contre les chocs électriques ;

CEI 60364-4-42 Installations électriques des bâtiments - Protection pour assurer la sécurité - Protection contre les effets thermiques ;

CEI 60364-5-52 Installations électriques des bâtiments - Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Canalisations ;

CEI 60364-4-43 Installations électriques à basse tension - Protection pour assurer la sécurité - Protection contre les surintensités ;

CEI 60364-5-54 Installations électriques des bâtiments - Choix et mise en œuvre des matériels électriques - Mises à la terre, conducteurs de protection et conducteurs d'équipotentialité de protection ;

CEI 60439-1 Ensembles d'appareillage à basse tension - Ensembles de série et ensembles dérivés de série ;

CEI 60439-3 Ensembles d'appareillage à basse tension - Règles particulières pour ensembles d'appareillage BT destinés à être installés en des lieux accessibles à des personnes non qualifiées pendant leur utilisation - Tableaux de répartition ;

CEI 60529 Degrés de protections procurées par les enveloppes (Code IP) ;

CEI 60831-1 Condensateurs shunt de puissance auto-régénérateurs pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1 000 V – Généralités –

Caractéristiques fonctionnelles, essais et valeurs assignées – Règles de sécurité – Guide d'installation et d'exploitation ;

CEI 60890 Méthode de vérification par calcul des échauffements pour les ensembles d'appareillage à basse tension ;

CEI 60909 Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif - Calcul des courants ;

CEI 60947 Appareillage à basse tension ;

CEI 60831-1 Condensateurs shunt de puissance auto régénérateurs pour réseaux à courant alternatif de tension assignée inférieure ou égale à 1000 V - Généralités - Caractéristiques fonctionnelles, essais et valeurs assignées - Règles de sécurité - Guide d'installation et d'exploitation ;

CEI 62040 Alimentations sans interruption (ASI) ;

CEI 62262 Degrés de protection procurée par les enveloppes de matériels électriques contre les impacts mécaniques externes (code IK) ;

CEI 62305-3 Protection contre la foudre - Dommages physiques sur les structures et risques humains ;

CEI 62305-4 Protection contre la foudre - Réseaux de puissance et de communication dans les structures ;

NFC 17-100 protection des structures contre la foudre ;

NFC 17-102 protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage ;

ISO 8528 Groupes électrogènes à courant alternatif entraînés par moteurs alternatifs à combustion interne ;

IEEE Std 485 (1997, R2003) Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications;

IEEE Std 1115 (2000, R2005) Recommended Practice for Sizing Nickel-Cadmium Batteries for Stationary Applications;

Chapitre 1. Introduction sur le projet

1.1 Introduction :

La compagnie de construction Sinjaba a décidé d'acheter un vieux bâtiment situé au rue d'Al-Makdissi parallèle à la rue principale Hamra située à l'ouest de Beyrouth. Ce bâtiment servait comme un hôtel mais à cause de la guerre civile libanaise (1975 - 1990), il était détruit. Et récemment, la compagnie Sinjaba a décidé de le rénover.

Au début, il n'y avait pas des schémas architecturaux et pour l'installation électromécanique. Alors des nouveaux schémas devront être créés afin d'effectuer une restauration complète qui devra durer 2 ans pour redevenir un nouvel hôtel.

Les études électriques ont été confiées à l'entreprise SMART SYSTEM SOLUTION, dont je suis ingénieur chargé de faire la conception électrique.

L'hôtel qui comporte 7 étages au-dessus du sol et 5 étages au-dessous du sol est constitué principalement depuis sa construction (annexe p. 156-162):

1. De la salle de réception principale qui reçoit les clients avec 4 ascenseurs:
 - Deux ascenseurs pour accéder aux étages des chambres à louer (1F jusqu'à 7F) ;
 - Un ascenseur pour accéder aux garages de stationnement (B3, B4, B5) ;
 - Un ascenseur pour les services (1F jusqu'à 7F).
2. Pour les étages supérieurs :
 - L'étage 1F comprend le couloir qui lie l'administration, 5 chambres pour les personnes en difficulté (handicapés), 3 chambres duplex, 1 pour les gardiens, 1 pour les services ainsi que 2 escaliers : le 1er est près des 2 ascenseurs des clients et le 2ème pour le secours en cas d'incendie ;
 - Les étages typiques (2F-7F) comprennent 8 chambres simples, 4 duplex et 1 triplex (annexe p. 163);
 - Le toit comprend 2 refroidisseurs avec leurs pompes, les chambres des machines des ascenseurs.
3. Les étages en sous-sol comprennent :

- L'étage en sous-sol (B1) avec la cuisine, la blanchisserie, les dépôts des magasins, le poste moyenne tension et la salle des tableaux principaux;
- En B2 : le cinéma ;
- En B3 : le garage, la salle des générateurs et des réservoirs de combustible ;
- En B4 : le garage ;
- En B5 : un garage et la salle des pompes.

La conception de l'éclairage était faite par une compagnie de décoration donc l'étude d'éclairage et leur distribution ne fera pas partie de mon étude. A propos de l'étage B2, la décision n'est pas encore prise de la spécifier pour installer un cinéma, un restaurant ou un night-club. Par suite pour prendre cette zone en considération dans l'étude il était estimé que la puissance de cette partie est de 375kVA ($P=300\text{kW}$ et $\cos\phi=0.8$ annexe p. 166).

La compagnie Smart System Solution est une nouvelle compagnie créée il y a 2 ans. Ses activités principales consisteraient initialement dans la maintenance et l'installation des ascenseurs. Elle a ajouté l'automatisme résidentiel et bureautique en introduisant le réseau KNX dans ses offres. Le projet Mak Palace Hôtel fut le premier projet dans le domaine de l'étude électrique. J'étais embauché par l'entreprise Smart System Solution afin de participer à la réalisation de ce projet en tant qu'ingénieur chargé d'études.

1.2 Expériences professionnelles:

Après avoir obtenu mon DUT Spécialité Génie Industriel et Maintenance, j'ai été recruté par la société EME (Electro Mechanical Entreprise). Le premier pas dans le domaine électrique était chez EME en juillet 2006 où j'ai travaillé sur différents types d'installation électriques (installation de puissance, d'éclairage, de courant faible). J'avais commencé à faire des schémas électriques dans le bureau des études en s'appuyant sur le logiciel Autocad 2D en tant qu'un assistant ingénieur et en coordination avec les ingénieurs électriques.

J'avais ensuite occupé le poste d'aide ingénieur dans la société PAC en mars 2007. PAC, fondée en 1997 au Liban, comporte une branche à Qatar et appartient au groupe

des compagnies de Harb Electric. Elle est spécialisée dans l'assemblage des tableaux électriques basse tension conformes aux normes de la série CEI 61439.

J'étais chargé de réaliser en tant que designer électrique des schémas de contrôle, de puissance et la forme des tableaux en déterminant les montages des dispositifs au sein des tableaux ainsi que la programmation pour le contrôle automatique. Ces tableaux comprenaient :

1. Les tableaux de commutation automatique (ATS) et manuelle (MTS) et de synchronisation entre plusieurs sources ;
2. Les panneaux de distribution principaux (MDB) et secondaires (DB et SDB) ;
3. Les tableaux de contrôle et de protection des moteurs (MCC et MCP) ;
4. Les tableaux pour les maisons intelligentes (home automation) en appliquant les technologies d'EIB (European Installation Bus) ;

Chez Pac, je devais accomplir les tâches conformément à la norme ISO 9001 du manuel du management de qualité :

1. La réception des données sur le projet provenant du département d'achat au moyen du logiciel mis par une compagnie spécialement pour PAC comprenant toutes les informations nécessaires (Cahier des charges, Plans, Liste des matières) et qui sont organisés et mémorisés dans le serveur ;
2. Début du design suivant les spécifications et transmission du dessin électrique et de RFP (Request For Purchasing) au chef de département pour approbation ;
3. Préparation des dossiers de soumission aux consultants (Spécifications Techniques, Plan de contrôle) ;
4. Modification du dessin selon les exigences du projet et du client ;
5. Préparation des logiciels et des programmes du module de contrôle, DSE, PLC.
6. Transfert du dessin électrique et de la liste des matériels au département de production après approbation finale ;

Le travail chez EME et PAC se faisait en parallèle à la formation acquise dans le domaine de l'électrotechnique à l'ISAE-Cnam Liban qui m'a permis d'évoluer dans ma carrière en profitant des facilités accordées par mon poste.

Et aujourd'hui, étant comme chef de projet à SSS, j'occupe le poste d'ingénieur avec de responsabilités accrues en prenant en compte les exigences du client tout en suivant les normes électriques de sécurité, de protection et d'exploitation de l'installation.

1.3 Les responsabilités :

En tant qu'un ingénieur chargé d'études chez SMART SYSTEMS SOLUTIONS, mes responsabilités sont :

1. Créer un réseau de distribution des tableaux compatible avec l'architecture du bâtiment et de la distribution des charges;
2. Calculer les courants de court-circuit au niveau de chaque tableau et les courants en charge ainsi que les chutes de tension.
3. Définir les capacités des transformateurs, des générateurs et des câbles de puissance ;
4. Faire la conception de contrôle des tableaux électriques (MDB-TR, MDB-G, MDB-EDL) et des démarreurs (MCC) ainsi que les tableaux des chambres à louer (DB).

1.4 Les parties essentielles du rapport :

Je commencerai par définir le bilan de puissance de l'installation puis dimensionner les sources de tension et faire la conception des tableaux électriques des 3 niveaux de distribution (principaux, secondaires et divisionnaires). Et enfin, on a les chapitres déterminant les contraintes de l'installation et les solutions proposées (qualité de puissance, efficacité énergétique et les surtensions transitoires).

Les études seront basées principalement sur les normes de CEI, le régime du neutre adopté pour l'installation est le TT et le choix des dispositifs électriques choisis seront de la marque ABB :



Figure 1: La façade de l'hôtel MAK Palace au début de la restauration



Figure 2: la zone des chambres à louer



Figure 3 : Le garage en B3 avant la restauration (3ème étage sous-sol)

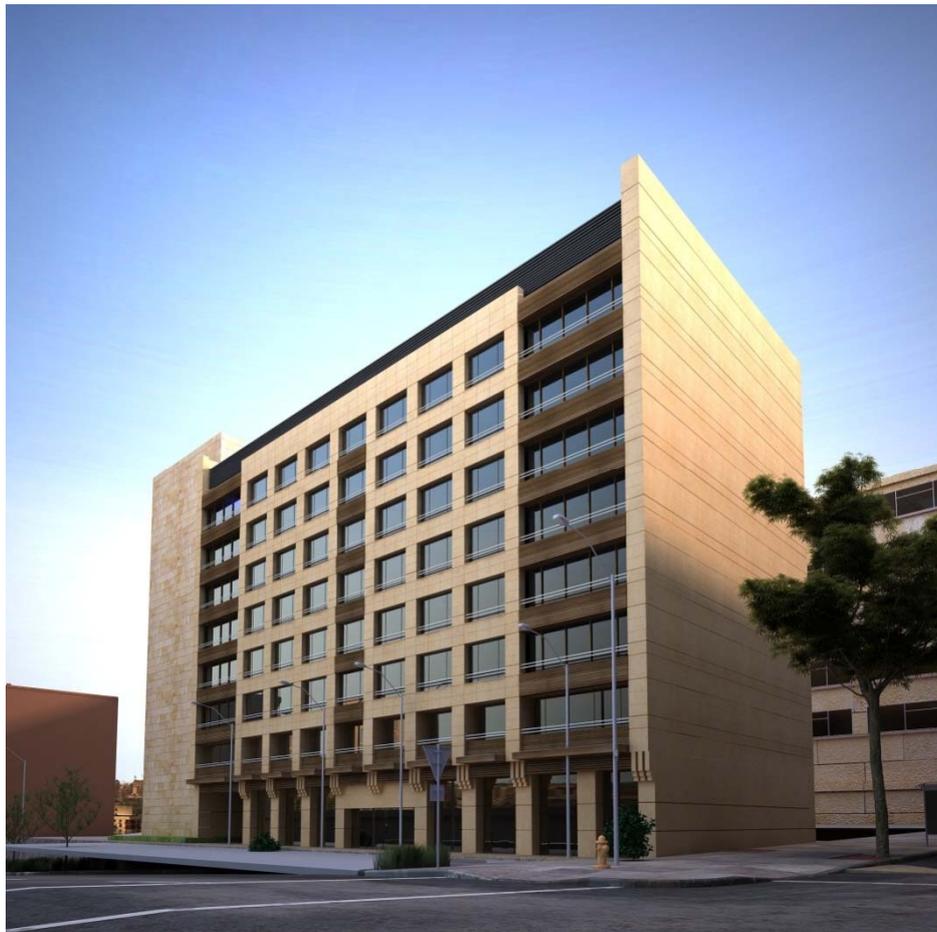


Figure 4: Vue perspective de l'hôtel



Figure 5: La salle de réception principale au rez-de-chaussée

Chapitre 2. Bilan de puissance

2.1 Introduction

Le bilan de puissance est l'étude essentielle qui permet de dimensionner l'installation en déterminant le transformateur, les sections des câbles, les protections, le contrôle pour le fonctionnement des charges. Les valeurs des courants des charges sont pris par la compagnie de sous-traitance mécanique pour les charges mécaniques (ventilateurs, refroidisseurs, pompes, ascenseurs) et les ingénieurs de décoration (les circuits des lampes et le nombre de lampes par circuit) (annexe p. 165-185).

Cette étude nécessite les éléments suivants:

1. Les charges: il faut déterminer le courant d'emploi ou la puissance de la charge, le nombre de phase (1ph ou 3 ph), son facteur de puissance et le rendement (cas des moteurs);
2. Les facteurs: il faut intégrer les facteurs d'utilisation et de simultanéité et d'extension;
3. Définir la topologie de distribution des charges présentée par les tableaux de plusieurs niveaux (distribution générale, secondaire et au niveau des charges);

On obtient alors la puissance totale et utile (P_u et Q_u) au niveau de chaque tableau avec leur $\cos\phi$ global (déphasage entre les composants fondamentaux de courant et de tension; $\cos\phi_1=P_1/S_1$) en appliquant le théorème de Boucherot.

2.2 Les facteurs de bilan de puissance (Figure 6):

Le facteur d'utilisation: lorsque la charge ne fonctionne pas à sa capacité nominale, on multiplie cette capacité par le coefficient d'utilisation:

1. L'éclairage n'est pas contrôlée par un gradateur (dimer) et par suite $K_u=1$;
2. Le moteur qui fonctionnant à 75% de sa capacité a un rendement meilleur donc $K_u=0.8$;
3. Les prises sont considérées qu'elles fonctionnent à leur capacité totale $K_u=1$;

Le facteur de simultanéité est nécessaire pour ne pas surdimensionner l'installation électrique. La norme CEI 60439-1 définit la valeur du coefficient K_s selon le niveau de distribution (principal, secondaire ou au niveau des charges) et le nombre de circuit. On remarque que pour la distribution secondaire (SMDB-2F jusqu'à SMDB-7F) K_s est égale à 0.8 et pas 0.6 en considérant qu'en été les chambres peuvent être occupées jusqu'à 80%. Au niveau des charges, il faut utiliser le coefficient K_{s1} pour

chaque groupe de charge similaires (prises de courants, climatisation, éclairage) puis K_{s2} pour le nombre de circuit dans le tableau. Les charges alimentées par l'ASI sont essentielles et fonctionnent sans arrêt donc $K_s=1$. Au niveau du tableau principal (MDB), on remarque qu'il y a 2 valeurs de K_s :

1. $K_s=0.6$ pour le groupe des circuits servant l'hôtel ;
2. $K_s=1$ pour les magasins et le cinéma, ces charges sont distinctes de l'hôtel mais sont dans le même bâtiment.

Le facteur de puissance global de chaque tableau est estimé en calculant la relation trigonométrique (Eq.1) avec (Eq.2) en appliquant le théorème de Boucherot et ajoutant les coefficients.

$$\tan\varphi_{\text{global}} = \frac{Q_t}{P_t} \Rightarrow \cos\varphi_{\text{global}} \text{ (Eq. 1);}$$

$$P_t = \sum K_{u_i} K_{s_i} P_i \text{ et } Q_t = \sum K_{u_i} K_{s_i} Q_i \text{ (Eq. 2);}$$

<p>■ Coincidence factor (Kc) for main distribution board, distribution panel (LV industrial distribution in accordance with standard IEC 60439-1) if the load conditions are not known.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Number of circuits</th> <th>Coincidence factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 and 3</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>4 and 5</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>6 to 9</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>10 or more</td> <td>0.6</td> </tr> </tbody> </table>		Number of circuits	Coincidence factor	2 and 3	0.9	4 and 5	0.8	6 to 9	0.7	10 or more	0.6	<p>■ Coincidence factor (Kc) for distribution board ≤ 250A (for commercial use in accordance with standard IEC 60439-3) if the load conditions are not known.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Number of circuits</th> <th>Coincidence factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 and 3</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>4 and 5</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>6 to 9</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>10 or more</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>		Number of circuits	Coincidence factor	2 and 3	0.8	4 and 5	0.7	6 to 9	0.6	10 or more	0.5	
Number of circuits	Coincidence factor																							
2 and 3	0.9																							
4 and 5	0.8																							
6 to 9	0.7																							
10 or more	0.6																							
Number of circuits	Coincidence factor																							
2 and 3	0.8																							
4 and 5	0.7																							
6 to 9	0.6																							
10 or more	0.5																							
<p>■ Coincidence factor (Kc) for secondary or terminal cubicles (for residential or small business use) in accordance with standard IEC 60364 section 311.3</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Use</th> <th>Coincidence factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lighting</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Electric heating</td> <td>1⁽¹⁾</td> </tr> <tr> <td>Room air conditioning</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Water heater</td> <td>1⁽¹⁾</td> </tr> <tr> <td>Power socket (N being the number of power sockets supplied by the same circuit)</td> <td>0.1 + 0.9/N</td> </tr> <tr> <td>Cooking appliances</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Lifts ⁽²⁾ and hoists</td> <td>for the most powerful motor</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>for the next motor</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>for the others</td> <td>0.6</td> </tr> </tbody> </table>				Use	Coincidence factor	Lighting	1	Electric heating	1 ⁽¹⁾	Room air conditioning	1	Water heater	1 ⁽¹⁾	Power socket (N being the number of power sockets supplied by the same circuit)	0.1 + 0.9/N	Cooking appliances	0.7	Lifts ⁽²⁾ and hoists	for the most powerful motor	1	for the next motor	0.75	for the others	0.6
Use	Coincidence factor																							
Lighting	1																							
Electric heating	1 ⁽¹⁾																							
Room air conditioning	1																							
Water heater	1 ⁽¹⁾																							
Power socket (N being the number of power sockets supplied by the same circuit)	0.1 + 0.9/N																							
Cooking appliances	0.7																							
Lifts ⁽²⁾ and hoists	for the most powerful motor	1																						
	for the next motor	0.75																						
	for the others	0.6																						

Figure 6: Facteur de simultanéité (tableau à droite pour la distribution principale, à gauche pour la distribution secondaire et au centre pour celle au niveau des charges) [1]

Le facteur d'extension: ce facteur est nécessaire pour prendre en considération une extension possible de l'installation. Par exemple si l'administration de l'hôtel a décidé d'ajouter des nouveaux circuits d'éclairage pour le confort des résidents, l'interrupteur principal, le câble alimentant le tableau ainsi que le disjoncteur amont doivent être compatibles au nouveau courant d'emploi. Le coefficient sera estimé de 1.1 c'est à dire une extension possible de 10%. La puissance totale du tableau sera

multiplié par ce coefficient pour avoir la puissance total avec extension: $P_t' = P_t \times 1.1$ et $Q_t' = Q_t \times 1.1$.

2.3 La distribution des charges sur les 3 phases:

Pour éviter la surchauffe des câbles, du transformateur et des générateurs, il faut que le déséquilibre de courant ne dépasse pas 10% de la puissance total entre les phases. On remarque que l'équilibre est établi pour chaque tableau et au niveau de l'installation la différence est petite.

Chapitre 3. Le transformateur

3.1 Introduction:

Ce chapitre est consacré à l'étude du transformateur. Premièrement, à partir du bilan de puissance et des différents facteurs, on peut déterminer la puissance du transformateur. Une fois ce dispositif choisit, je dois déterminer sa protection, la compensation réactive, la mise à la terre, le couplage et le type du transformateur convenable. La poste de livraison ne fera pas partie de mon étude.

3.2 Dimensionnement du transformateur:

Pour dimensionner le transformateur, il faut prendre plusieurs facteurs en considération pour qu'il fonctionne dans des conditions normales.

Il y a plusieurs raisons pour faire marcher le transformateur au-dessous de sa capacité nominale:

1. Eviter de fonctionner en pleine charge qui affecte son rendement ;
2. échauffement des enroulements, ce qui entraîne le fonctionnement des appareils de protection ;
3. vieillissement prématuré des isolants pouvant causer la mise hors service du transformateur ;
4. puisqu'il y a un seul transformateur alimentant l'installation comme on verra dans le paragraphe suivant, la redondance est assurée par cette surdimensionnement. De plus, il faut tenir compte de la possibilité d'extension et des pics des charges éventuels ;
5. température ambiante élevée (la température n'excèdera 40°C selon CEI 76 si la ventilation de la poste de livraison est bien dimensionnée pour éviter le déclassement du transformateur) ;
6. altitude plus de 1000m (l'installation est au-dessous 1000m) ;
7. pas de nécessité de délester sur le transformateur, de plus la norme CEI 354 autorise une surcharge jusqu'à $2xS_n$ pour $S_n < 2500kVA$ pendant des durées de plusieurs minutes.

Il n'est pas recommandé d'installer un transformateur de plus de 2000KVA car lorsque la puissance s'élève. D'une part le niveau de court-circuit de toute l'installation s'élève aussi donc il y aura un surdimensionnement des disjoncteurs, des

contacteurs et des interrupteurs. Par suite une augmentation du prix de l'installation et d'un risque de courant de défaut d'isolement plus grand ainsi que des contraintes électrodynamiques plus violents pouvant se produire sur les câbles et les jeux de barre. D'autre part, les pertes à vides seront plus grandes.

Pour conclure, il vaut mieux surdimensionner le transformateur en prenant les divers facteurs influant sur le fonctionnement du transformateur.

3.2.1 Le calcul :

Les charges sont définis pour chaque niveau des tableaux (tableaux divisionnaires, secondaires, MDB) avec les facteurs de simultanéité, d'utilisation et d'extension on aura $P=1070kW=3 \times V \times I \times 0.93=3 \times 220 \times I \times 0.93$ alors $I=1743A$ et $S=3VI=1150kVA$. Il faut prendre en considération que le transformateur sera choisi suivant le fonctionnement à 70% de sa capacité nominal donc la puissance à installer est $S'=S \times 1.3 \times 1.1=1644kVA$ (le facteur de correction 1.1 correspond à la présence des harmonique même si l'installation comprendra un filtre des harmoniques car il reste toujours des harmoniques de certains rangs qui se propagent dans l'installation et passent par le transformateur vers le réseau).

Je choisirai donc la capacité normative de 2000kVA. L'alimentation électrique du bâtiment est assurée par un câble moyenne tension provenant du réseau électrique municipal. Il atteindra la sous station localisée dans le bâtiment comportant les équipements de transformation où la tension va être convertie en basse tension pour être distribuée dans le bâtiment. Le réseau principal de distribution électrique dans l'installation électrique sera triphasé de tension 380 V/220V, 50 Hz.

3.3 Choix du nombre de transformateurs associés en parallèle :

Le choix de nombre de transformateur assure la redondance, la séparation des charges sensibles des autres charges ou si la puissance excède 2000KVA. Le transformateur choisi d'après le paragraphe 3.2 est surdimensionné donc il n'est pas nécessaire d'avoir une redondance. Puis les charges sensibles comme les systèmes de sécurité de surveillance et d'alarmes, ils seront alimentés par l'ASI assurant leurs continuités et loin des perturbations électriques dans l'installation et finalement un seul transformateur peut alimenter toute la puissance. Si on doit mettre 2 transformateurs en parallèles partageant les consommations des charges, il faut installer 2

transformateurs de même dimension (2000kVA) car la majorité des charges sont prioritaires mais ce choix coûte certainement plus cher.

3.4 Choix du type de transformateur :

Premièrement, je présente les types de transformateurs, une comparaison entre ces types et le choix correspondra au meilleur caractéristiques technico-économique du transformateur.

Il existe 3 types de transformateurs au marché qu'on peut choisir. Il y a le transformateur:

1. de type sec ;
2. immergé dans l'huile ;
3. à résine moulée (Figure 7);



Figure 7: Transformation à résine moulée

3.4.1 Comparaison entre les types de transformateurs :

Le transformateur de type immergé : l'huile joue le rôle d'un diélectrique liquide et assure l'évacuation de chaleur mais il est inflammable et risque d'explosion et de pollution.

Le transformateur de type à air : l'isolation se fait par des parois plastiques mais ce type est sensible à l'humidité la pollution ou des produits chimiques due à sa construction. Cela peut affaiblir le coefficient diélectrique de l'isolation.

Il reste le type à résine moulée : il est de type sec et il est plus utilisé due à ses avantages sur les autres types : fiabilité, pas de pollution, plus robustes vis à vis de court-circuit et surcharge et n'engendre pas d'incendie.

Le tableau ci-dessous présente les comportements des divers transformateurs vis à vis des défauts et des contraintes.

Technical comparison			
Properties	Resin	Oil	Air
			
Non flammability	Yes	No	Yes
Self-extinguishing in the case of an electric fault	Yes	No	Yes
Need for anti-fire structures such as oil collection pit and anti-flame walls	No	Yes	No
Hygroscopicity of the insulation materials	No	Yes	Yes
Environmental pollution	No	Yes	No
Strip windings and good resistance to short-circuit	Yes	No	No
Stability of the heating element to short-circuit over the machine lifetime	Yes	No	No
Special commissioning procedures	No	No	Yes
Regular maintenance	No	Yes	Yes
Risks of environmental pollution because of leak of liquid	No	Yes	No
Deterioration of the dielectric properties because of the effect of time and environmental effects	No	Yes	Yes
Lack of sensitivity to humid, saline and tropical environments	Yes	Yes	No
Location at the centre of gravity of the load and reduction of system and management costs	Yes	No	No
Reliability when not maintained and when labour specialised in installation is not readily available	Yes	No	No
Capacity of withstanding high instantaneous overloads of short duration thanks to the lower current density and high thermal constant	Yes	No	No

Figure 8: Comparaison entre les types de transformateurs [2]

D'après la comparaison du tableau (Figure 8) on remarque que le type à résine moulée est le meilleur choix du côté technique surtout pour sa capacité à résister contre l'humidité et la pollution. Son inconvénient est son prix élevé. Mais puisque les performances sont les meilleurs, sa durée de vie sera plus grande et donc on peut compenser son prix en quelques années.

3.5 Couplage du transformateur :

D'après le paragraphe 3.3, il y aura un seul transformateur donc il y a la liberté de choisir le couplage désiré.

Le couplage convenable peut éviter le transfert de déséquilibre de courant entre les phases vers le secondaire en couplant côté secondaire couplage zigzag (mais l'installation ne présente pas de déséquilibre de tension en assurant une bonne distribution des charges sur les 3 phases). Le choix de couplage pour éviter la propagation des harmoniques de courant n'est pas nécessaire puisque EDL n'a pas défini la limite d'injection des harmonique vers le réseau et ce choix n'évite pas la propagation des harmoniques dans l'installation. Donc par conclusion on recommande l'utilisation du transformateur le plus utilisable Dyn 11 avec D couplage triangle cote primaire, (y) pour l'enroulement du secondaire étoile et (n) pour assurer la distribution du neutre dans l'installation.

3.6 Choix du conducteur principal du transformateur :

La norme internationale pour l'étude des canalisations est issue du texte CEI 60364-5-52 : « Installations électriques des bâtiments – Partie 5-52 : Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Canalisations ».

Ce câble sert à connecter le transformateur au tableau MDB-TR avec une longueur de 35m. Pour déterminer le conducteur, il faut définir les valeurs des différents facteurs influant sur le câble.

Le calcul :

1. Le courant d'emploi est égale à $I_b = P / (3 \times V \times \cos \phi) = 1070 / (3 \times 220 \times 0.93) = 1743 \text{ A}$ (annexe p. 165) ;
2. Le facteur K dépend de plusieurs facteurs ($K_1, K_2, K_3 \dots$) liés au mode de pose pris en considération pour la correction du courant admissible du câble ;
3. Le mode de pose est le chemin de câbles perforé. Il y a 2 cas : E pour des câbles multiconducteurs et F pour les câbles multiconducteurs. Je choisis le cas de multiconducteur donc le mode F (Figure 10);
4. Puisque la température des milieux parcourus ne dépassera pas 35°C , les câbles seront climatisés ou au moins ventilés, on prendra le cas d'isolation PVC qui est moins cher que les autres gaines (Figure 11). Pour le cas extrême de température 35°C , le facteur de correction est $K_1 = 0.94$ (Figure 12) ;

5. Le chemin de câbles peut contenir 3 autres circuits alimentant des charges et par suite il y a le facteur de correction $K_4=0.82$ (Figure 13);
6. Finalement pour $I_z \geq I_b' = \frac{I_b}{K_{f_5} n} = \frac{1743}{K_1 K_4 \cdot 1 \times 4} = 565A$. Il sera recommandé de surdimensionner le câble principal (le surdimensionnement est entre 10% et 45%, on prend la valeur 20%) pour conserver une certaine marge entre la valeur de courant d'emploi et le courant admissible du câble. Pour le mode de pose F, on prend la deuxième valeur plus grande que 565A. On aura alors un câble de courant permissible $I_z > I_b$, $I_z=679A$ qui correspond à 2 câbles d'isolation XLPE. On a déjà 4 circuits parallèles donc on a $2 \times 4=8$;
7. On a alors la situation suivante :
 - 7.1 il faut installer les câbles en trèfle dont chaque phase sera constituée de 8 câble de $240mm^2$, une tâche extrêmement difficile ;
 - 7.2 installer des câbles de $300mm^2$ mais l'installation devient plus difficile pour cette section ;
 - 7.3 On peut mettre les câbles sous forme de nappe. Pour éviter cet encombrement, il est recommandé d'adopter les canalisations préfabriquées décrits par les normes CEI 61439-1, 61439-2 et 61439-6 ;
8. Le courant nominal de la canalisation (Figure 9) est $I_n = I_b \times f_1 \times K = 1743 \times 1 \times 1.15 = 2004A$, on prend la valeur normalisée justement plus grand que 2004A qui est 2500A (f_1 facteur de correction de température égale 1 pour une température ambiante $40^\circ C$; k facteur lié au type de protection : 1 pour disjoncteur et 1.1 pour fusible. Et enfin 1.15 correspond au rapport entre I_z et I_b pour avoir un certain marge qui est de 15 %. Cette marge est nécessaire pour pouvoir régler le disjoncteur qui protégera le conducteur (Figure 14).



Figure 9 : Canalisation préfabriquée

Repère	Mode de pose	Description	Référence du mode de pose à utiliser pour les courants admissibles (méthode de référence)
31		Sur des chemins de câbles perforés	E ou F
36		Conducteurs nus ou isolés sur isolateurs	G
70		Câbles multiconducteurs dans des conduits enterrés profilés ou non profilés	D
71		Câbles monoconducteurs dans des conduits enterrés profilés ou non profilés	D

Figure 10 : modes de pose (partie du tableau 52-3 de la norme CEI 60364-5-52)

Type d'isolant	Température limite °C
Polychlorure de vinyle (PVC)	70 au conducteur
Polyéthylène réticulé (PR) et éthylène-propylène (EPR)	90 au conducteur
Minéral (avec gaine en PVC ou nu et accessible)	70 à la gaine
Minéral (nu et inaccessible et non en contact avec des matériaux combustibles)	105 à la gaine

Figure 11 : Température maximale de fonctionnement pour les types d'isolant (tableau 52-4 de la norme CEI 60364-5-52)

Température ambiante °C	Isolation	
	PVC	XLPE et EPR
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Figure 12 : Valeurs du facteur de correction k_1 pour des températures ambiantes différentes de 30 °C à (tableau A 52-14 de la norme CEI 60364-5-52)

Disposition des câbles jointifs	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs												Méthodes de référence
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
Groupés dans l'air sur une surface, noyés ou enfermés	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	Méthode de A à F
Simple couche sur paroi, plancher ou tablette non perforée	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de neuf circuits ou câbles multiconducteurs			Méthode C
Simple couche fixée sous plafond en bois	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
Simple couche sur tablette perforée horizontale ou verticale	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de neuf circuits ou câbles multiconducteurs			Méthode E et F
Simple couche sur échelle, corbeau, etc	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

Figure 13 : Valeurs du facteur de correction k_4 pour un groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multiconducteurs (tableau A 52-17 de la norme CEI 60364-5-52)

Mode de pose	Nombre de conducteurs chargés et nature d'isolation											
		2 PVC	3 PVC		3 XLPE	2 XLPE						
A1		2 PVC	3 PVC		3 XLPE	2 XLPE						
A2	3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE							
B1				3 PVC	2 PVC		3 XLPE		2 XLPE			
B2			3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE					
C					3 PVC	2 PVC	3 XLPE		2 XLPE			
F						3 PVC	2 PVC	3 XLPE		2 XLPE		
F							3 PVC	2 PVC	3 XLPE			2 XLPE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Section (mm ²) cable												
1,5	13	13,5	14,5	15,5	17	18,5	19,5	22	23	24	26	-
2,5	17,5	18	19,5	21	23	25	27	30	31	33	36	-
4	23	24	26	28	31	34	36	40	42	45	49	-
6	29	31	34	36	40	43	46	51	54	58	63	-
10	39	42	46	50	54	60	63	70	75	80	86	-
16	52	56	61	68	73	80	85	94	100	107	115	-
25	68	73	80	89	95	101	110	119	127	135	149	161
35	-	-	-	110	117	126	137	147	158	169	185	200
50	-	-	-	134	141	153	167	179	192	207	225	242
70	-	-	-	171	179	196	213	229	246	268	289	310
95	-	-	-	207	216	238	258	278	298	328	352	377
120	-	-	-	239	249	276	299	322	346	382	410	437
150	-	-	-	-	285	318	344	371	395	441	473	504
185	-	-	-	-	324	362	392	424	450	506	542	575
240	-	-	-	-	380	424	461	500	538	599	641	679

Figure 14 : Courant admissibles en ampères (tableau B.52-1 de la norme CEI 60364-5-52)

3.7 La protection du câble en aval du transformateur:

3.7.1 La protection contre les défauts électriques :

Premièrement, je dois définir les caractéristiques du transformateur choisit pour déterminer ses protections. Les protections seront contre les court-circuits, les surcharges et les défauts à la terre.

3.7.2 Les caractéristiques du transformateur choisit (Figure 15):

1. $S_n=2000\text{kVA}$;
2. $U_{cc}=6\%$;
3. $R_t=1.6\text{m}\Omega$ (résistance du transformateur);
4. $X_t=5\text{m}\Omega$ (réactance du transformateur);
5. $I_{k3}=48.3$;
6. $U_{n1}=15\text{kV}$;
7. $U_{n2}=400\text{V}$;

Transformateurs de type sec										
S_n kVA	100	160	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000
U_{cc(1)} %	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
I_{n(2)} A										
R_t mΩ	32,8	20,5	13,1	8,2	5,2	4,1	3,3	2,6	2	1,6
X_t mΩ	100,6	62,8	40,2	25,1	16	12,6	10	8,1	6,3	5
I_{k3(2)} kA	2,4	3,8	6,0	9,6	15,1	19,1	24,1	29,8	38,4	48,3
Disjoncteur	T1B160 T2N160 T4N250	T3N250 T4N250	T5N400	T5N630	E1B10	E1B12	E2B16	E2B20	E3N25	E3N32

Figure 15 : Caractéristique d'un transformateur de type sec [3]

3.7.3 Calcul de court-circuit :

Pour définir le disjoncteur de protection en aval du transformateur il faut déterminer la valeur de courant de court-circuit et le courant nominal. On prend le cas de court-circuit pour une installation à système de tension symétrique.

On considère le réseau de puissance 500MVA avec :

$$Z_Q = \frac{(m \times U_n)^2}{S_{KQ}} = \frac{(1.05 \times 400)^2}{500 \text{MVA}} = 0.353 \text{m}\Omega ;$$

$$X_Q = 0.995 \times Z_Q = 0.351 \text{m}\Omega ;$$

$$R_Q = 0.1 \times X_Q = 0.035 \text{m}\Omega ;$$

Pour le transformateur (Figure 15):

$$R_t = 1.6 \text{m}\Omega ;$$

$$X_t = 5 \text{m}\Omega ;$$

$$\text{Donc } \Sigma R = 1.63 \text{m}\Omega \text{ et } \Sigma X = 5.35 \text{m}\Omega ;$$

Au niveau du transformateur [4]:

$$I_{k3} = \frac{c_{mx} m U_0}{\sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2}} = \frac{1.05 \times 1.05 \times 380 / \sqrt{3}}{5.6} = 43.2 \text{kA (Eq. 3);}$$

A l'extrémité de la canalisation :

$$I_{k3} = \frac{c_{\max} m U_0}{\sqrt{(R + R_{cph})^2 + (X + X_{cph})^2}} = \frac{1.05 \times 1.05 \times 380 / \sqrt{3}}{\sqrt{(1.63 + 35 \times 0.016)^2 + (5.35 + 35 \times 0.011)^2}}$$

$$I_{k3} = 39.4 \text{kA (Eq. 4);}$$

Courant de défaut phase-neutre l'extrémité de la canalisation préfabriquée (défaut minimal) :

$$Ik1 = \frac{C_{MIN} \times m \times U_o}{\sqrt{(R_Q + R_S + R_{ph} + R_N + Lx(R_{cph} + R_{cn}))^2 + (X_Q + X_S + X_{ph} + X_N + Lx(X_{cph} + X_{cn}))^2}}$$

$$Ik1 = \frac{0.95 \times 1.05 \times 380 / \sqrt{3}}{\sqrt{(1.63 + 35 \times (0.016 + 0.022))^2 + (5.35 + 35 \times (0.011 + 0.0033))^2}}$$

$$Ik1 = 36.5 \text{ kA (Eq. 5)}$$

Les paramètres de la canalisation préfabriquée (annexe p. 234):

$$R_{cph} = 0.016 \text{ m}\Omega/\text{m} ;$$

$$X_{cph} = 0.011 \text{ m}\Omega/\text{m} ;$$

$$R_{cn} = 0.022 \text{ m}\Omega/\text{m} ;$$

$$X_{cn} = 0.0033 \text{ m}\Omega/\text{m} (\text{égale à } 0.15 \times R_{cn});$$

$$R = 1.63 \text{ m}\Omega \text{ (résistance amont de la canalisation);}$$

$$X = 5.35 \text{ m}\Omega \text{ (inductance amont de la canalisation);}$$

Avec :

$Ik3$: courant de court-circuit maximale représenté par un court-circuit entre les 3 phases ;

$Ik1$: courant de court-circuit minimale représenté par un court-circuit entre phase neutre ;

m : facteur de charge ;

U_o : tension de l'installation phase-neutre ;

c : facteur de tension égale à 0.95 pour les court-circuits minimaux et 1.05 pour les court-circuits maximaux ;

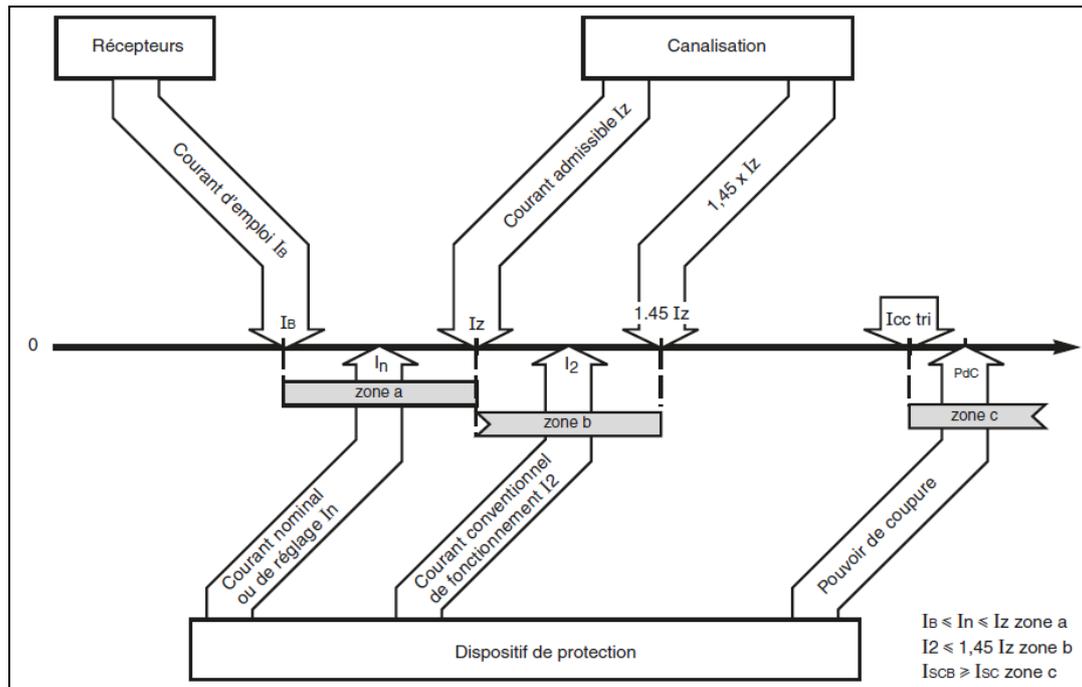


Figure 16 : Courants du circuit pour déterminer le calibre de la protection (fusible ou disjoncteur)

3.7.4 Coordination entre les protections moyenne tension basse tension basse tension :

Le disjoncteur coté secondaire assure la protection contre le court-circuit et la surcharge du conducteur. Tandis que pour le transformateur, il le protège seulement contre la surcharge. La protection cote moyenne tension qui est généralement un fusible et qui assure la protection contre le court-circuit, doit avoir une sélectivité avec le disjoncteur aval avec les relations B/A et D/C (figure 17).

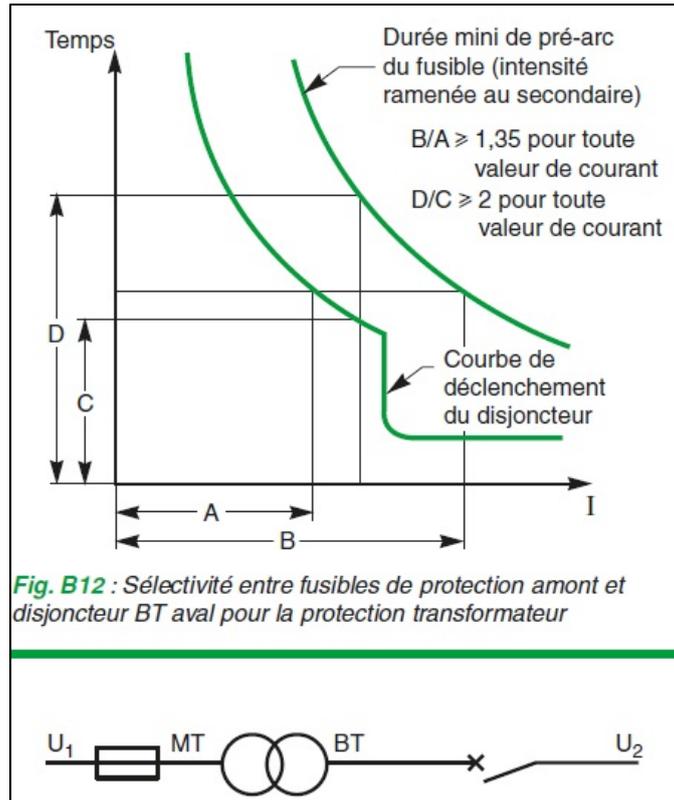


Figure 17 : Sélectivité entre fusible moyenne tension et disjoncteur basse tension en aval pour la protection transformateur

3.7.5 Le disjoncteur du transformateur :

Protection de la canalisation préfabriquée en aval du disjoncteur (Figure 16):

1. La canalisation préfabriquée liant le transformateur au tableau générale basse tension (MDB-TR) doit être protégée par un disjoncteur;
2. Le courant est au-dessus de 1600A donc le type du disjoncteur est de type ACB (air circuit breaker ou à construction ouverte);
3. Le déclencheur est de type électronique (Figure 18) : Le courant au niveau de l'installation est $I_b=1743A$. Le courant de réglage (I_1) correspond à la courbe de déclenchement de surcharge (L) sera suivant la relation $I_b \leq I_1=I_n \times r \leq I_z$ donnant $1743 \leq I_1 \leq 2500$ avec $I_n=2000A$ (I_n courant nominal du disjoncteur) donc le réglage serar $\geq \frac{I_b}{I_n} = \frac{1743}{2000} = 0.87$ on prend $r=1$ pour éviter le déclenchement intempestif du courant d'appel de certains charges lors de la fermeture du disjoncteur qui correspond à $I_1=1 \times 2000=2000A$. Le transformateur de sa part est lui aussi protégé puisque le courant maximal délivré est $I = 0.7 \times \frac{2.10^6}{3 \times 220} = 2121A$ qui est plus grande que 2000A ;

4. Le court-circuit au niveau du disjoncteur $I_{k3}=43.2\text{kA}$ et le pouvoir de coupure sera $I_{cu} \geq I_{cc3}=43.2\text{kA}$ (Eq. 3) avec $I_{cu}=66\text{kA}$ (valeur normalisée pour les disjoncteurs et qui est la plus proche de I_{k3} pour une tension 380V);
5. Le réglage de la courbe de déclenchement instantané (I_3): le disjoncteur doit déclencher pour la valeur minimale de défaut qui correspond au court-circuit monophasé à l'extrémité de la canalisation c'est-à-dire il faut que $I_3 \geq I_{k1}$. La valeur $I_{k1} = 36.5\text{kA}$ (Eq. 5) et le réglage est entre 1.5 et $15I_n$ c'est-à-dire $1.5 \times 2500\text{A}$ et $15 \times 2500\text{A}$. On a $\frac{I_{k1}}{I_n} = \frac{36.5}{2.5} = 14.6$ on prend donc le réglage 14 qui correspond à $35\text{kA} < 36.5\text{kA}$;
6. Finalement, le disjoncteur sera de série ABB EMAX qui est de type ACB, c'est le E3N PR121 LI 2000A, et de protection 4p4d c'est-à-dire une protection des 3 phases et du neutre puisque la section du neutre est la même que celle des phases (annexe p. 190,191). Le disjoncteur choisit protège le neutre pour une section de même que celle de la phase en présence des harmoniques)

Quelques définitions :

c_{\max}, c_{\min} : facteur de tension pris égal à 0.95 (c_{\min}) pour les courts-circuits minimaux et 1.05 (c_{\max}) pour les courts-circuits maximaux ;

m : facteur de charge pris égal à 1.05 ;

U_0 : tension de l'installation entre phase et neutre, en V ;

R_Q, X_Q : résistance et réactance équivalentes du réseau HT R_S, X_S : résistance et réactance équivalentes de la source ;

R_{Ph}, X_{Ph} : résistance et réactance des conducteurs de phase depuis la source jusqu'à l'origine du circuit considéré (elles sont égales à zéro puisqu'il n'y a pas de câble en amont de la canalisation);

R_N, X_N : résistance et réactance d'un conducteur de neutre depuis la source jusqu'à l'origine du circuit considéré (elles sont égales à zéro puisqu'il n'y a pas de câble en amont de la canalisation);

$R_{cph}, R_{cn}, X_{cph}, X_{cn}$: résistance et réactance du phase et neutre de la canalisation préfabriquée.

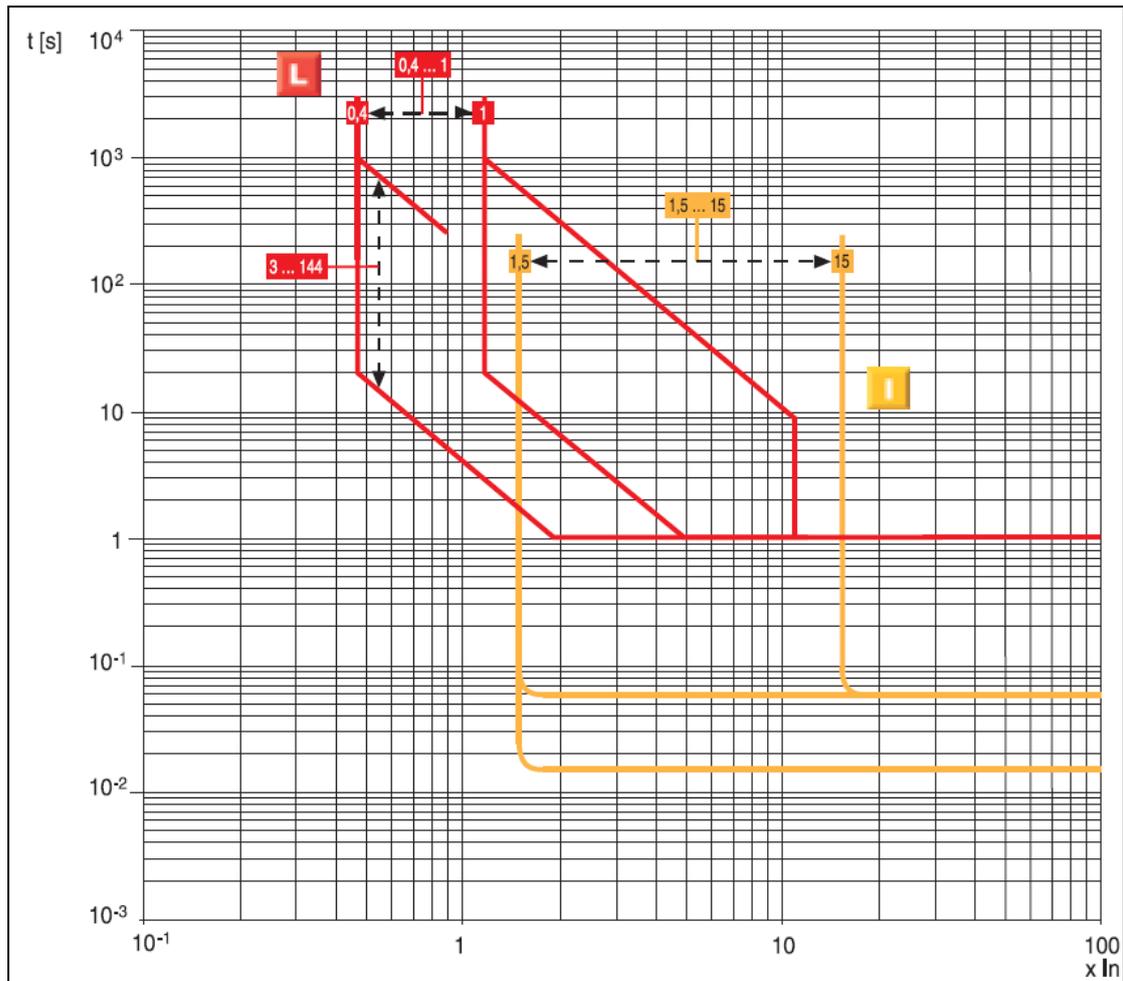


Figure 18 : Courbes de déclenchement pour disjoncteurs de type ACB et de marque ABB avec déclencheur électronique LI (courbe de déclenchement de long durée (L) et instantanée (I))

3.8 La protection contre les défauts à la terre :

Le disjoncteur principal de l'installation ne sera pas doté de protection de défaut d'isolement puisque le régime du neutre est TT où la valeur de courant de défaut n'excède pas quelques ampères. La protection sera mise au niveau des tableaux divisionnaires.

3.9 Connexion des conducteurs de protection (PE) du transformateur (Figure 19):

Le conducteur PE mis à la terre et qui est en amont du disjoncteur principale est protégé par un fusible côté MT. Le temps d'élimination de court-circuit est de 0.2s et la section est de 95mm² pour un transformateur de puissance 1000kVA, pour notre cas c'est 2000kVA on prend alors 2x95mm² (Figure 20).

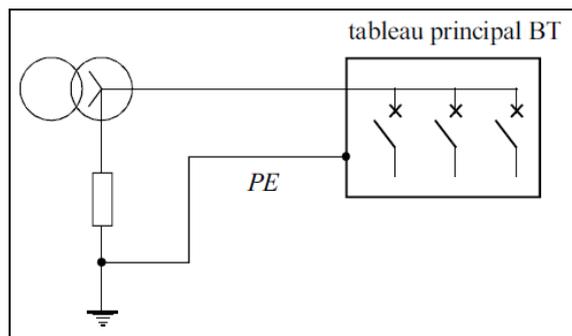


Figure 19 : Mise à la terre du transformateur

Transformateur puissance en kVA secondaire (400 V - 230 V)	Nature des conducteurs	Conducteurs nus			Conducteurs isolés au PCV			Conducteurs isolés au PR		
		0,2	0,5	-	0,2	0,5	-	0,2	0,5	-
		Cuivre t(s)	Aluminium t(s)	-	0,2	0,5	-	0,2	0,5	-
≤100	section des conducteurs de protection SPE (mm ²)	25	25	25	25	25	25	25	25	25
160		25	25	35	25	25	50	25	25	35
200		25	35	50	25	35	50	25	25	50
250		25	35	70	35	50	70	25	35	50
315		35	50	70	35	50	95	35	50	70
400		50	70	95	50	70	95	35	50	95
500		50	70	120	70	95	120	50	70	95
630		70	95	150	70	95	150	70	95	120
800		70	120	150	95	120	185	70	95	150
1 000		95	120	185	95	120	185	70	120	150
1 250	95	150	185	120	150	240	95	120	185	

Figure 20 : Section des conducteurs de protection entre transformateur MT/BT et TGBT en fonction de la puissance du transformateur et du temps de fonctionnement de la protection

Chapitre 4. Les générateurs:

4.1 Introduction :

Les groupes électrogènes à courant alternatifs sont des sources principales de remplacement en cas de coupure, de l'instabilité de la source principale et d'assurer la continuité des services normales (les chambre à louer), d'évacuation (ascenseurs, éclairage normal et d'évacuation en cas d'urgence), de sécurité et d'autres charges critiques. Premièrement, on parlera du choix des générateurs, leur nombre, leur protections et enfin la synchronisation.

4.2 Le choix de la capacité et du nombre de générateurs:

Les facteurs qui influent sur le dimensionnement des générateurs sont [5]:

1. Mode de fonctionnement ;
2. Les pics de courant ;
3. Les harmoniques ;
4. L'environnement ;

On va discuter de ces facteurs dans les paragraphes suivants.

4.2.1 Mode de fonctionnement :

Le mode de fonctionnement du générateur définit sa capacité et le nombre d'heures possible à marcher. Les différents modes possibles selon l'application et le cas sont décrits par la norme ISO 8528. Donc on doit définir le cas de l'installation par le bilan de puissance et le mode nécessaire pour le fonctionnement afin d'assurer la continuité d'alimentation électrique avec une qualité d'énergie acceptable. Puisque toutes les charges sont essentielles surtout pour une installation comme l'hôtel, les générateurs seront dimensionnés pour couvrir la totalité des charges sans faire le délestage. Ce délestage sera présent dans le cas de manque de puissance à délivrer en cas de maintenance ou une panne de l'un des groupes.

On représente les différents modes de fonctionnement d'après ISO 8528

1. Prime Running Power (PRP) ou mode de puissance principale : Charge variable, durée illimitée. Si la puissance affichée est la puissance PRP ou prime, le groupe électrogène pourra fournir une puissance inférieure ou

égale à la puissance affichée pendant une durée illimitée. Un groupe peut même dépasser brièvement sa puissance PRP (pour être précis, il peut la dépasser de 10% pendant une période qui n'excède pas une heure toutes les 12 heures et à condition que la durée totale des périodes de surcharges ne dépasse pas 25 heures par an). C'est en général la puissance PRP qui correspond le mieux aux besoins des utilisateurs. Il sera recommandé de charger au maximum le générateur à 70% de sa capacité de génération électrique;

2. Continuous Operating Power (COP) ou mode de puissance continue : Charge constante, durée illimitée. Si la puissance affichée est la puissance COP, le groupe électrogène pourra fournir cette puissance pendant une durée illimitée à condition que la charge soit constante (ce qui n'est pas le cas en général : la charge varie au fur et à mesure que des appareils sont allumés et éteints) ;
3. Limited-Time running Power (LTP): Charge constante, durée limitée (500 h/an). Si la puissance affichée est la puissance LTP, le groupe électrogène pourra fournir cette puissance pendant au maximum 500 heures par an à condition que la charge soit constante. Le groupe électrogène ne va évidemment pas s'arrêter de fonctionner lorsque l'utilisation dans l'année dépasse 500 heures mais sa durée de vie risque d'être dégradée et il nécessite plus de maintenance que ce qui avait été prévu par le fabricant ;
4. Emergency Stand-by Power (ESP) ou la puissance de secours : Charge variable, durée limitée (25h/an à 100%, 200 h/an à 80%). Si la puissance affichée est la puissance ESP, le groupe électrogène pourra fournir cette puissance à une charge variable pendant au maximum 25 heures par an et pourra fournir 80% ou moins de cette puissance pendant au maximum 200 heures par an. Aucune surcharge n'est possible.

4.2.2 La courbe de charge journalière :

Le temps de coupure journalier est au moyen de 4h ce qui donne 1460h/an dont la charge est très variable. Les charges les plus variables sont celles des chambres alimentées par les tableaux secondaires (SMDB-1F...SMDB-7F) puisqu'il y a plusieurs types de clients (touristes, étudiants, hommes d'affaires...). D'une part, il

sera recommandé de faire fonctionner les générateurs en mode Prime Running Power (PRP) ou mode de puissance principale qui est convenable au cas de l'installation (annexe p. 186-190). D'autre part, un groupe diesel chargé à moins de 30 % tournera à froid, empêchant la combustion complète entraînant la dégradation rapide de l'huile de lubrification. Donc chaque générateur doit fonctionner entre les 2 limites 0.3 et 0.7xPn (Pn puissance maximale délivrée par le générateur).

La détermination des capacités des générateurs et leurs nombres dépendent principalement de la courbe de charge journalière et saisonnière. On aura 4 cas (Tableau I):

1. En été et surtout à la soirée : la consommation est maximale due à l'occupation de 80% des chambres (par estimation) avec la mise en marche de tous les services, les magasins et le cinéma sont ouverts;
2. En hiver : la consommation affectée par l'occupation chute jusqu'à 25% ;
3. Au matin : tous les clients sont dans leurs chambres utilisant leur cuisinières (kitchenette) pour préparer leur déjeuner et les magasins s'ouvrent ;
4. Durant la journée, la consommation est faible dans l'hôtel mais les magasins et le cinéma sont exploitées;
5. Après minuit : seul les chambres et la moitié des services consomment la puissance ;

Tableau I : nombre de générateurs à mettre en marche selon la charge saisonnière et journalière

COURBE DE CHARGE	CONSOMMATION S (kVA)	PUISSANCE EN MODE PRIME $S'=1.3 \times S$	PUISSANCE DES GEN. DE 655kVA EN PARALLEL	NB DE GEN. EXIGE	NB GEN. EN VEILLE PRAIT POUR L'ALTERNANCE
ETE-SOIREE	1320	1716	1965	3	0
HIVER	950	1235	1310	2	1
MATIN	717	932.1	1310	2	1
MIDI	1037	1348.1	1310	2	1
MINUIT	334	434.2	655	1	2

La puissance maximal dans le cas extrême est en été avec la puissance 1320kVA et avec une majoration de facteur 1.3 qui correspond au mode (prime) on aura $S=1320 \times 1.3=1716$ kVA. Si on met 3 générateurs en parallèle, la puissance d'un générateur est $1716/3=572$ kVA. Pour que ces générateurs soient compatibles à tous les cas du tableau la capacité convenable est de 655kVA. On conclut alors qu'on a besoin de 3 générateurs de 655kVA. Il faut avoir un programme de maintenance

préventif pour assurer la continuité de l'alimentation en cas de coupure de la source principale surtout s'il n'y pas de générateur en veille pour la redondance.

4.2.3 Les pics de courants :

Les charges absorbant des courants d'appels sont :

1. Le démarrage des moteurs : la plupart des moteurs sont monophasés et de petites capacités (annexe p. 182-184) donc leur démarrage ne perturbe pas le fonctionnement des générateurs. Pour les grands moteurs comme les ascenseurs et les refroidisseurs, ils seront commandés par des variateurs de vitesse évitant les courants élevés de démarrage;
2. Les capacités de correction de facteur de puissance : ces capacités seront déconnectées en cas de coupure de la source principale pour éviter la surtension des générateurs ;
3. La commutation des grandes charges : les ATS des charges seront connectés et déconnectés progressivement (tableau IV p. 75). Ces contacteurs seront retardés quelques secondes. Par exemples les contacteurs des chambres de l'étage 1 et 2 seront commandés par des temporisateurs à 1 sec. Le deuxième et le troisième 2 sec et la dernière 4 sec avec 10sec pour le démarrage des groupes diesel ceux qui est relativement court pour la sécurité et la performance des clients. ;

Par conclusion, il n'y a pas de problème de surcharges transitoires pouvant perturber les générateurs.

4.2.4 Les harmoniques :

Les harmoniques provoquent l'échauffement des alternateurs et causent la distorsion de tension au niveau du stator. Il sera recommandé d'après la norme IEEE de choisir un générateur de réactance $X'_d=0.12m\Omega$ pour limiter la distorsion de tension causée par le courant harmonique des charges non linéaires donc il faut augmenter l'impédance.

Il y a plusieurs solutions pour traiter le problème des harmoniques :

1. Utiliser un filtre d'harmonique : il est efficace mais possède des inconvénients. Lorsque la charge est faible, la capacité du filtre injecte de puissance réactive excessive sur les générateurs et engendrent des surtensions et perturbent la

régulateur de tension. Les générateurs seront surexcités et peuvent endommager l'alternateur et un déclenchement de protection. S'il y aura un filtre, il faut prendre en considération que l'alternateur peut accepter l'inversion de puissance réactive jusqu'à 10% de sa capacité de puissance réactive. Les disjoncteurs de type MCCB et les modules de synchronisations sont dotés de la protection contre le retour de puissance assurant ainsi la stabilité des alternateurs ;

4.2.5 L'environnement :

La température de la salle des générateurs ne doit pas dépasser les valeurs recommandées ou par conséquent il faut les surdimensionner. Cette étude doit être faite par les ingénieurs en énergétiques ou le fournisseur des générateurs. Ce dernier vend et installe les groupes électrogènes avec la conception et la fondation de la chambre des générateurs avec tous les équipements auxiliaires, la ventilation, les radiateurs et les réservoirs de combustible.

4.3 Synchronisation des générateurs (Figure 21):

La synchronisation est la méthode à coupler les générateurs sur un même jeu de barres en assurant les conditions avant le couplage :

1. Les tensions des phases des générateurs doivent être égales, sinon il y aura une fluctuation de valeur de tension fourni pouvant dégrader la qualité de puissance ;
2. Même séquence de phases ;
3. Même fréquence.

4.3.1 Les avantages de synchronisation :

1. Economie de combustible en optimisant la puissance délivrée nécessaire à chaque instant selon la charge. Cette puissance est proportionnelle à la quantité absorbée par le moteur diesel et contrôlé par le gouverneur électronique ;
2. Possibilité de redondance en cas de maintenance préventive ou corrective ;

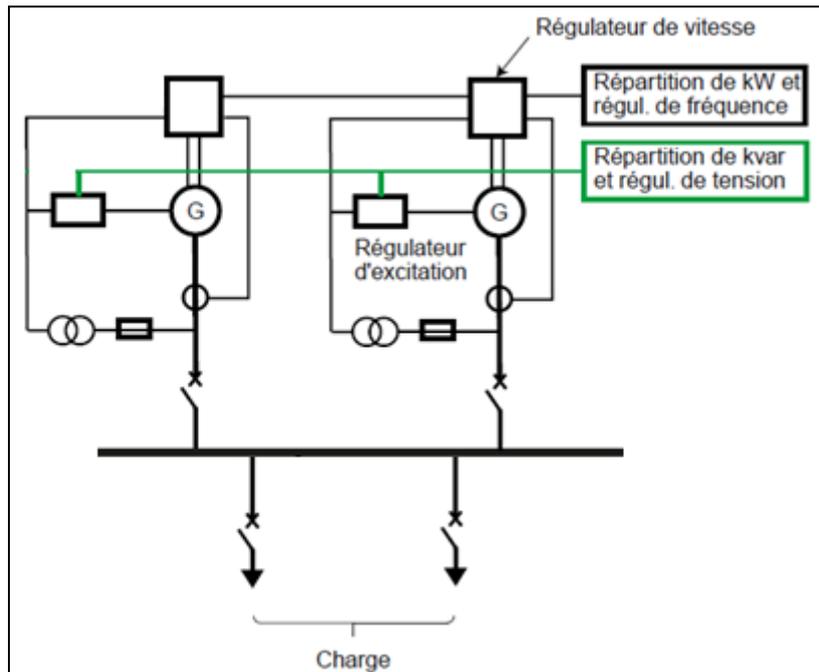


Figure 21 : Fonctionnement parallèle des groupes électrogènes

4.3.2 Le fonctionnement de synchronisation et de management de puissance:

Le module de synchronisations assure le démarrage du générateur, sa protection et la communication avec les autres modules pour optimiser la puissance totale.

La synchronisation exige plusieurs étapes :

1. Faire marcher le démarreur du moteur de l'entraînement;
2. Ouvrir la valve pour circuler le combustible ;
3. Régulation de la vitesse du moteur pour arriver à la vitesse correspond a 50Hz par le contrôle du débit du combustible par le gouverneur électronique ;
4. Régulation de la tension du stator en contrôlant le courant d'excitation du rotor ;

4.4 Le tableau de synchronisation MDB-G :

C'est le tableau de synchronisation qui fait brancher les 3 générateurs au jeu de barre commun pour alimenter MDB. Il sera localisé dans la salle des générateurs pour faciliter la maintenance, les tests et de réduire la distance entre MDB-G et les générateurs pour faciliter l'installation des câbles et leur conduit. Alors la distance est estimée de 5m (local des générateurs annexe p. 161).

4.4.1 Les composants du tableau :

Pour obtenir la synchronisation, on doit posséder les éléments suivants :

1. Dispositif de commutation qui est un contacteur ou bien un disjoncteur motorisé ;
 - 1.1 Le disjoncteur est plus recommandé pour plusieurs raisons :
 - 1.2 il joue le rôle de la protection du câble et de l'alternateur ;
 - 1.3 commande possible par le dispositif de motorisation ;
 - 1.4 communication avec le PC de tous les évènements et les défauts produits au niveau du disjoncteur ainsi que sa performance pour faciliter la maintenance préventive ;
 - 1.5 en cas de remplacement du contacteur, il faut avoir un interrupteur entre le JDB et le contacteur afin d'isoler lors de la maintenance et éviter la coupure totale de l'alimentation des groupes électrogènes. Tandis que pour le cas du disjoncteur, on peut choisir le type débrochable;
 - 1.6 dans le cas où un disjoncteur est mis directement près de l'alternateur, le dispositif de commutation sera alors un interrupteur motorisé de type MCCB et débrochable;
2. module de synchronisation avec les dispositifs de contrôle (relai, lampes témoin, bouton d'arrêt d'urgence, les fusibles et transformateurs de courant) pour chaque générateur ;
3. jeu de barre mettant en parallèle les 3 générateurs ;
4. tableau électrique assemblant tous ces composants ;
5. câble de puissance connectant ce tableau à MDB ;
6. dispositif de protection du niveau de jeu de barre qui est branché au MDB au moyen d'un câble de puissance.

Donc le tableau sera constitué de 3 interrupteurs alimentés chacun par un câble de 5m et protégés par le disjoncteur juste en aval du générateur. Ces 3 interrupteurs qui sont de type MCCB, débrochables et motorisés sont branchés sur le jeu de barre. Ce dernier sera protégé par le disjoncteur qui alimente MDB. Donc il faut déterminer, le disjoncteur principal et les disjoncteurs en aval des générateurs, le jeu de barre, les interrupteurs et les câbles en amont des 3 générateurs.

4.4.2 Le disjoncteur en aval du générateur :

Il faut tout d'abord déterminer le court-circuit au niveau du générateur engendré par le défaut maximal caractérisé par le court-circuit des 2 autres générateurs.

Calcul de court-circuit :

Ce calcul exige la détermination des impédances, des câbles et les générateurs.

Pour le générateur :

En se référant sur les documents des générateurs choisis pour la firme de ABB, on aura pour l'alternateur de série AMG 0315CC04, de puissance 655kVA et de tension 380/220V (annexe p. 232, 233) le calcul correspond :

Phase sub-transitoire: elle est caractérisée par la réactance transitoire $X''_d=0.252\text{m}\Omega$ dans le cas non saturé du stator (25.2% de la valeur de l'impédance du stator) et de constante de temps $T'_d = 17 \text{ ms}$;

$$X_g = \frac{x''_d(\%) \times U_o}{S} = \frac{0.252 \times 220}{655} = 85\text{m}\Omega \text{ [6];}$$

$$R_g = 0.1X_g = 8.5\text{m}\Omega;$$

Pour le câble :

Pour la détermination du câble connectant le générateur au tableau principal MDB, on peut appliquer la même méthode que celle pour le conducteur du transformateur (voir chapitre 3 paragraphe 3.6) :

5. Le courant d'emploi est égale à $I = \frac{0.7 \times S}{3 \times V} = \frac{0.7 \times 655}{3 \times 220} = 696\text{A}$;
6. Le mode de pose est le chemin de câbles perforée. Il y a 2 cas : E pour des câbles monoconducteurs et F pour les câbles multiconducteurs. On choisira le cas de monoconducteur donc le mode E (Figure 9). Puisque la température des milieux parcourus ne dépassera pas 35°C, car ils seront climatisés ou au moins ventilés, on choisira le cas d'isolation PVC moins chère que les autres gaines (Figure 10). Pour le cas extrême de température 35°C, il y a le facteur de correction $K_1=0.94$ (Figure 11);
7. Le chemin de câbles peut contenir 3 autres circuits alimentant des charges et par suite il y a le facteur de correction $K_4=0.82$ (Figure 12);

8. Finalement pour $I_z \geq I_b' = \frac{I_b}{K_{fsn}} = \frac{696}{K_1 K_4 \cdot 1 \cdot 2} = 451A$, le mode E et l'isolation 2PVC et $K=0.94 \times 0.82$ on prend une marge minimale recommandée de 10% qui correspond à $451 \times 1.1 = 496A$. D'après le tableau 14 et pour mode de pose E et de section $240mm^2$, $I_z = 500A$ c'est la valeur de courant admissible pour 2 câble à isolation PVC (Figure 14);
9. Donc le câble sera 4x(4C, 240mm² CU/PVC/PVC+PE 1x120mm² PVC) ;
10. $R_c = \rho_o \times 10^3 \times \frac{L}{n_{ph} \times S_{ph}} = 0.01851 \times 10^3 \times \frac{5}{4 \times 240} = 0.096m\Omega$ (Eq. 6)
(résistance du câble) ;
11. $X_c = \lambda \frac{L}{n_c} = 0.08 \times \frac{5}{4} = 0.1m\Omega$ (Eq. 7) (inductance du câble);

Pour le jeu de barre:

Le jeu de barre sera de même caractéristique que celui dans MDB-TR (2x100x10mm) puisque le courant d'emploi est le même, on a alors :

$$R_{jdb} = \rho \times L / S = 18.51 \times 3 / (2 \times 100 \times 10) = 0.027m\Omega;$$

$$X_{jdb} = 0.15 \times L = 0.15 \times 3 = 0.45m\Omega;$$

Au jeu de barre, l'impédance équivalente d'un générateur, son câble avec celui du jeu de barre est :

$$R_S = R_g + R_c + R_{jdb} = 8.5 + 0.096 + 0.027 = 8.623m\Omega ;$$

$$S_X = X_g + X_c + X_{jdb} = 85 + 0.1 + 0.45 = 85.55m\Omega ;$$

$$I_{k3(G1)} = \frac{1.05 \times 1.05 \times 380 / \sqrt{3}}{\sqrt{8.623^2 + 85.55^2}} = 2.8kA$$

On choisit d'étudier le court-circuit sur le disjoncteur en aval du générateur (G1). On doit alors calculer l'impédance du jeu de barre pour estimer l'effet d'un générateur puis cette valeur doit être multipliée par n-1, le nombre de générateur en parallèle (méthode valable pour des générateurs de puissance égales) puis déterminer le court-circuit sur le disjoncteur en prenant en considération le parcours du câble de 30m jusqu'au générateur G1.

Donc au niveau de JDB :

$$I_{k3} (2 \text{ gen.}) = 2 \times I_{k3} = 8.66 \text{ kA} = I_{k3} (2 \text{ gen}) = \frac{2 \times c_{\max} \times m \times U_0}{\sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2}} = \frac{c_{\max} \times m \times U_0}{\sqrt{(\Sigma R/2)^2 + (\Sigma X/2)^2}}$$

(Eq. 8)

$$\text{Au niveau de G1 : } I_{k3} (G1) = \frac{c_{\max} \times m \times U_0}{\sqrt{(\Sigma R/2 + R_C)^2 + (\Sigma X/2 + X_C)^2}} =$$

$$\frac{1.05 \times 1.05 \times 380 / \sqrt{3}}{\sqrt{(8.623/2 + 0.096)^2 + (55.55/2 + 0.1)^2}} = 2.82 \text{ kA}$$

Donc le disjoncteur doit avoir $I_{cu} > 2.82 \text{ kA}$.

1. Le courant nominal du générateur $I_{rg} = \frac{S \times 0.7}{\sqrt{3} \times U_0} = \frac{655 \times 0.7}{\sqrt{3} \times 380} = 696 \text{ A}$ (la valeur 0.7 correspond au facteur de charge pour le mode de puissance principale) ;
2. Le déclencheur du disjoncteur est de type électronique et il aura les caractéristiques suivantes (Figure 22) (annexe p. 193, 194):
 12. Le disjoncteur choisit est de série T6N 800 PR221DS-LS/I $I_n = 800$;
 13. Le courant nominal $I_n = 800 \text{ A} \geq I_{rg}$. $I_{rg}/I_n = 0.87$ donc le courant de réglage de surcharge $I_r = I_n \times 0.9 = 720 \text{ A}$ et à la courbe d'emballement du générateur doit être à gauche de la courbe de déclenchement de surcharge ;
 14. La valeur de déclencheur de courte durée de court-circuit doit être entre 1.5 et $4I_n$. Ces valeurs doivent être configurées pour intercepter avec la valeur de court-circuit présumé lors de la phase transitoire du générateur ;
 15. Le court-circuit est $I_{k3} = 2.82 \text{ kA} < I_{cu} = 36 \text{ kA}$, une condition nécessaire pour la durée de vie du disjoncteur ;
 16. La courbe de déclenchement de surcharge de courte durée (S) peut être réglé de façon pour qu'il n'intercepte pas avec la phase transitoire du générateur en démarrage ;

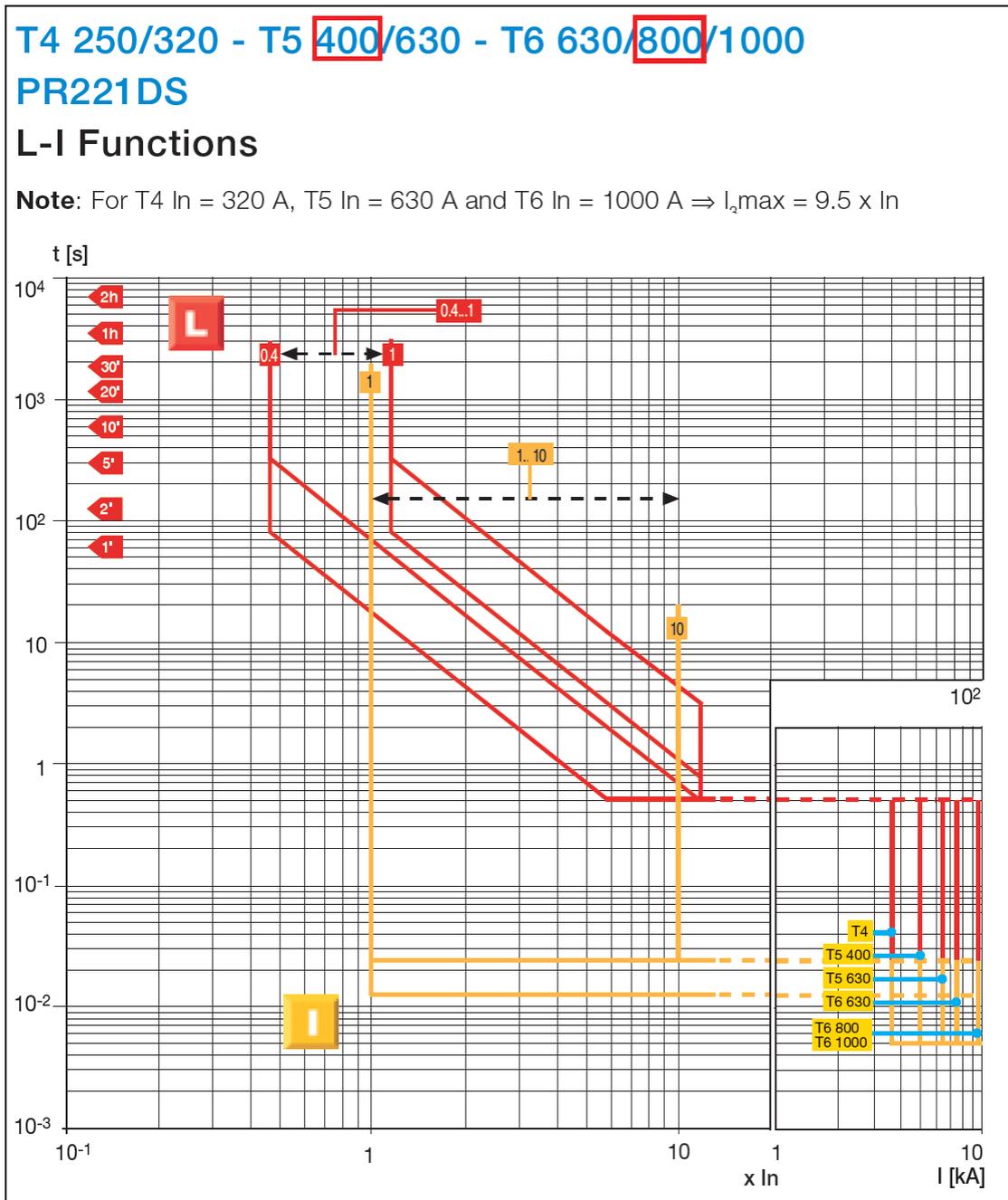


Figure 22 : Courbes de déclenchement pour disjoncteurs avec déclencheurs électroniques

4.4.3 L'interrupteur de G1 au niveau de MDB-G :

L'interrupteur aura un double rôle, mettre en parallèle le générateur sur le JDB et le sectionnement pour la maintenance. La mise en parallèle est réalisée par le mécanisme d'enclenchement motorisé et ordonné par un signal de module de synchronisation correspond à son générateur. Son courant d'emploi est $I_n=800A > 696A$ et le courant $I_{cw}=38kA$ pour 1sec, un temps suffisant pour que le disjoncteur réagit dans un temps de quelque ms.

4.4.4 Le disjoncteur principal de MDB-G :

Le court-circuit présumé au JDB est la valeur du court-circuit d'un générateur multiplié par 3 qui est le nombre de générateurs en parallèle. On a déjà calculé pour un générateur $I_{k3}=2.82kA$ donc $I_{k3}(3gen)=3 \times 2.82=8.46kA$ et le disjoncteur choisit aura $I_{cu}=36kA > 8.46$ et de courant nominal $I_n=2000A > 1743A$. Ce disjoncteur sera de même type que celui de du transformateur (E3N PR121 LI 2000A) (annexe p. 191, 192).

4.4.5 Le conducteur entre MDB-G et MDB :

Puisque le courant d'emploi est le même pour les 2 sources, le conducteur sera de même caractéristiques (voir chapitre transformateur) qui est de type canalisation préfabriqué.

Chapitre 5. L'alimentation sans interruption:

5.1 Introduction :

Ce chapitre concerne le choix de l'alimentation sans interruption (ASI) et les batteries d'autonomie. L'ASI utilisé dans l'installation et qui est raccordé au tableau principal (MDB) sert à alimenter les charges critiques et les services indispensables pour la sécurité des personnes et de l'hôtel. Il alimentera les systèmes suivants :

1. Les cameras (CCTV et DVR) ;
2. L'alarme des incendies (FACP) ;
3. Le téléphone (PABX) ;
4. L'accès de sécurité (access control) ;
5. La musique et le système de l'annonce pour les alarmes.

5.2 Choix de type d'ASI (Figure 25) [7]:

Il existe 3 types d'ASI définis par la norme CEI 62040 et que je présenterai dans le paragraphe suivant.

5.2.1 ASI en attente passive (offline) :

Il est constitué d'un redresseur, des batteries et un onduleur mis en parallèle avec la ligne alimentant la charge. Cette charge est protégée par un filtre qui élimine certaines perturbations. En cas de rupture de l'alimentation sur la ligne directe ou si la qualité de tension et de fréquence est hors des tolérances spécifiées, l'onduleur assure un secours d'alimentation avec un temps de permutation court (10ms). L'ASI continue à débiter jusqu'à la durée d'autonomie des batteries.

Mais il présente plusieurs inconvénients :

1. Utilisable pour des faibles puissances (moins de 2 kVA) ;
2. Pas de contacteur statique provoquant ainsi un retard de permutation de l'ordre 10ms ;
3. Pas de by-pass de maintenance ;

D'autres inconvenants sont présentés dans la figure 24;

5.2.2 ASI en interaction avec le réseau :

Il contient un contacteur statique en série, un onduleur et un by-pass de maintenance. En mode normal, la charge est alimentée par l'ASI via le contacteur statique. Si les conditions du réseau ne sont pas satisfaites ou une discontinuité d'alimentation du réseau amont, l'onduleur se met en marche avec commutation sans délai et fonctionne jusqu'à la durée d'autonomie des batteries. Par suite le contacteur se bloque pour éviter la circulation de courant réversible. Mais ce système ne permet pas le réglage de la fréquence et la tension ;

5.2.3 ASI en double conversion (on-line) :

Ce type contient l'onduleur en série entre le réseau et la charge. En mode normal, la puissance délivrée à la charge se fait par la double conversion (redresseur-onduleur). En mode d'autonomie, l'onduleur et les batteries transfèrent la puissance vers la charge sans coupure au moyen du contacteur statique. En mode by-pass, le contacteur statique transfère la puissance et le lie au réseau amont. Ce type d'ASI comprend plusieurs avantages :

1. Pas de temps de permutation ;
2. Tension et fréquence de sortie indépendante du réseau et la charge est alimentée en permanence par l'onduleur ;

D'autres avantages sont présentés dans la figure 24;

POWER DISTURBANCE		PROTECTIVE DEVICE OFFER PROTECTION?				
		SURGE PROTECTOR	LINE FILTER	ISOLATION TRANSFORMER	VOLTAGE REGULATING LINE CONDITIONER	ON-LINE UPS
INTERRUPTION						YES
SAG, UNDER VOLTAGE					YES	YES
SURGE, OVER VOLTAGE					YES	YES
VOLTAGE FLUCTUATION					YES	YES
FREQUENCY VARIATION						YES
SPIKES / TRANSIENTS	IMPULSIVE	YES	YES			YES
	OSCILLATORY	YES	YES			YES
WAVEFORM DISTORTION	DC OFFSET			YES		YES
	HARMONICS		YES			YES
	INTERHARMONICS					YES
	NOTCHING		YES			YES
	NOISE		YES	YES		YES
VOLTAGE IMBALANCE						YES

Figure 23 : Les diverses protections offertes par l'ASI de type en double conversion

Functions	Off-line	On-line
Transfer time to batteries when there is a mains failure	Yes	No
Protection against microbreaks less than 5 ms	No	Yes
Frequency regulation	No	Yes
Voltage regulation	No	Yes
Absorption of voltage surges	No	Yes
Filtering of harmonics	No	Yes
Absorption of load impacts (inrush current)	No	Yes

Figure 24 : Les avantages des 2 types d'ASI (offline et online)

5.3 La protection de l'ASI :

L'ASI présente des comportements particuliers comme le courant d'appel qui peut atteindre jusqu'à $8I_n$ mais pour un temps très court et le disjoncteur de type MCB ne réagit pas. Le court-circuit crée est relativement bas (2 à $3I_n$) donc le disjoncteur doit avoir la courbe de déclenchement de type Z caractérisée par le déclenchement magnétique à $3I_n$, ce disjoncteur protégera l'ASI du côté aval. Pour le côté amont, le disjoncteur aura le pdc de celui de l'installation. L'ASI a une capacité $S=25kVA=3 \times 220 \times I_n$ donc le courant nominal du disjoncteur doit être égale à 40A (annexe p. 198, 199).

Les DDR doivent être de type B (CEI 62040-1) pour éviter son déclenchement intempestif due au courant de fuite des condensateurs du filtre associé à l'ASI (ces condensateurs sont placés entre les conducteurs actifs et terre).

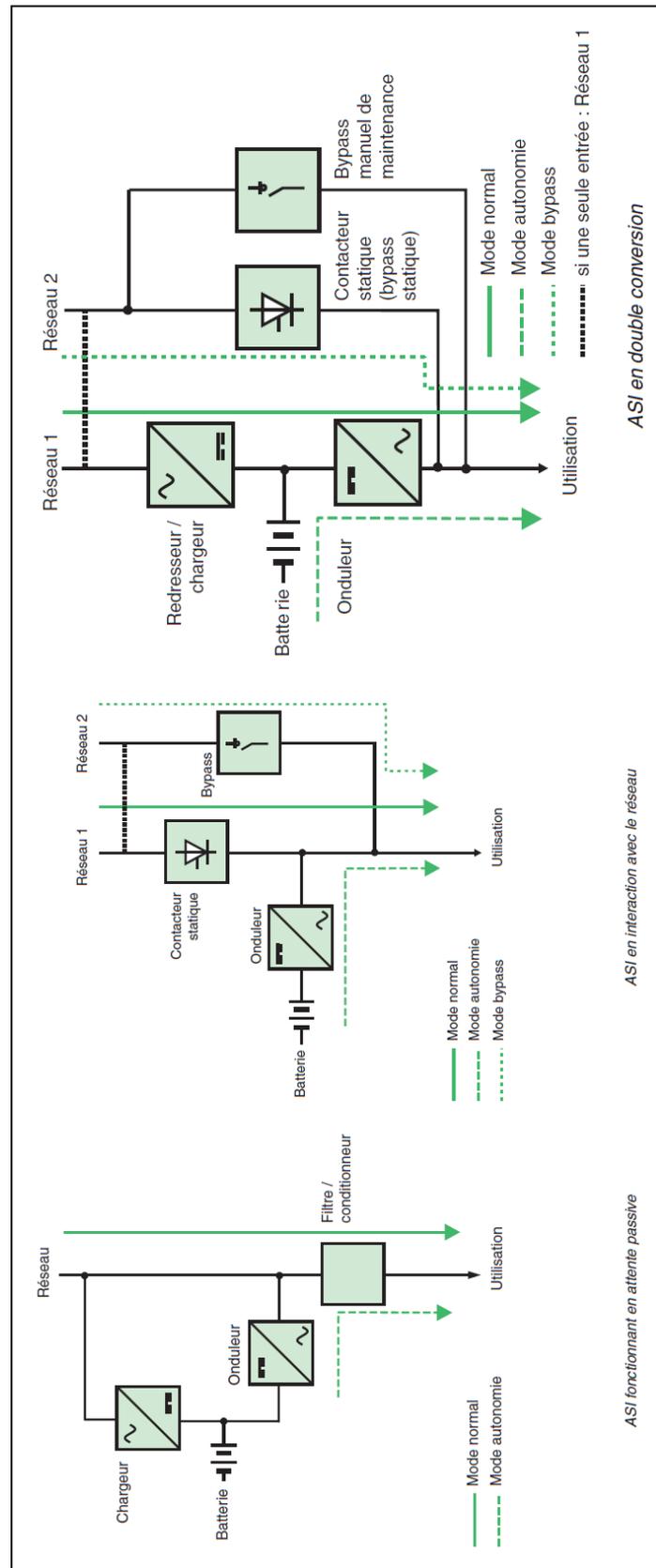


Figure 25 :Le schéma des 3 types d'ASI

5.4 Les batteries :

5.4.1 Type de batteries d'autonomie :

Pour l'ASI, il y a 3 types utilisés dont ils se distinguent par la durée de vie et le coût d'achat :

1. Etanche au plomb, leur maintenance est facile et ne nécessite pas de local spécifique ;
2. Ouvert au plomb ;
3. Ouvert au nickel-cadmium.

5.4.2 Le dimensionnement des batteries :

Le calcul qui suit sera conforme à la norme normal IEEE Std 485 (1997, R2003) et IEEE Std 1115 (2000, R2005).

5.4.3 L'autonomie :

Le temps nécessaire pour alimenter les charges dépend du temps de transfert entre les sources de tension (transformateur et générateurs) qui est de l'ordre 10 à 20 sec s'il y a un retard de démarrage des générateurs ou un défaut sur un des groupes et il faut faire un délestage pour stabiliser la tension et la fréquence de l'installation ou même un défaut sur le circuit amont de l'ASI. On prend le cas extreme où la source principale est interrompue (elle dure 3 heures en général) et que les générateurs sont en panne alors 3 heures sera le temps d'autonomie pour recharger les batteries de nouveau.

$S_d = S_p \times (1 + K_g) \times (1 + K_c) = 12.3(1 + 0.1)(1 + 0.1) = 14.88 \text{ kVA}$ (Eq. 9) (paragraphe 5.4.4).

S_d : c'est la puissance apparente utile finale (VA);

S_p : puissance apparente totale avant correction (puissance total de UDB $p = 9.85 \text{ kW}$ et $\cos\phi = 0.8$ donne $S = 12.3 \text{ kVA}$);

K_g : facteur extension (%) (prise 10% c'est-à-dire 0.1) ;

K_c : taux d'erreur de calcul (pris égale à 1.1 ou 10%) ;

L'ASI fonctionne de façon optimale lorsqu'il est chargé à 70% de sa capacité maximal donc sa puissance apparente doit être $S \geq S_d / 0.7 = 14.88 / 0.7 = 21.25 \text{ kVA}$. Les ASI dans le marché ont des dimensions normalisées (8, 10, 12, 16, 20, 25kVA...), la

valeur la plus proche sera 25kVA qui correspond à la capacité de l'ASI alimentant UDB (tableau II page 59).

$$E_d = S_d \times t_a = 14.88 \times 3 = 44.64 \text{ kVAh (Eq. 10);}$$

$$N_{\max} = \frac{V_{dc}(1+V_{1,\max})}{V_c} = \frac{120 \times (1+0.5)}{2.25} = 58,6 ;$$

$$N_{\min} = \frac{V_{dc}(1-V_{1,\min})}{V_c} = \frac{120 \times (1-0.1)}{1.9} = 56.8 ;$$

On prend alors une valeur entre les 2 (N_{\min} et N_{\max}) sinon plus grand que N_{\max} . Les nombres normalisés sont (12, 24, 60, 120) donc le nombre sera 60 ;

N_{\max} : nombre maximal de cellules d'une batterie à définir ;

N_{\min} : nombre minimal de cellules d'une batterie à définir ;

$V_{1,\max}$: tolérance de tension maximale permise de la charge (+5% correspond à 230V par rapport à 220V, la tension nominal);

$V_{1,\min}$: tolérance de tension minimale permise de la charge (-5% correspond à 210V par rapport à 220V, la tension nominal);

V_c : tension d'une cellule de la batterie étudiée (V_{dc}), (par défaut 2.25V cc);

V_{dc} : tension nominal de la batterie (on choisit 48V cc) (V_{dc}) ;

$$C_{\min} = \frac{E_d \times K_a \times K_t \times K'_c}{V_{dc} \times K_{\text{dod}}} = \frac{44.64 \times 1.25 \times 0.956}{48 \times 0.8} = 1389 \text{ Ah (Eq. 11) ;}$$

Les valeurs des capacités normalisées (Ah) sont 40, 50, 60, 70, 80.... Si on prend 50Ah alors on a besoin de 28 batteries ($1389/50=27.78$ on prend 28) ;

C_{\min} : capacité minimale de la batterie (Ah) ;

E_d : c'est l'énergie utile finale ($E_d=(VAh)$);

E_t : profile des charges c'est-à-dire on choisit la charge qui a besoin le plus long temps d'autonomie et cette valeur sera multipliée par la puissance active totale et le facteur de simultanéité ($K_s=1$)

K_a : taux de vieillissement de la batterie (valeur générale 1.25) ;

t_a : la plus grande autonomie d'une charge (3 heures pour tous les charges) ;

K_t : facteur de correction (%) selon la température ambiante (on prend une valeur 30°C qui correspond à 0.956) (annexe p. 218) ;

K_c' : chute de tension transitoire de la batterie au premiers instant de la décharge (estimée à 1.1 c'est-à-dire une chute de tension de 10%);

Kdod : taux de décharge d'une batterie avant la recharge de nouveau (par défaut on prend 80% ou 0.8) ;

Tableau II : Tableau divisionnaire alimente par l'ASI

CHARGE	TYPE CHARGE	REF	NB DE PHASE	P (kW)	Q (kVAR)	cosΦ	Ks1	Pu (kW) PHASE R	Pu (kW) PHASE S	Pu (kW) PHASE T	Qu (kVAR) PHASE R	Qu (kVAR) PHASE S	Qu (kVAR) PHASE T	
RECEPTION GD FLOOR	CAMERA	LC1	1	0.2	0.15	0.8	1		0.20			0.15		
PARKING LEVEL 3		LC2	1	1.2	0.90	0.8			1.20				0.90	
PARKING LEVEL 4		LC3	1	0.3	0.19	0.8					0.25			0.19
PARKING LEVEL 5		LC4	1	2.5	1.88	0.8			2.50			1.88		
CORRIDOR 1ST FLOOR		LC5	1	0.2	0.11	0.8				0.15				0.11
CORRIDOR 2ND FLOOR		LC6	1	0.3	0.23	0.8					0.30			0.23
CORRIDOR 3RD FLOOR		LC7	1	0.3	0.23	0.8				0.30				0.23
CORRIDOR 4TH FLOOR		LC8	1	0.3	0.23	0.8				0.30				0.23
CORRIDOR 5TH FLOOR		LC9	1	0.3	0.23	0.8					0.30			0.23
CORRIDOR 6TH FLOOR		LC10	1	0.3	0.23	0.8					0.30			0.23
CORRIDOR 7TH FLOOR		LC11	1	0.4	0.26	0.8				0.35				0.26
METER ROOM			LC12	1	0.6	0.45		0.8			0.60			
INFORMATION GF	PRISE DE COURANT ASI	LC13	1	0.4	0.30	0.8		0.40			0.30			
MFAFCP	FIRE ALARM PANEL	LC14	1	0.4	0.30	0.8			0.40				0.30	
EPABX/MDF	TEL CABINET	LC15	1	0.4	0.30	0.8				0.40			0.30	
DVR/MON	DVR/MONITOR	LC16	1	0.4	0.30	0.8				0.40			0.30	
ACU	ACCESS CONTROL	LC17	1	0.2	0.15	0.8			0.20				0.15	
MUSIC RACK	MUSIC RACK	LC18	1	0.4	0.30	0.8				0.40			0.30	
UDB								TOTAL	2.90	3.10	2.95	2.18	2.33	2.21
								Ke	1.10					
								TOTAL	3.19	3.41	3.25	2.39	2.56	2.43
									9.85		7.38			
								cosphi global	0.80					

Chapitre 6. Les tableaux électriques principaux :

6.1 Introduction :

Ce chapitre concerne 3 tableaux principaux servant à connecter les sources aux charges en assurant les fonctions de service et de protections nécessaires. On commencera par le tableau MDB-TR qui est alimenté directement du transformateur et alimentant MDB-EDL qui a son tour est branché à MDB. On débutera par définir la protection (les disjoncteurs) avec leur sélectivité, la filiation, le contrôle (les contacteurs, le contrôle de management de puissance, de délestage, et de contrôle de transfert automatique), la protection contre les surtensions d'origine atmosphérique et les interférences électromagnétiques et enfin la mesure et l'affichage des paramètres électriques. Puis après reconnu les dispositifs à utiliser, on dimensionnera le tableau en déterminant ses caractéristiques (IP, IK, forme de séparation, type d'assemblage, la mise à la terre et le schéma illustré du forme du tableau). Pour finir, on traitera le problème de l'échauffement au sein du tableau. L'étude détaillée sera faite pour MDB.

6.2 Le tableau MDB-TR :

Ce tableau qui sera installé dans la salle électrique au rez-de-chaussée, sert à connecter le transformateur aux appareils de mesure de l'énergie (kWh) installés par EDL. L'installation est divisée en 6 parties alimentant 6 consommateurs (hôtel, cinéma, magasin-1, magasin-2, magasin-3, magasin-4) (tableau III p. 65) dont chacun possède l'ensemble du disjoncteur et appareil de mesure de l'énergie électrique. Ce tableau est constitué d'un disjoncteur principal alimenté par le transformateur, d'un jeu de barres branché en aval et des disjoncteurs de distribution vers MDB-EDL (annexe p. 165).

6.2.1 Interrupteur principal :

Le tableau est protégé par le disjoncteur juste en aval du transformateur et les circuits en aval de MDB-TR seront protégées par les disjoncteurs connectés en aval du JDB donc il n'y a pas de problème à installer un interrupteur à la tête du tableau. Il reste à vérifier la protection du JDB et l'interrupteur par le disjoncteur transformateur ainsi que la sélectivité avec les disjoncteurs avals. Le courant d'emploi est $I_b=1743A$ (annexe p. 165), on choisit l'interrupteur de courant nominal $I_n=2000A$ et de courant

assigné de courte durée admissible $I_{cw}=50\text{kA}$ pour 1sec une durée suffisante pour que le disjoncteur amont déclenche sans endommager l'interrupteur (le déclenchement à ce courant est de quelque ms).

6.2.2 Le jeu de barre :

Pour un courant d'emploi $I_b=1743\text{A}$ on peut choisir le jeu de barre de $3\times 100\times 10\text{mm}$ (Figure 27) installé dans un tableau de $\text{IP}>30$ (l'indice IP est pris plus grand que 30 pour une protection plus sûre contre l'humidité et les poussières mais au détriment du courant permissible qui sera plus petite due à l'échauffement) $I_z=2400\text{A}>I_b=1743\text{A}$. On a vu dans le chapitre du transformateur que le disjoncteur est réglé avec longue durée $I_1=2000\text{A}<2400\text{A}$ alors ce JDB est protégé contre les surcharges. Il faut s'assurer que le disjoncteur en cas de court-circuit peut protéger le jeu de barre, on a la contrainte thermique maximal est $I_{cw}=405\text{kA}$ pour 1sec, pour un court-circuit de $80\text{kA}<405\text{kA}$ le disjoncteur déclenche en 70ms donc le jeu de barre est protégé.

6.2.3 Les forces électrodynamiques :

Ce phénomène se manifeste lorsque 2 conducteurs parallèles sont parcourus par des courants, deux cas s'imposent :

- a) si les 2 courants circulent dans le même sens de circulation, il y a attraction des conducteurs ;
- b) pour le cas contraire, il y a répulsion.

La contrainte devient plus violente et même destructive en cas de court-circuit où la force électrodynamique est proportionnelle au carré du courant et inversement à la distance entre les 2 conducteurs ($F=2.10^{-7}I^2/d$) (Eq. 12). Cette contrainte attaque surtout les supports des jeux de barres (Figure 29) et les connexions des câbles.

Donc pour remédier à ces effets, les fabricants déterminent des distances maximales à ne pas dépasser entre les supports des jeux de barres : à partir de la valeur I_{pk} (courant de crête limitée) on peut déterminer les distances maximales (D) entre les supports. Plus cette distance est grande plus I_k admissible sera élevée, le support peut plus résister aux forces électrodynamiques en court-circuit. Pour les supports unipolaires plus l'espacement (E) entre les barres est grande plus I_k admissible sera élevée. Pour un court-circuit maximale du tableau $I_{k3}=39.4\text{kA}$ $I_{pk}=2.2\times I_{cc3}=125\text{kA}$,

on prend la valeur la valeur normalisée qui est 130kA qui correspond à 70cm entre 2 supports de JDB (Figure 28);

$I_{pk} \text{ (peak)} = n \times \text{prospective rms } I_k$

Prospective rms I_k (kA)	n
$I_k \leq 5$	1.5
$5 < I_k \leq 10$	1.7
$10 < I_k \leq 20$	2
$20 < I_k \leq 50$	2.1
$50 < I_k$	2.2

Figure 26: Coefficient (n) de la valeur crête de court-circuit

Courant assigné de crête admissible (I_{pk}) :

Valeur de crête du courant de court-circuit déclarée par le fabricant d'ensemble à laquelle il peut résister dans des conditions spécifiées.

Courant assigné de courte durée admissible (I_{cw}) :

Valeur efficace du courant de courte durée, déclarée par le fabricant d'ensemble, qui peut être transporté sans dommage dans des conditions spécifiées, définies en termes de courant et de durée.

Rigid flat copper bars, 10 mm thick					
I_e (A) $IP \leq 30$	I_{the} (A) $IP > 30$	Number	Dim. (mm)	I^2t (A ² s)	$I_{cw_{1s}}$ (A)
880	650	1	50 x 10	4.56×10^9	67,500
1250	1050	2	50 x 10	1.82×10^{10}	135,000
2000	1600	3	50 x 10	4.10×10^{10}	202,500
1000	800	1	60 x 10	6.56×10^9	81,000
1600	1250	2	60 x 10	2.62×10^{10}	162,000
2250	1850	3	60 x 10	5.90×10^{10}	243,000
1150	950	1	80 x 10	1.17×10^{10}	108,000
1700	1500	2	80 x 10	4.67×10^{10}	216,000
2500	2000	3	80 x 10	1.05×10^{11}	324,000
1350	1150	1	100 x 10	1.82×10^{10}	135,000
2000	1650	2	100 x 10	7.29×10^{10}	270,000
2900	2400	3	100 x 10	1.64×10^{11}	405,000
1650	1450	1	120 x 10	2.62×10^{10}	162,000
2500	2000	2	120 x 10	1.05×10^{11}	324,000
3500	3000	3	120 x 10	2.63×10^{11}	486,000

Figure 27 : Caractéristique des jeux de barres en cuivre rigide de forme plat et de section 10mm [8]

Maximum distance (in mm) between multipole supports Cat. Nos. 373 24/25 with 10 mm thick bars									
Supports	373 24, 373 25 and 374 54 								
	Bars Ipk (peak) (in kA)	1 bar per pole			2 bars per pole			3 bars per pole	
		80 x 10	100 x 10	120 x 10	80 x 10	100 x 10	120 x 10	80 x 10	100 x 10
20	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
25	1600	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
30	1350	1550	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
35	1150	1300	1450	1700	1700	1700	1700	1700	1700
40	1050	1150	1300	1500	1700	1700	1700	1700	1700
45	900	1050	1150	1350	1550	1700	1700	1700	1700
50	850	950	1050	1200	1400	1550	1600	1700	1700
60	700	800	850	1000	1150	1300	1350	1550	1700
70	600	700	750	900	1000	1100	1150	1300	1500
80	550	600	650	750	900	1000	1000	1150	1300
90	500	550	600	700	800	900	900	1050	1100
100	450	500	550	600	700	800	850	900	950
110	400	450	500	550	650	750	750	800	800
120	350	400	450	550	600	650	700	750	750
130	350	350	400	500	550	600	650	700	700
140	300	350	400	450	500	600	600	650	650
150	300	350	350	450	500	550	550	650	600

Figure 28 : Distance maximale permmissible entre 2 supports [9]



Figure 29 : Jeu de barres avec leurs supports

6.3 Le câble de l'hôtel issu de MDB-TR :

Si on procède la mêmes méthode de calcul que celui du paragraphe 3.6, on aura :

1. Calcul des câbles : on prend l'exemple de la destination (hôtel) dont il faut avoir $I_z \geq I_b' = \frac{I_b}{Kf_{sn}} = \frac{901}{K_1 K_4 \cdot 1 \times 3} = 390A$ ce qui correspond à $2 \times 3 = 6$ câbles par phase de section 185mm^2 d'après la figure 14 p. 32 et correspond à $I_z = 424A$ pour mode de pose E avec 2 câbles d'isolation PVC. On aura alors le câble suivant : $6 \times (4C, 185\text{mm}^2 \text{ CU/PVC/XLPE+PE } 1 \times 95\text{mm}^2 \text{ PVC})$. Le même calcul sera fait et on aura les valeurs des câbles présentées dans figure 14 ;
2. Calcul de court-circuit :
 - 2.1 l'impédance du câble est calculée par la résistance ($R = \rho_o \cdot x 10^3 x \frac{L}{n_{ph} \times S_{ph}}$) (Eq. 13) et l'inductance ($X = \lambda \frac{L}{n_c}$) (Eq. 14);
 - 2.2 calcul de l'impédance depuis le réseau jusqu'à l'extrémité du câble du circuit : $\Sigma R = R_Q + R_t + R_{cph} + R = 0.035 + 1.6 + 35 \times 0.016 + R = 2.19\text{m}\Omega + R$;
 $\Sigma X = X_Q + X_t + X_{cph} + X = 0.35 + 5 + 35 \times 0.011 + X = 5.73\text{m}\Omega + X$ (paragraphe 3.7.3);
 - 2.3 le coefficient de chaque circuit est considéré égale à 0.93 après correction de facteur de puissance et qui affecte l'installation en amont du point du correcteur ;
 - 2.4 la protection du câble : D'après le bilan de puissance de MDB-TR, la charge de l'hôtel a pour les puissances sur les 3 phases (190.38 ; 182.23; 180.62) donc la puissance triphasé est : $P = 190.38 + 182.23 + 180.62 = 553.23\text{kW} = 3 \times 220 \times I_b \times 0.93$ donnant $I_b = 901.3A$ (0.93 facteur de puissance après correction) et le disjoncteur doit avoir le réglage contre la surcharge tel que $I_b < I_l < I_z$. Le réglage doit alors avoir $901/1250 = 0.72$ ce qui donne $I_r = 0.8 I_n = 1000$. Donc le disjoncteur sera de dimension $I_n = 1600A$ et de pouvoir de coupure pdc doit être plus grande que le court-circuit maximal qui est de 39.4kA (annexe p. 193, 194). On peut faire la même méthode pour les autres charges et on déterminera ainsi le tableau des disjoncteurs dans le tableau de MDB-TR.

Défaut	Résistivité	Conducteur Cu ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)	Conducteur Al ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
Icc maximum	ρ_0	0,01851	0,0294
Icc minimum	Disjoncteur $\rho_1 = 1,25 \rho_0$	0,02314	0,0368
	Fusible $\rho_1 = 1,5 \rho_0$	0,02777	0,0441
Id	$\rho_1 = 1,25 \rho_0$	0,02314	0,0368
Contraintes thermiques	$\rho_1 = 1,25 \rho_0$	0,02314	0,0368

Figure 30 : Résistivité des conducteurs en fonction du type de court-circuit avec ρ_0 résistivité à 20°C [10]

Câbles et poses	Réactance linéique λ (m Ω / m)
Câbles multiconducteurs ou câbles monoconducteurs en trèfle	0,08
Câbles monoconducteurs jointifs en nappe	0,09
Câbles monoconducteurs séparés de plus d'un diamètre	0,13

Figure 31 : Réactance linéique des conducteurs en fonction du type de câble et de mode de pose [10]

6.4 La chute de tension :

6.4.1 Le calcul :

La norme CEI 60364-5-52 recommande à ne pas dépasser la chute de tension 4% par rapport à la tension de l'installation entre la source de tension et la charge. Si elle dépasse cette valeur, il faudra surdimensionner la section du câble. Cette chute de tension ne prend pas en considération le cas des moteurs à démarrage créant des chutes de tension transitoires.

Le calcul de la chute de tension sera déterminé par l'équation (Eq.16) dans tous les tableaux.

$$u = \text{bx}(\rho_1 \frac{L}{S} \cos\varphi + \lambda x L x \sin\varphi) x I_b \text{ (Eq. 15) [11];}$$

Par définition :

I_b : courant d'emploi en ampère

L : longueur du câble en km

ρ : Résistivité d'un conducteur en $\text{m}\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

S : section en mm²

u : tension nominale entre phase et neutre ;

b : facteur qui est égale à 1 pour un circuit triphasé et 2 pour le monophasé ;

Pour ceux de n câbles la chute de tension sera divisée par n;

6.4.2 Les problèmes de chute de tension :

La chute de tension affecte la performance des équipements électriques :

1. Les moteurs: le couple moteur est proportionnel au carrée de la tension ($C_m=kV^2$) alors si V diminue, C_m sera proche du couple résistant de la charge et par suite le démarrage sera difficile ou même ne démarre pas;
2. Les lampes à incandescence: lorsque la chute de tension augmente, l'éclairage sera plus faible et la couleur devient rougeâtre;
3. Les lampes à décharge: en cas de chute de tension élevée, ces lampes s'éteindront;
4. Appareils électroniques (TV, DVD, PC...): elles sont très sensibles des variations de tension;
5. Dispositifs électromécaniques: les contacteurs, les électrovannes et les relais ne peuvent être stables pour des tensions moins de 85% de leur tension nominal.

Tableau III : tableau de MDB-TR

NOM TABLEAU	TABLEAU (DESTINATION)	NB DE PHASE	Ik3 (kA) JDB	P (kW)	Ib	Disjoncteur	cable
MDB-TR	HOTEL	3	39.4	569.0	1214.2	T7S 4P 1600	6x(4C, 240mm2 CU/PVC/XLPE+PE 1x120mm2 PVC)
	CINEMA	3		264.0	563.4	T5S 4P 630	4x(4C, 240mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x120mm2 PVC)
	SHOP-1	3		22.0	46.9	T2H 4P 50	4C, 10mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x10mm2 PVC
	SHOP-2	3		22.0	46.9	T2H 4P 50	4C, 10mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x10mm2 PVC
	SHOP-3	3		22.0	46.9	T2H 4P 50	4C, 10mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x10mm2 PVC
	SHOP-4	3		22.0	46.9	T2H 4P 50	4C, 10mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x10mm2 PVC

TABLEAU (DESTINATION)	R (mΩ)	X (mΩ)	ΣR (mΩ)	ΣX (mΩ)	IK3 (kA) (extremite cable)	LONGUEUR DU CABLE (m)	ΔU (V)	100ΔU/Un (en %)	Δu cumule (en %)	cosphi global
HOTEL	0.06	0.07	2.25	5.80	38.89	5	1.87	0.85	0.85	0.93
CINEMA	0.10	0.10	2.29	5.83	38.62		0.89	0.40	0.40	
SHOP-1	9.26	0.04	11.45	5.77	18.87		0.57	0.26	0.26	
SHOP-2	9.26	0.04	11.45	5.77	18.87		0.57	0.26	0.26	
SHOP-3	9.26	0.04	11.45	5.77	18.87		0.57	0.26	0.26	
SHOP-4	9.26	0.04	11.45	5.77	18.87		0.57	0.26	0.26	

6.5 La protection contre les surtensions transitoires :

La description du parafoudre est décrit dans le chapitre 14 paragraphe 14.8.1.

6.6 Le tableau MDB-EDL :

Ce type de tableau sera assemblé par une équipe de l'EDL et qui contient les disjoncteurs avec leurs compteurs d'énergie (kWh). On considérera que ces disjoncteurs sont de marque ABB et on devra les spécifier. L'installation est divisée en 6 parties alimentant 6 consommateurs (hôtel, cinéma, magasin-1, magasin-2, magasin-3, magasin-4). L'installation est constituée de 18 groupes de charges donc il faut calculer la consommation totale pour définir le disjoncteur et le câble correspondant de l'hôtel. Les disjoncteurs choisis par EDL doivent avoir les mêmes caractéristiques puisque le courant d'emploi est le même, le court-circuit presque le même (la distance entre les disjoncteurs de MDB-TR et ceux de MDB-EDL est de quelques mètres) et pas besoin de vérifier la sélectivité puisque chaque disjoncteur de MDB-TR a un disjoncteur qui lui est correspond dans MDB-EDL.



Figure 32 : Compteur d'énergie kWh

6.7 Le tableau MDB :

Le tableau principal consiste à connecter les sources aux tableaux secondaires au moyen des dispositifs de transfert automatiques (ATS). Il y a 2 sources principales, le premier c'est EDL, alimentée par le transformateur et le deuxième (source de remplacement) représenté par les groupes électrogènes.

6.7.1 Topologie du tableau :

Le tableau est constitué de 22 ATS de différentes dimensions (entre 9 et 284A) (Tableau IV p. 74). Chaque ATS comporte un interrupteur ou disjoncteur côté EDL, un disjoncteur côté générateurs et 2 contacteurs assurant le transfert entre les 2 sources avec un verrouillage électrique et mécanique évitant la commutation instantanée des 2 sources. Les disjoncteurs sont connectés aux groupes électrogènes via l'interrupteur principal et le jeu de barre de distribution. Les ATS de grandes dimensions seront connectés par des jeux de barres dans des sections isolées et les autres, ils seront fixés sur des plateaux métalliques avec des câblages groupés dans des goulottes (annexe p. 226, 227).

6.7.2 Les disjoncteurs :

6.7.2.1 Les disjoncteurs côté transformateur :

On a 2 groupes des circuits alimentés par MDB-EDL :

1. les circuits (cinéma et les 4 magasins) sont protégés chacun par un disjoncteur dans MDB-EDL et par suite le dispositif dans MDB peut être un interrupteur ;
2. les circuits de l'hôtel sont protégés par un disjoncteur principal et les câbles ont pour courant I_z largement inférieur au courant nominal donc il est nécessaire d'installer des disjoncteurs en amont de chaque circuit. Leurs pouvoirs de coupure seront déterminés par la valeur de court-circuit au jeu de barre connecté à l'interrupteur principal.

6.7.2.2 Les disjoncteurs côté générateur :

Les disjoncteurs de type MCB peuvent être utilisés jusqu'à 125A et pour des court-circuits de 25kA. Donc pour les disjoncteurs des ATS ou le court-circuit ne dépasse 13kA, on peut utiliser des MCB mais pour assurer la sélectivité avec ceux des

tableaux secondaire il faut utiliser le type MCCB et le déclencheur sera de type TMD (thermomagnétique). Et de même, on doit définir le court-circuit au jeu de barre pour déterminer le pouvoir de coupure des disjoncteurs.

6.7.2.3 Calcul de court-circuit :

L'impédance au niveau de jeu de barre cote générateurs est :

$$\Sigma R = R_g/3 + R_c + R(jdb1) + R_{cl} + R(jdb2)$$

$$= 2.83 + 0.096 + 0.027 + 0.48 + 0.027$$

$$= 4.46\text{m}\Omega ;$$

$$\Sigma X = X_g/3 + X_c + X(jdb1) + X_{cl} + X(jdb2)$$

$$= 28.33 + 0.1 + 0.45 + 0.48 + 0.033 + 0.45$$

$$= 39.37\text{m}\Omega ;$$

Ce qui donne :

$$I_{k3} = \frac{c_{\max} \times m \times U_0}{\sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2}} = \frac{1.05 \times 1.05 \times 380 / \sqrt{3}}{\sqrt{4.46^2 + 39.37^2}} = 6.1\text{kA} ;$$

$$R_{cl} = 0.016\text{m}\Omega / \text{m} \times 30\text{m} = 0.48\text{m}\Omega ;$$

$$X_{cl} = 0.011\text{m}\Omega / \text{m} \times 30\text{m} = 0.33\text{m}\Omega ;$$

$R_{jdb} = \rho \times L / S = 18.51 \times 3 / (2 \times 100 \times 10) = 0.027\text{m}\Omega$ (même dimension que celui de MDB-TR et MDB-G pour même Ib);

$$X_{jdb} = 0.15 \times L = 0.15 \times 3 = 0.45\text{m}\Omega ;$$

Donc les disjoncteurs seront dimensionnés tel que $I_{cu} > I_{k3}(jdb) = 6.1\text{kA}$.

On définit :

R_c : résistance d'un câble d'un générateur ;

R_{jdb1} : résistance du JDB de MDB-G ;

R_{cl} : résistance de la canalisation préfabriquée ;

R_{jdb2} : résistance du JDB de MDB ;

$R_{g/3}$: résistance équivalente des 3 générateurs en parallèles au niveau du JDB de MDB-G ;

6.7.2.4 La sélectivité entre les disjoncteurs:

Il est nécessaire de vérifier la sélectivité totale entre les disjoncteurs car pour une certaine valeur de court-circuit une grande partie peut être coupée en alimentation par le déclenchement d'un disjoncteur principal.

La vérification est faite par le tableau de sélectivité entre 2 MCCB en série, la lettre T indique une sélectivité totale jusqu'au pdc du disjoncteur aval. La lettre P indique la sélectivité partielle (annexe p. 200-2004). Pour côté transformateur, la vérification sera entre T7S (disjoncteur principal de type MCCB installé dans MDB-EDL) et les disjoncteurs de l'hôtel de même type aussi (elle est totale d'après l'annexe 201-205). Du côté générateurs, cette vérification est entre E3N (disjoncteur principal de type ACB installé dans MDB-G et les disjoncteurs avals de type MCCB) (elle est totale d'après l'annexe 200).

6.7.2.5 La filiation :

La filiation, qui est prévue par la norme CEI 60947-2, consiste à l'utilisation d'un disjoncteur amont dont son pouvoir de limitation permet d'employer en aval des disjoncteurs moins performants c'est-à-dire des disjoncteurs à $I_{cu} < I_{k3}$ au point de leur installation. Elle exige d'avoir pour le disjoncteur amont $I_{cu} \geq I_{k3}$ (au point où il est installé), mais cette filiation qui permet un coût moins élevé est au détriment de la sélectivité. Et il n'est pas recommandé de faire une filiation au niveau du tableau principal car un défaut sur jeu de barre pour une certaine valeur de court-circuit peut interrompre l'alimentation complète de l'installation. De plus, il sera plus efficace pour des niveaux de court-circuit plus élevé. Donc pour côté générateur il est évident qu'il n'est pas nécessaire de vérifier la filiation surtout pour un court-circuit encore plus petit (annexe p. 209).

6.7.3 La contribution des moteurs au court-circuit :

Les moteurs possèdent une énergie stockée dans les enroulements du stator et lors de court-circuit, cette énergie est libérée vers le point d'alimentation pendant une période courte de quelque ms contribuant ainsi au court-circuit en superposant sa valeur avec

celle de la source principale (transformateur ou générateur). Dans le cas d'un moteur entraîné par un variateur de vitesse, ce dernier limite le courant de court-circuit en adaptant le contrôle de l'onduleur et qui évite alors le retour de court-circuit dans le sens inverse vers la source. Cela peut se manifester mais il faut vérifier que le redresseur et le bus de courant continu résistent au court-circuit pendant un temps suffisant pour que le disjoncteur en amont du variateur déclenche. Cet avantage est important surtout pour les grands moteurs comme celles des refroidisseurs qui comportent plusieurs compresseurs de grand capacités et plusieurs ventilateurs de refroidissement.

Il y a 3 groupes essentielles de moteurs peuvent contribuer au court-circuit :

1. les moteurs contrôlés par les tableaux des démarreurs (MCC-3B-VENT, MCC-PUMPS, MCC-PUMPS-CHILL, MCC-RF-VENT dont ces 4 sont alimentés par SMDB-COM) ;
2. les refroidisseurs ;
3. les ascenseurs ;

Mais comme déjà expliqué, les moteurs entraînés par les variateurs ne contribuent pas au court-circuit, il reste alors les tableaux des démarreurs. Or d'après la relation (Eq.17), l'effet de l'ensemble des moteurs de SMDB-COM reste négligeable devant le court-circuit au niveau de SMDB-COM ou au jeu de barre principal dans MDB. Donc le calcul n'exige pas d'additionner le courant des moteurs de l'installation avec celui du court-circuit en amont (la somme de courant d'emploi de tous les moteurs est plus petite que 1% de la valeur de court-circuit au niveau ou on calcule la contribution). Mais il reste à bien dimensionner le courant de court-circuit au niveau des tableaux des démarreurs car la contribution n'est plus négligeable (on verra le calcul dans le paragraphe 9.3).

$$\Sigma I_m = 100A < 0.01 \times I_{k3} = 0.01 \times 39.4kA = 390A \text{ (Eq. 16);}$$

6.7.4 Les charges particulières :

1. Pompe d'incendie :

On remarque que la pompe d'incendie est alimentée directement du tableau principal et pas du tableau des démarreurs pour assurer un maximum de continuité en cas de déclenchement des disjoncteurs alimentant cette charge. D'après la norme NFPA le disjoncteur de cette pompe doit être dépourvu de déclencheur de surcharge puisque la

protection des biens et des personnes est prioritaire donc il faut surdimensionner le câble de puissance.

2. L'ASI :

L'alimentation sans interruption (ASI) est comme la pompe contre les incendies nécessite une disponibilité et continuité d'alimentation. Il sera donc connecté au tableau principal (MDB).

6.7.5 La nécessité de protéger et de sectionner le neutre (Figure 33) :

La section du conducteur de neutre sera la même que celle des phases pour éviter son surchauffement en présence des harmoniques de courant. Et puisque $S_n = S_{ph}$ il n'est pas nécessaire de protéger le neutre mais il sera recommandé de sectionner le neutre car il peut être porté à un potentiel dangereux même si les conducteurs de phase sont ouverts-sectionnés. Et par suite le disjoncteur sera de type 4P3d c'est-à-dire sectionnement des 3 phase+neutre mais seulement les phases seront protégées. Ce cas est applicable pour les disjoncteurs modulaires (MCB) mais pas pour les MCCB (le cas pour MDB). Par norme, les disjoncteurs tétrapolaires sont avec le neutre protégé (100%) jusqu'à 100 A. Au-delà de 100 A, la protection du neutre est soit réduite (N= 50%) par rapport ou réglage des phases, soit égale (N = 100%) au réglage des phases.

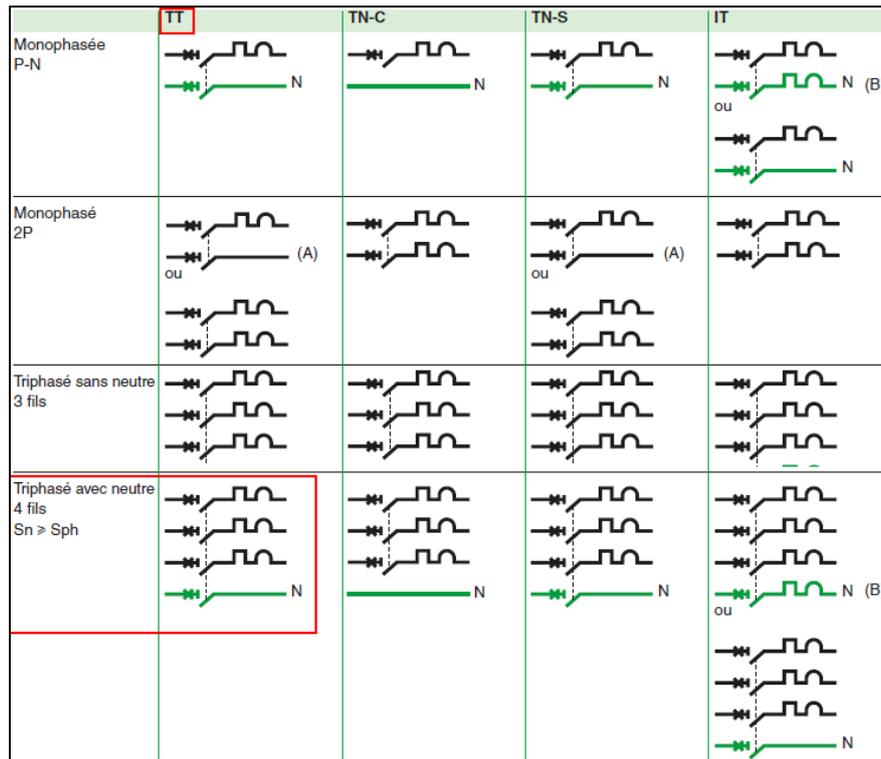


Figure 33 : Sectionnement des phases et du neutre selon le régime du neutre

6.7.6 Désignations du disjoncteur de série TMAX :

Les disjoncteurs MCCB sont de série TMAX pour ABB. Si on choisit un disjoncteur de type T1C 160 TMD 100 4p F F, sa désignation en ABB est la suivante (annexe p. 193, 194) :

1. T1C : disjoncteur MCCB de série TMAX de cadre 160A ;
2. TMD : disjoncteur à réglage variable du déclencheur de surcharge I_1 et de valeur fixe le courant magnétique I_3 ;
3. 100 : courant nominal du disjoncteur ;
4. 4p : 4 pôles ;
5. F F : de type fixe ;

Il y a 6 gammes :

1. T1 & T2 : 25-160A ;
2. T3 : 250A ;
3. T4 : 320A ;
4. T5 : 400-630A ;
5. T6 : 800-1000A ;

6. T7 :1000-1600A ;

Les pouvoirs de court-circuits sont :

1. B :16kA ;

2. C :25kA ;

3. N :36kA ;

4. S :50kA ;

5. H :70kA

6. L :85 ou 120kA ;

6.7.7 Les interrupteurs :

Les interrupteurs peuvent remplacer les disjoncteurs pour diminuer le coût de matériel puisqu'ils sont moins chers que les disjoncteurs. Mais l'interrupteur ne protège pas l'installation en aval ainsi qu'il faut assurer sa protection. Un disjoncteur en amont de l'interrupteur est nécessaire avec une vérification de coordination entre les 2 dispositifs. Le tableau de coordination entre MCCB et interrupteur peut confirmer cette coordination.

On prend l'exemple pour l'ATS de SHOP-4:

1. Le court-circuit au niveau de l'ATS est de 18.87kA et $I_b=50.8A$ (tableau IV);
2. L'interrupteur choisit a pour $I_n=100A$ pour une catégorie d'emploi AC23 :OT100 ;
3. La coordination avec le disjoncteur dans MDB-EDL (T2S 160 TMD 25 4p FF ou équivalent d'une autre marque) est déduit du tableau de coordination MCCB/OT (annexe p. 207, 208) où la valeur de court-circuit en coordination entre les 2 dispositifs est totale jusqu'au pouvoir de coupure du disjoncteur. Cette valeur qui est 25kA est plus grande que le court-circuit présumé au niveau de l'interrupteur (18.87kA) ;
4. Pour les courants de 63A et plus, il faut surdimensionner les interrupteurs pour confirmer la coordination (au moins OT 100).

Tableau IV : tableau de MDB

NOM TABLEAU	DEPART	TABLEAU (DESTINATION)	NB DE PHASE	P (kW)	Q (kVAR)	Ib	cosphi	IK3 (COTE TRANSFO.)	IK3 (COTE GEN.)	DISJ./INTERR. COTE TRANSF.	Icu (DISJ. COTE EDL)	DISJONCTEUR COTE GEN.	Icu (DISJ. COTE EDL)	
MDB	CINEMA	CINEMA	3	300.0	180.0	530.1	0.86	38.62		OT600		T5N 4P 630	36	
	SHOP-1	SHOP-1	1	30.0	15.0	50.8	0.89	18.87		OT63		T1B 1P 40	25	
	SHOP-2	SHOP-2	1	30.0	15.0	50.8	0.89	18.87		OT63		T1B 1P 40	25	
	SHOP-3	SHOP-3	1	30.0	15.0	50.8	0.89	18.87		OT63		T1B 1P 40	25	
	SHOP-4	SHOP-4	1	30.0	15.0	50.8	0.89	18.87		OT63		T1B 1P 40	25	
	HOTEL	SMDB-1F		3	37.7	23.3	67.1	0.85	38.89	6.10	T2S 4P 80	50	T1B 4P 80	16
		SMDB-2F		3	46.9	28.4	83.1	0.85			T2S 4P 100	50	T1B 4P 100	16
		SMDB-3F		3	46.9	28.4	83.1	0.85			T2S 4P 100	50	T1B 4P 101	16
		SMDB-4F		3	46.9	28.4	83.1	0.85			T2S 4P 100	50	T1B 4P 102	16
		SMDB-5F		3	46.9	28.4	83.1	0.85			T2S 4P 100	50	T1B 4P 103	16
		SMDB-6F		3	46.9	28.4	83.1	0.85			T2S 4P 100	50	T1B 4P 104	16
		SMDB-7F		3	46.9	28.4	83.1	0.85			T2S 4P 100	50	T1B 4P 105	16
		SMDB-COM		3	92.2	57.8	164.9	0.85			T3S 4P 200	50	T3N 4P 200	36
		LIFT1		3	15.0	15.0	11.3	0.71			T2S 4P 16	50	T1B 4P 16	16
		LIFT2		3	15.0	15.0	11.3	0.71			T2S 4P 16	50	T1B 4P 16	16
		LIFT3		3	15.0	15.0	11.3	0.71			T2S 4P 16	50	T1B 4P 16	16
		LIFT4		3	15.0	15.0	11.3	0.71			T2S 4P 16	50	T1B 4P 16	16
		CHILLER1		3	180.0	120.0	327.8	0.83			T5S 4P 400	50	T5N 4P 400	36
		CHILLER2		3	180.0	120.0	327.8	0.83			T5S 4P 400	50	T5N 4P 401	36
		FIRE PUMP		3	15.0	11.3	28.4	0.80			T2S 4P 32	50	T1B 4P 32	16
		KITCHEN		3	39.0	29.3	73.9	0.80			T2S 4P 80	50	T1B 4P 80	16
		LAUNDRY		3	27.0	20.3	51.1	0.80			T2S 4P 63	50	T1B 4P 63	16

TABLEAU (DESTINATION)	CONTACTEUR ATS	cable	R (mΩ)	X (mΩ)	ER (mΩ)	EX (mΩ)	IK3 (kA) (extremite cable)	LONGUEUR DU CABLE (m)	ΔU (V)	Δu cumulee (V)	Δu cumulee (en %)
CINEMA	EK1000	4C, 300mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x150mm2 PVC	3.12	4.04	5.41	9.87	21.49	51	2.87	3.76	1.71
SHOP-1	AF26-40	2C, 10mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x10mm2 PVC	24.06	1.04	35.51	7.17	6.68	13	2.78	3.67	1.67
SHOP-2	AF26-40	2C, 10mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x10mm2 PVC	22.21	0.96	33.66	7.09	7.03	12	2.57	3.46	1.57
SHOP-3	AF26-40	2C, 10mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x10mm2 PVC	35.17	1.52	46.62	7.65	5.12	19	4.07	4.96	2.25
SHOP-4	AF26-40	2C, 10mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x10mm2 PVC	67.56	2.92	79.01	9.05	3.04	37	7.81	8.70	3.96
SMDB-1F	AF75-40	4C, 16mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x16mm2 PVC	18.51	1.28	20.78	7.08	11.02	16.00	1.37	2.26	1.03
SMDB-2F	EK110	4C, 25mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x16mm2 PVC	14.07	1.52	16.34	7.32	13.51	19.00	1.31	2.20	1.00
SMDB-3F	EK110	4C, 25mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x16mm2 PVC	16.29	1.76	18.56	7.56	12.07	22.00	1.52	2.41	1.10
SMDB-4F	EK110	4C, 25mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x16mm2 PVC	18.51	2.00	20.78	7.80	10.90	25.00	1.73	2.62	1.19
SMDB-5F	EK110	4C, 25mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x16mm2 PVC	20.73	2.24	23.00	8.04	9.93	28.00	1.94	2.83	1.29
SMDB-6F	EK110	4C, 25mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x16mm2 PVC	22.95	2.48	25.22	8.28	9.11	31.00	2.15	3.04	1.38
SMDB-7F	EK110	4C, 25mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x16mm2 PVC	25.17	2.72	27.44	8.52	8.42	34.00	2.35	3.24	1.47
SMDB-COM	EK175	4C, 95mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x50mm2 PVC	0.39	0.16	2.66	5.96	37.06	2.00	0.08	0.97	0.44
LIFT1	AF16-40	4C, 6mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x6mm2 PVC	66.33	1.72	68.60	7.52	3.51	21.50	0.67	1.56	0.71
LIFT2	AF16-40	4C, 6mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x6mm2 PVC	101.81	2.64	104.08	8.44	2.32	33.00	1.03	1.92	0.87
LIFT3	AF16-40	4C, 6mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x6mm2 PVC	101.81	2.64	104.08	8.44	2.32	33.00	1.03	1.92	0.87
LIFT4	AF16-40	4C, 6mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x6mm2 PVC	101.81	2.64	104.08	8.44	2.32	33.00	1.03	1.92	0.87
CHILLER1	EK370	4C, 240mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x120mm2 PVC	3.01	3.12	5.28	8.92	23.34	39.00	1.59	2.48	1.13
CHILLER2	EK370	4C, 240mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x120mm2 PVC	3.86	4.00	6.13	9.80	20.93	50.00	2.04	2.93	1.33
FIRE PUMP	AF38-40	4C, 6mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x6mm2 PVC	169.68	4.40	171.95	10.20	1.40	55.00	4.90	5.79	2.63
KITCHEN	EK110	4C, 25mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x16mm2 PVC	4.44	0.48	6.71	6.28	26.31	6.00	0.35	1.24	0.56
LAUNDRY	AF75-40	4C, 16mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x16mm2 PVC	26.61	1.84	28.88	7.64	8.10	23.00	1.42	2.31	1.05

6.7.8 Transfert automatique :

6.7.8.1 La nécessité des ATS :

Il y a plusieurs raisons qui leur rendent indispensables pour l'installation. On cite les raisons :

1. Les ATS assurent le transfert automatique des charges entre 2 sources en cas de coupure ou creux de tension ou même défaut électrique (surtension, court-circuit...);

2. En cas de surcharge sur les générateur ou d'incendie (certains charges doivent être arrêtées comme les refroidisseurs), il sera possible de faire un délestage surtout du côté générateurs ;
3. Alimentation et interruption de façon progressive côté générateur pour éviter une grande chute de tension et de fréquence;

6.7.8.2 Le choix entre les contacteurs ou les disjoncteurs motorisés :

Les disjoncteurs motorisés (ATS de type disjoncteur ou CB) jouent le rôle de dispositifs de protection contre les surintensités en même temps donc ces systèmes n'exigent pas de vérifier la coordination (disjoncteur /contacteur), ils sont moins chers, ainsi qu'ils sont plus performants contre les défauts notamment les effets électrodynamiques et la commutation en court-circuit. En cas de sous tension de quelques secondes, le contacteur se déclenche au contraire de celui motorisé. Et enfin il faut examiner périodiquement les contacteurs pour contrôler le serrage des connexions dues à la vibration lors de commutation. Mais il existe un inconvénient concernant les disjoncteurs, pour celui de type MCCB l'ATS comporte le verrouillage sous forme de plateau de largeur 5 fois celle d'un MCCB. Et par suite le tableau va être surdimensionné jusqu'au double avec un coût élevé pour l'achat, l'installation et la maintenance pour 22 ATS dans le tableau. Pour cette raison le choix d'un ATS de type contacteur est recommandé.

6.7.8.3 Les caractéristiques des contacteurs :

Les contacteurs auront les caractéristiques suivantes (annexe p. 220):

1. la catégorie d'emploi AC3 (annexe p. 221, 222) puisque ce sont les contacteurs principaux et peuvent bien comporter des grands moteurs (ascenseurs et refroidisseurs) ou plusieurs moteurs de petits dimensions.
2. Pour éviter les problèmes de transfert de défaut du neutre entre les générateurs et le transformateur il sera recommandé d'utiliser 4 pôles.
3. Conforme à la norme CEI 60947-6-1 ;
4. La durée de vie est calculée par l'expression : $DV = \frac{EN}{N_1 N_2 N_3}$ (Eq. 17);
 - 4.1. N1 : nombre de manœuvre par heure égale à 1/24 puisque la source normale est interrompue 1 fois par jour;
 - 4.2. N2 : nombre d'heures de travail par 24 heures;

- 4.3. N3 : nombre de mois multiplié par nombre de jours 30×12 ;
- 4.4. EN : endurance électrique ;
- 4.5. DV : durée de vie considérée au moins 10ans c'est le temps de remplacement du contacteur;
- 4.6. Donc $EN=3600$ manœuvres ;
- 4.7. L'endurance des contacteurs est entre 5 et 10 millions ce qui est largement plus grand que 3600 ;

Les contacteurs choisis seront conformes aux spécifications du paragraphe et seront de type électronique qui est plus avancé que le type conventionnel. Ce dispositif qui présente une nouvelle série de contacteurs possède plusieurs points avantageux du point de vue électrique [12]:

1. Il possède une bobine régulée par un circuit électronique (PCB) et accepte une marge d'alimentation de 100V à 250V alternatif ou continu avec une tolérance à la fluctuation de tension ce qui n'est pas le cas pour le contacteur traditionnel ;
2. Consommation d'énergie plus réduite pour la bobine ;
3. Pas de bruit en commutation ;
4. Peut être maintenu jusqu'à 20 ms sans alimentation et jusqu'à la moitié de la tension, et il est protégé contre les surtensions par des composants dans le circuit de contrôle ;
5. Pas de chute de tension ou pic de courant au moment d'ouverture ou de fermeture du contacteur donc il peut être contrôlé directement par l'API ;
6. La protection CEM est intégrée dans le contacteur permettant d'être utilisée dans un environnement de type A caractérisé par des perturbations électromagnétique ;
7. La bobine est plus petite permettant ainsi une réduction du volume du contacteur mais son prix est légèrement plus coûteux.

La figure 34 présente le circuit de commande de la bobine au moyen du circuit intégrée et le transistor, la protection est assurée par la diode et la résistance

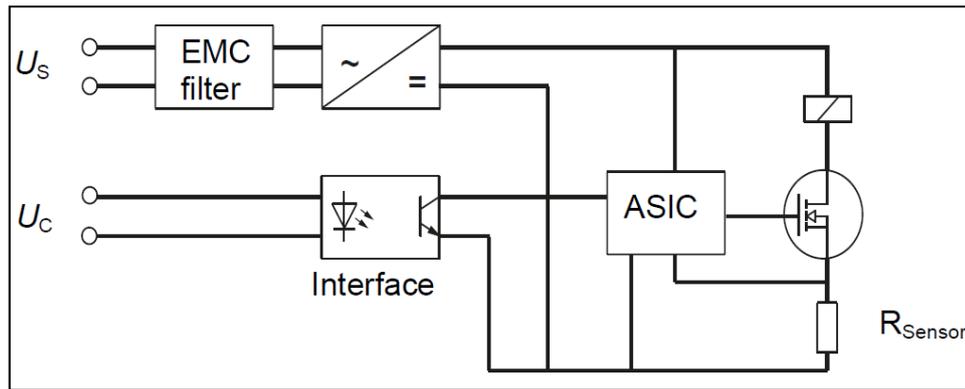


Figure 34 : Circuit de commande d'un contacteur électronique

6.7.9 Le contrôle :

Le contrôle de transfert automatique exige plusieurs dispositifs électriques, on site :

1. Le contacteur et ses contacts auxiliaires :
2. Le relai de phase protège la ligne auquel il est alimenté avec les protections suivantes:
 - 2.1 Coupure d'une phase;
 - 2.2 Substitution des phases changeant le système de direct en inverse ;
 - 2.3 Surtension ou creux de tension ;
3. Relai à minimum de tension ANSI27R : les moteurs possèdent une tension dite rémanente qui dure 1 à 2 sec après la coupure de tension au stator jusqu'à l'extinction du flux. Le rétablissement rapide de la tension d'alimentation peut entraîner un couplage en opposition de phase, et engendre des phénomènes transitoires électriques et mécaniques qui peuvent détruire les moteurs. On peut retarder l'établissement de transfert vers la source principale par un temporisateur mais ce relai est plus sûr pour le bon fonctionnement de transfert. Il sera mis sur la côté de contrôle de l'EDL. Pour le côté des générateurs, il n'est pas nécessaire puisque les modules de synchronisation possèdent toutes les protections nécessaires de qualité de puissance ;
4. Jonctions : ces jonctions sont connectés à l'API qui transmet l'ordre de l'enclenchement des contacteurs côté générateurs, il existe plusieurs cas (réenclenchement et déclenchement progressif pour éviter la perturbation des générateurs par brusque commutation des charges) ;
5. API : il a plusieurs fonctions :

- 5.1 délestage et rélestage pour l'un des 2 cas : éviter d'une part la perturbation des générateurs par brusque commutation des charges et d'autre part le dépassement de puissance des charges celles de la capacité des générateurs. L'ordre est transmis vers les disjoncteurs côté générateurs au moyen des jonctions de contrôle ;
6. les sélecteurs de contrôle : il y aura 2 sélecteurs (S1 et S2) avec 3 positions (0-1-2) :
 - 6.1 Pour le premier sélecteur S1:
 - 6.1.1 Position 0 (mode Off): les 2 sources sont éteintes en cas de maintenance ou de modification dans le tableau ;
 - 6.1.2 Position 1 (mode Auto) : le contrôle de transfert sera établi par l'API ;
 - 6.1.3 Position 2 (mode Manuel): le contrôle est établi par l'opérateur pour choisir les sources ;
 - 6.2 Pour le deuxième sélecteur S2 :
 - 6.1.1 Position 0 (mode Off): le contrôle est arrêté ;
 - 6.1.2 Position 1 (mode EDL) : le contrôle de transfert sera établi vers l'EDL en mode manuel (S1) ;
 - 6.1.3 Position 2 (mode GEN): le contrôle de transfert sera établi vers les groupes électrogènes en mode manuel (S1);
 - 6.1.4 Position 3 (mode TEST) : cette position permet le démarrage des générateurs sans la mise des charges côté groupe pour les tester après une maintenance préventive ou corrective ;
7. Les lampes de témoin pour la présence des 2 sources et pour la fermeture des disjoncteurs (EDL en charge, générateur en charge) ;

6.7.10 La mesure électrique :

Elle comporte 3 dispositifs [13]:

1. Le multimètre est de type électronique qui a les caractéristiques avantageux sur les appareils analogiques. On cite :
 - 1.1 Valeurs mesurées jusqu'à 0.5% de précision ;
 - 1.2 Mesure d'harmonique jusqu'au rang 50 de courant et de tension ;
 - 1.3 Volume réduit évitant l'encombrement des appareils classiques qui affaiblissent la rigidité de la porte d'un tableau électrique et la protection

contre la transmission des champs électromagnétiques perturbateurs à travers les multiples ouvertures ;

- 1.4 Ils couvrent tous les paramètres électriques (P, Q, S, THDi, THDv, V, I, f, $\cos\phi$...);
 - 1.5 Ils peuvent afficher plusieurs valeurs en même temps sur plusieurs lignes ;
 - 1.6 Ils contiennent des relais de sortie pour signaler des alarmes vers les systèmes automatisés et émettre des emails ;
 - 1.7 Moins sensibles à la température supportant jusqu'à 50°C (40°C pour l'analogie) ;
 - 1.8 Configurables avec mot de passe ;
 - 1.9 Affichage en LCD offrant une lecture visible même en faible éclairage ;
 - 1.10 Communication avec les systèmes automatisés (SCADA, PC, API et le réseau internet) via les connexions RS-232 et RS-485 ;
 - 1.11 Ils contribuent au management énergétique, la tarification et l'amélioration de la qualité de l'énergie électrique d'une installation.
2. L'appareil de mesure d'énergie électrique (kWh) : elle sera mise sur les 2 côtés pour la tarification et du côté transformateur. Elle sera installée par l'EDL pour la tarification des 6 ensembles (hôtel, cinéma et magasins). ;
 3. Transformateur de courant.

6.7.11 La protection contre les perturbations électromagnétiques :

Les sources principales de perturbation électromagnétique sont les composants d'électronique de puissance commandés dans les appareils électriques comme les variateurs de vitesse, les convertisseurs de fréquence et les alimentations à découpage. La compatibilité électromagnétique d'un tableau est la capacité à fonctionner dans un environnement perturbé en limitant ses propres émissions de perturbation. Donc pour assurer la performance des appareils à l'intérieur du tableau il y a quelques procédures à faire [14]:

1. le tableau sert à atténuer les perturbations électromagnétiques par effet de cage de Faraday où l'enveloppe constitue une enceinte conductrice étanche au rayonnement électromagnétique. Cette enveloppe doit être reliée à la terre. Donc la source perturbatrice reste à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte et le rayonnement magnétique est atténué par les tôles. L'utilisation de tôle

Aluzinc est le plus recommandé. Le tableau doit être conçu à avoir une étanchéité à la perturbation électromagnétique car les orifices des passages des câbles, de ventilation, des voyants, boutonneries et autres fixes sur la porte laissent passer des perturbations HF. Alors, des joints et des accessoires de la comptabilité électromagnétique peuvent être utilisés. De plus, la continuité électrique entre les parties doit avoir une faible impédance ;

2. Pour éviter les couplages entre les circuits de puissance et ceux de contrôle il faut les séparer dans des goulottes différentes. La méthode la plus performante est de séparer les 2 parties par 2 tableaux reliés par des goulottes métalliques mises à la terre assurant l'équipotentialité des tableaux et une conduction des perturbations HF et BF ou bien séparation interne du tableau en 2 zones par cloison métallique permet le confinement de chaque zone. Cette solution est chère et le tableau surdimensionné occupera un espace plus grand. On placera alors les dispositifs de contrôle au premier rang avec une certaine distance des circuits de puissance pour les grands tableaux ou on mettra le contrôle sur la porte ;
3. Pour les câbles de puissance, il faut utiliser de presse-étoupe métallique à serrage sur 360° et le blindage du câble soit raccordé à la masse du tableau à l'entrée des câbles et au niveau de la source de perturbation. L'armoire doit être équipée d'une barre de terre et une tôle de référence de masse (plan d'équipotentialité). Les câbles blindés entrants ou sortants de l'armoire seront reliés à ce référentiel en veillant à la qualité de tous les contacts électriques. Les protections et les filtres sont aussi raccordés à ce référentiel;
4. Il faut faire passer les conducteurs PE près de leurs câbles de puissances afin de réduire la surface de la boucle de couplage électromagnétique;

6.7.12 L'évacuation de chaleur du tableau électrique :

Le rôle du tableau électrique est d'une part la protection des personnes et du matériel, d'autre part d'assurer la continuité de l'alimentation électrique. Or le tableau de service est devenu une source de chaleur qui dégrade à la fois la protection et la continuité. Le grand nombre de défaillances sont dues à la dégradation par échauffement excessif comme le vieillissement prématuré des isolants des câbles pouvant induire des arcs électriques et destruction de la canalisation, détérioration de

composants électroniques, déclenchement intempestif et détérioration des contacts. Alors essayant tout d'abord d'identifier l'échange thermique, les sources de chaleurs et les méthodes de l'évacuer ou même d'éliminer les causes de ce phénomène.

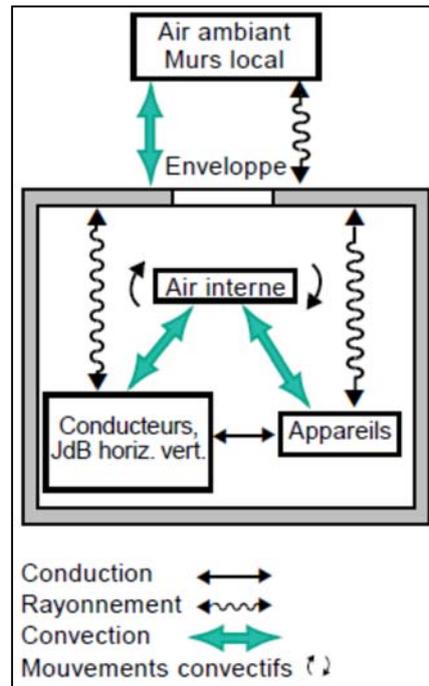


Figure 35 : L'échange thermique du tableau

L'échange thermique du tableau se fait par convection, conduction et rayonnement dont ces phénomènes sont fortement couplés (Figure 35). Les éléments considérés par l'échange sont l'air ambiant externe, l'enveloppe, l'air interne et les sources de chaleurs internes (appareils, jeux de barres, câbles...). La tendance vers les formes de séparations et IP de niveaux plus élevés diminue l'efficacité de circulation de l'air donc la chaleur évacuée diminue.

Des calculs d'échauffement conformément à la norme IEC 60890 peuvent être faits au moyen du logiciel OTC de ABB en insérant les puissances dissipées de chaque composant du tableau (disjoncteur, contacteur, interrupteur, jeu de barre), les dimensions du tableau, son emplacement dans la chambre et d'autres données.

On cite les données nécessaires à introduire et les résultats sont présentés dans l'annexe p. 224 :

1. puissance dissipée (pd) des composants (on prend des valeurs moyennes pour les diverses dimensions des dispositifs) :

- 1.1 câble : 3W/m et on a par estimation pour chacun des 18 ATS câblées, une longueur de 12m alors $p_d=3 \times 18 \times 12=648W$;
- 1.2 jeu de barre :
- 1.2.1 jeu de barre du côté générateurs de dimension 2 barre en parallèle 60x10mm de longueur 4.7m (longueur du tableau) : $68.5 \times 2 \times 4.7=643W$;
- 1.2.2 jeu de barre de 3 ATS de dimension 20x5mm de longueur 2m : $3 \times 30 \times 12=1080W$;
- 1.3 contacteurs de valeur moyenne 5W avec 22 ATS : $5 \times 2 \times 22=220W$;
- 1.4 interrupteurs de valeur moyenne 5W pour les 4 ATS et celui de l'interrupteur principal côté générateurs: $4 \times 5=20W$;
- 1.5 il y a 39 disjoncteurs de valeur moyenne avec 20W : $20 \times 39=780W$;
- 1.6 la valeur total : $648+643+1080+220+20+780=3391W$;
2. on introduit la température ambiante ne dépasse pas 35°C en considérant que le local sera climatisé ;
3. la dimension du tableau (hxlxp) en mm : 2000x5300x625 ;
4. tableau loin d'un mètre du mur pour l'accès à la maintenance ;

Les résultats du calcul indiquent qu'il est nécessaire de mettre un ventilateur pour ne pas dépasser 35°C dont la capacité calculée est de 128.4m³/h pour éliminer une puissance thermique dissipée de 3391W. Cette chaleur qui est dispersée le long du tableau (annexe p. 227).

Les puissances de dissipation des équipements sont calculées à partir de la formule suivante : $P(I_b) = P(I_n) \times \left(\frac{I_b}{I_n}\right)^2$ et les valeurs de dissipation sont déterminées dans les catalogues des produit ABB.

Avec les définitions :

$P(I_b)$: puissances dissipées efficace des équipements

I_b : courant d'emploi traversant le dispositif

I_n : courant assigné du dispositif

$P(I_n)$: puissances dissipées au courant assigné (I_n)(Eq. 18) ;

La température à l'intérieur est acceptable (ne dépasse pas 40°C) donc il n'est pas nécessaire de faire le déclassement des dispositifs électriques.

6.7.13 Les caractéristiques du tableau :

6.7.13.1 La forme de séparation :

La séparation des parties sous tension définit selon CEI 60439-1 concerne les jeux de barre, les unités fonctionnelles et les connections des câbles. Cette séparation assure une protection des personnes et du matériel contre les arcs et les incendies aux parties voisines surtout pendant les manœuvres d'intervention pour les opérations de maintenance ou d'extension. La séparation est constituée des écrans métalliques ou non métalliques dont l'IP minimale de la séparation est IP2X ou IPXXB.

Cette forme permet de fractionner le tableau en espaces protégés avec les objectifs suivants :

1. Protection contre les contacts directs avec les parties dangereuses des unités fonctionnelles voisines (le degré de protection doit être au moins égal à IP XXB) ;
2. Protection contre le passage des corps solides, le degré de protection doit être au moins égal à IP 2X (le degré de protection IP 2X couvre le degré de protection IP XXB) ;
3. Limitation des effets de la propagation d'arc électrique ;
4. Facilité des opérations de maintenance du tableau.

La norme EN 60439-1 définit les séparations à l'intérieur de l'ensemble selon 4 types de formes : 2a, 2b, 3a, 3b, 4a et 4b dont la forme supérieure intègre les caractéristiques de la forme qui la précède. Il y a 4 formes :

- a) Forme 1 : l'enveloppe de l'armoire présente la seule isolation mais tous les parties ne sont pas isolés entre eux ;
- b) Forme 2a : séparation des unités fonctionnelles du jeu de barre mais les bornes des conducteurs restent non séparées ;
- c) Forme 2b : séparation des unités fonctionnelles et des bornes des conducteurs du jeu de barre mais ces 2 parties restent dans la même section ;
- d) Forme 3a : la séparation est similaire à celle de la forme 2a mais les unités sont séparés entres elles ;
- e) Forme 3b : la séparation est similaire à celle de la forme 3a mais les bornes des conducteurs sont séparés des unités fonctionnelles et restent dans une section commune ;

- f) Forme 4a : chaque unité fonctionnelle et sa borne des conducteurs sont dans un même compartiment séparant ces derniers du jeu de barres ;
- g) Forme 4b : la séparation est similaire à celle de la forme 3b mais les bornes des conducteurs sont séparées des unités fonctionnelles.

La forme minimale exigée doit assurer la protection contre les contacts directs et la continuité de fonctionnement donc selon l'annexe p. 235, il faut adopter la forme de type 2. Il y a 4 types pour ce niveau, 2a et 2b :

Les ATS comportant des jeux de barres (Chiller, Cinéma) doivent avoir la forme 2b tandis que pour les autres qui sont câblées on peut utiliser la forme 2a.

6.7.13.2 Le degré de protection IP d'un tableau électrique :

Le code IP est accompagné de 2 chiffres dont le 1er décrit le degré de protection contre la pénétration des corps solides et le 2ème contre l'infiltration de l'eau (Figure 36). Cette protection assure d'une part la protection de l'utilisateur et du personnel de maintenance contre l'accès aux parties dangereuses qui peuvent conduire à des chocs électriques et des arcs électriques lors de manœuvre ou lors du débouchage d'un disjoncteur.

Cette protection est décrite dans la norme CEI 60529 qui indique le code IP recommandé pour chaque type d'application. Ce code doit être identifié par tous les constructeurs en fonction de l'environnement, de la protection des personnes et du bon fonctionnement des appareils électriques.

Pour le tableau MDB, le choix d'IP est le suivant :

1. La 1^{ère} lettre : la salle des tableaux est loin des poussières donc la protection minimal est de niveau 3 ;
2. La 2^{ème} lettre : la salle peut contenir des conduits d'eau donc il faut protéger contre la chute d'eau accidentelle du haut, la protection est de niveau minimal 3 ;
3. La 3^{ème} lettre : l'accès à la salle sera permis pour les personnes qualifiées (opérateur, équipe de maintenance) alors le niveau est C ;
4. La 4^{ème} lettre : ce tableau reste presque toujours sous tension donc le niveau est H ;
5. IP tableau : IP33CH (annexe p. 223) pour un usage interne.

Protection internationale		IP	6	5	C	H
Lettres de code	Protection internationale					
Premier chiffre caractéristique	Chiffres de 0 à 6, ou lettre X					
Second chiffre caractéristique	Chiffres de 0 à 8, ou lettre X					
Lettre supplémentaire (option)	Lettres A, B, C, D					
Lettre supplémentaire (option)	Lettres H, M, S, W					

	Protection des équipements	Contre tout accès à une partie dangereuse avec
Premier chiffre caractéristique (infiltration d'objets étrangers solides)	0	absence de protection
	1 ≥ 50 mm de diamètre	dos de la main
	2 $\geq 12,5$ mm de diamètre	doigt
	3 $\geq 2,5$ mm de diamètre	outil
	4 ≥ 1 mm de diamètre	fil
	5 protection contre les poussières	fil
	6 étanchéité aux poussières	fil
Deuxième chiffre caractéristique (infiltration d'eau)	0 absence de protection	
	1 gouttes d'eau verticales	
	2 gouttes d'eau (inclinaison à 15°)	
	3 pluie	
	4 projection	
	5 jet à la lance	
	6 jet puissant à la lance	
	7 immersion temporaire	
	8 immersion continue	
Lettre additionnelle (en option)	A	dos de la main
	B	doigt
	C	outil
	D	fil
Lettre supplémentaire (en option)	H Appareil haute tension	
	M En mouvement pendant l'essai hydraulique	
	S Stationnaire pendant l'essai hydraulique	
	W Intempéries	

Figure 36 : Niveaux de protection contre les corps solides et liquides et l'accès au tableau

6.7.13.3 Le degré de protection IK d'un tableau électrique:

Ce code indique le niveau de protection de l'enveloppe du tableau électrique contre les chocs mécaniques. Ce niveau peut prendre une valeur de 0 à 10 qui correspond à la magnitude du choc (en joule ou Kg.m) exercé sur l'enveloppe (Figure 37). Pour identifier ce niveau, un test consiste à lancer un matériau de masse et de forme défini d'une certaine cible sur les points faibles de l'enveloppe selon la norme CEI 68-262. D'après l'annexe p. 223, le degré recommandé sera 07.

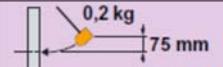
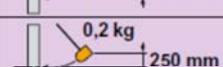
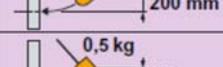
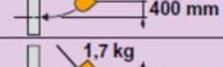
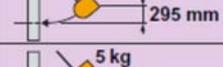
Degrés de protection IK contre les impacts mécaniques selon la marque CEI 62262		
Degré IK	Tests	Energie en Joules
IK 00		0
IK 01		0,15
IK 02		0,2
IK 03		0,35
IK 04		0,5
IK 05		0,7
IK 06		1
IK 07		2
IK 08		5
IK 09		10
IK 10		20

Figure 37 : Degrés de protection IK contre les impacts mécaniques selon la marque CEI 62262

6.7.13.4 Les contraintes diélectriques [15]:

6.7.13.4.1 La vérification des propriétés diélectriques :

Le tableau est affecté par plusieurs contraintes pouvant diminuer le degré d'isolation des enveloppes comme les chocs et les impacts mécaniques, la pluie, ruissellement, pollution, dépôts conducteurs et corrosion. Donc des essais de vérification des propriétés diélectriques de l'ensemble sont nécessaires. Cette vérification doit confirmer la propriété de tension à fréquence industrielle (U_i tension assignée d'isolement de l'ensemble correspond aux essais diélectriques) et au tension de tenue aux chocs (U_{imp} tension assignée de tenue aux chocs c'est la crête maximale à laquelle le système est capable de résister). Chaque dispositif de protection et de commande possède ses propres valeurs des tensions décrites dans les catalogues et conformes aux vérifications de conception faites par les fabricants d'origine. Le but

de ces vérifications est d'éviter la création d'arcs électriques et de faible tenue des isolants dans le temps. La vérification est considérée comme acceptable si pendant l'essai dans des conditions définies par la norme CEI 60439-1 il n'apparaît pas de contournement d'arc ni de perforation d'isolants pour la tension qui correspond à la tension assigné du jeu de barres. Il y a 2 types d'essais et on les présentera dans les paragraphes suivants.

6.7.13.4.2 Essai de tension de tenue à fréquence industrielle :

En exerçant une tension (U_i) à fréquence de 50Hz et en tension alternatif (figure 33)d'une part entre les pôles d'un circuit principal d'autre part entre les pôles et l'enveloppe mise à la terre. Cet essai est le seul permis puisque les vérifications alternatives par calcul ou par règle de conception restent insuffisantes. Les lignes de fuite minimale doivent être vérifiées surtout pour les isolants des dispositifs sous tension comme les supports de jeux de barres et les bornes isolées en tenant compte du type de matériau, de degré de pollution et de l'indice de tenue au cheminement en (Volt) qui est la tension maximale de tenue admissible sans décharge.

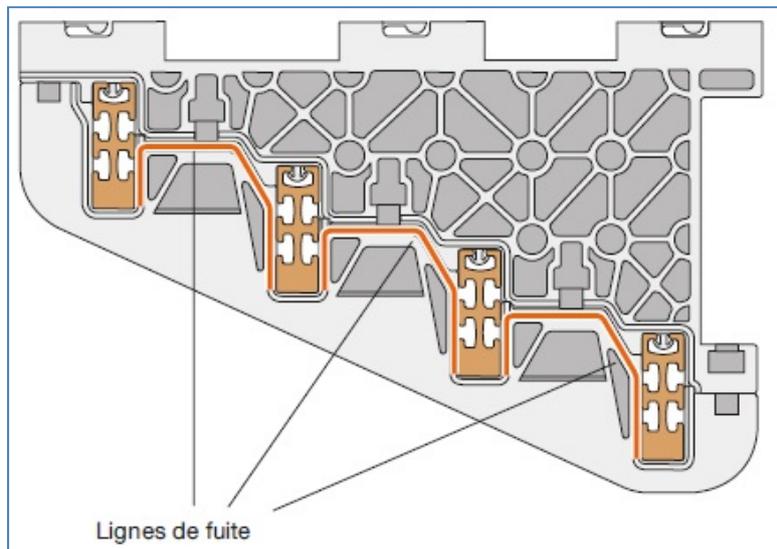


Figure 38 : Les lignes de fuites entre les jeux de barres

6.7.13.4.3 Essai de tension de tenue aux chocs :

Cet essai vérifie la résistance contre les surtensions transitoires de l'installation et des coups de foudre représentée par la résistance diélectrique de l'air entre 2 pièces sous tension transportant l'impulsion (Figure 40). L'essai utilise la tension de tenue aux chocs (U_{imp}) sous forme de courbe impulsionnelle $\frac{1,2\mu s}{50}$ et se fait entre :

- a) Tous les circuits connectés ensemble et l'enveloppe mise à la terre ;
- b) Chaque pôle, les autres pôles et l'enveloppe mise à la terre.

L'essai peut être considéré comme réussi s'il ne génère pas de décharge.

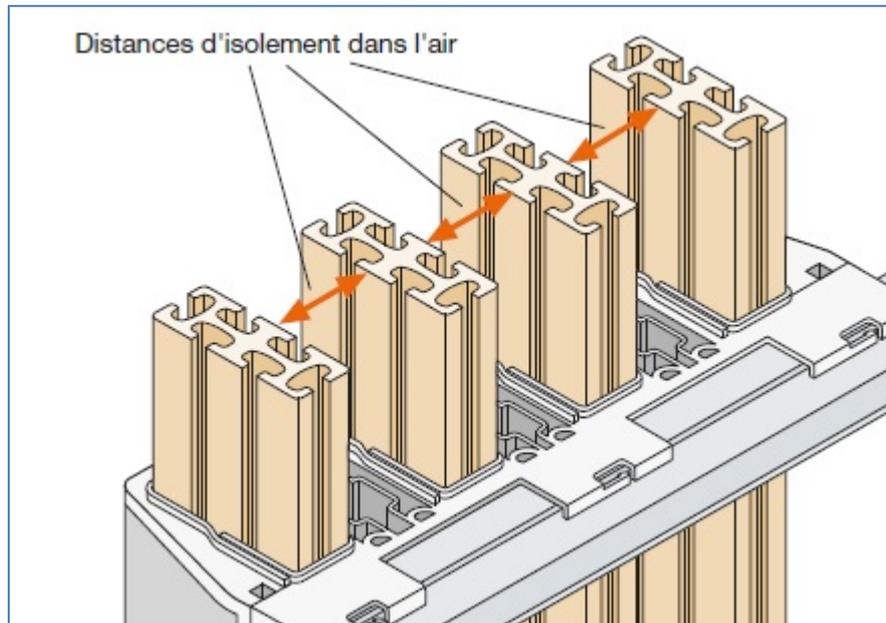


Figure 39 : Distance d'isolement entre les jeux de barres

Tension assignée de tenue aux chocs U_{imp} kV	Distance d'isolement minimale dans l'air mm
$\leq 2,5$	1,5
4,0	3,0
6,0	5,5
8,0	8,0
12,0	14,0

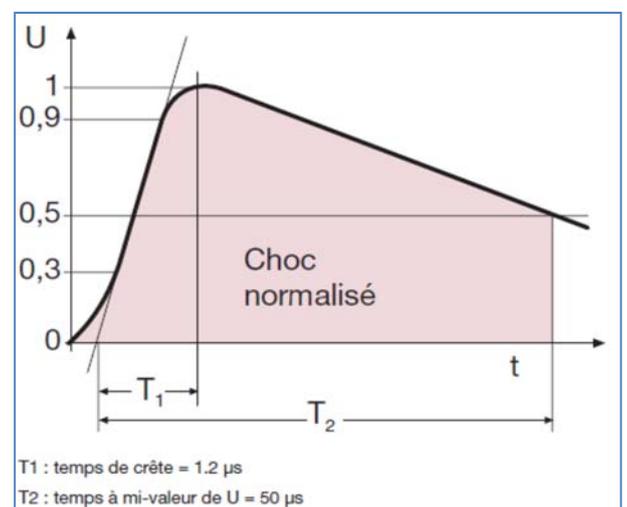


Figure 40 : Distance d'isolement correspond à la tension de tenue aux chocs et courbe impulsionnelle 1,2/50µs

6.7.14 La protection contre les contacts directs :

Cette protection évite le contact direct entre les conducteurs sous tension et l'homme. Elle prend 2 formes suivant le courant nominal des ATS. Pour les ATS dépassant 250A, les connexions sont faites par des jeux de barres. L'isolation est faite par des sections entre eux avec des écrans d'isolation (forme de séparation 2b) séparant les conducteurs de phase et du neutre d'un ATS de l'autre et protégeant l'opérateur en intervention. Pour les petits ATS, les goulottes et l'isolation des câbles servent à protéger contre les contacts directs. De plus, le conducteur de protection principale du tableau a 2 fonctions : la mise à la terre du tableau et de l'installation sera fixée et connectée directement au châssis métal du tableau. Alors le classe d'isolation est 1.

Choix du conducteur de protection du tableau (PE):

Ce conducteur sert à la mise à la terre du tableau et de tous les tableaux de classe d'isolation 1. Le courant nominal du tableau dépasse 1000A donc la section de PE sera la moitié de celle de la phase (Figure 41). Le jeu de barre principal est de dimension 2x100x10mm cuivre alors PE sera de 1x50x10mm.

	Section des conducteurs de phase S_{ph} (mm ²)	Section du conducteur PE (mm ²)
Méthode adiabatique	Quelconque	$S_{PE/PEN} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t} \quad (3) \quad (4)}{k}$
Méthode simple ⁽¹⁾	$S_{ph} \leq 16$	$S_{ph} \quad (2)$
	$16 < S_{ph} \leq 25$	16
	$25 < S_{ph} \leq 35$	
	$35 < S_{ph} \leq 50$	$S_{ph}/2$
	$S_{ph} > 50$	

Figure 41 : Sections minimales des conducteurs de protection (tableau 54-3 de la norme CEI 60364-5-54)

Chapitre 7. Les tableaux secondaires :

7.1 Introduction :

Les tableaux secondaires alimentant les équipements des services généraux (les tableaux des démarreurs, l'éclairage et la climatisation des couloirs) ou bien les étages (les chambres à louer). L'étude sera faite sur ceux des étages (7 étages typiques: SMDB-1F jusqu'à SMDB-7F) (Tableau V).

Ces tableaux sont simples car leur courant nominal ne dépasse pas 150A. Ils sont constitués d'un interrupteur principal sur laquelle sont branchés les disjoncteurs aval alimentant les chambres à louer. L'étude comporte le calcul de court-circuit, les chutes de tension puis le choix des disjoncteurs, le parafoudre et les caractéristiques des tableaux.

7.2 Les disjoncteurs:

Il y a l'interrupteur principal connecté au tableau MDB alimentant les disjoncteurs avals qui seront de type MCB. Le branchement avec l'interrupteur peut être fait avec des câbles au lieu des jeux de barre puisque le courant ne dépasse pas 160A. La courbe de déclenchement recommandée est de type C pour les applications générales et par suite le code d'un disjoncteur aval sera SN201MC avec interruption du neutre (1P+N)(annexe p. 195-198) avec les désignations suivantes:

1. S pour la série des MCB;
2. N pour l'interruption du neutre;
3. série 201 disjoncteur monohasé;
4. M pour le pdc $I_{cn}=10kA$;
5. C pour la courbe de déclenchement pour les charges générales.

7.3 La protection contre les contacts directs:

Les défauts qui provoquent la fuite de courant en traversant le tableau sont dus à plusieurs causes : arrachement d'un conducteur (Figure 42), desserrage des bornes, déplacement sous l'effet de court-circuit. Ces défauts se manifestent par le contact direct des personnes avec une partie sous tension.

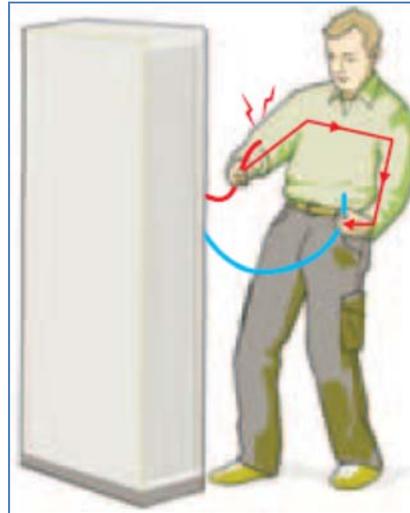


Figure 42 : Contact direct entre un conducteur et une personne

La protection contre des parties sous tension est assurée soit par isolation des câbles soit au moyen des barrières et des enveloppes avec un degré IP2X ou IPXXB. Ces barrières et enveloppes assurent une distance d'isolement avec les parties actives dont leurs démontages ne doivent se faire qu'en utilisant une clé ou un outil, ou après une mise hors tension des équipements sous tension.

Le tableau peut être de classe d'isolation I (Figure 43) (enveloppe métallique et tout l'assemblage sont mis à la terre) puisqu'il sera installé dans des chambres accessibles seulement aux personnes qualifiées (équipe de maintenance, opérateur). Pour les tableaux accessibles au public, il sera recommandé d'utiliser le classe II (elle est représentée par la double isolation qui assure une isolation complète et par conséquent n'exige pas de raccordement des masses au conducteur de protection).

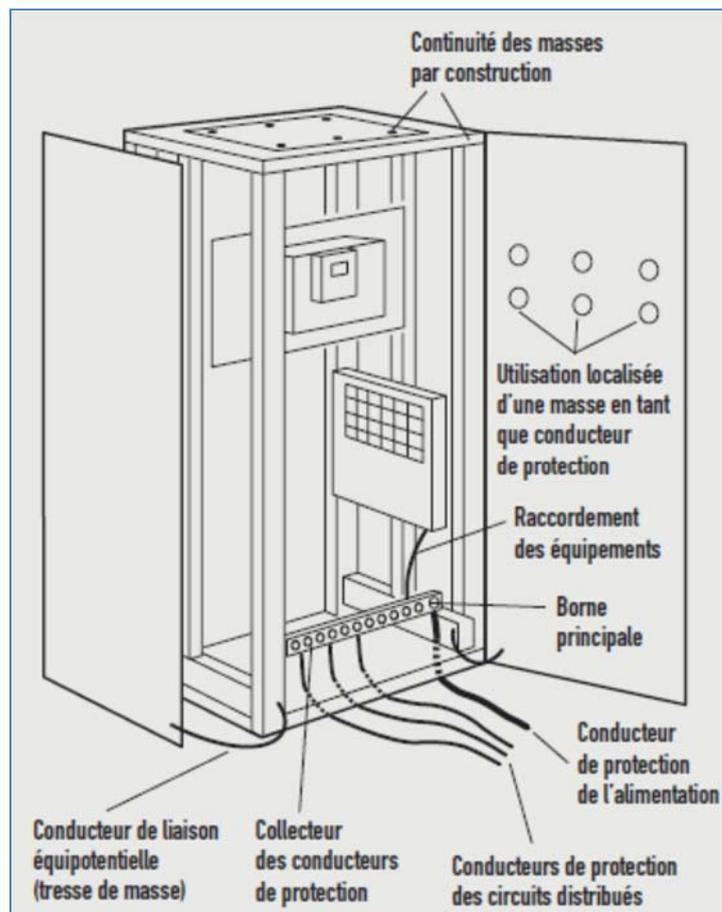


Figure 43 : Tableau électrique de classe I

7.4 Les caractéristiques du tableau:

Ces tableaux sont installés dans les chambres à louer. On aura les caractéristiques suivantes des tableaux:

1. La classe d'isolation est de type I avec mise à la terre du tableau au moyen du PE qui est dimensionné selon le courant assigné du tableau;
2. Le degré de protection IP est 20 et IK 07 pour un local de service électrique (annexe p. 223) ;
3. Conforme à la norme CEI 60439-3 ;
4. La tension d'isolation doit être au moins égale à celui de l'interrupteur c'est à dire de l'ordre 1000V ;

7.5 La protection contre les surtensions transitoires:

Voir chapitre 14 paragraphe 14.8.1

Tableau V : tableau de SMDB-7F

nom du tableau	TABLEAU DIVISIONAIRE (DESTINATION)	P (KW)	Q (KVAR)	Ib	cosphi	DISTANCE ENTRE DB ET DISJ AMONT (m)	KS (FACTEUR DE SIMULTANITE)	Ik3(MAX) en kA	ΔU (V)
SMDB-7F	INTERRUPTEUR PRINCIPAL	46.89	28.44	83.6	0.85	15	0.8	8.42	3.24
	DB-7F-1R	3.87	2.4	6.9	0.85	15			1.03
	DB-7F-1R	3.87	2.4	6.9	0.85	12			0.82
	DB-7F-1R	3.87	2.4	6.9	0.85	10			0.68
	DB-7F-1R	3.87	2.4	6.9	0.85	9			0.62
	DB-7F-1R	3.87	2.4	6.9	0.85	11			0.75
	DB-7F-1R	3.87	2.4	6.9	0.85	8			0.55
	DB-7F-1R	3.87	2.4	6.9	0.85	9			0.62
	DB-7F-1R	3.87	2.4	6.9	0.85	14			0.96
	DB-7F-2R	4.47	2.62	7.9	0.86	16			1.26
	DB-7F-2R	4.47	2.62	7.9	0.86	6			0.47
	DB-7F-2R	4.47	2.62	7.9	0.86	15			1.18
	DB-7F-2R	4.47	2.62	7.9	0.86	13			1.03
DB-7F-3R	4.44	2.64	7.8	0.86	9	0.47			

TABLEAU DIVISIONAIRE (DESTINATION)	ΔU CUMULEE (V)	ΔU CUMULEE (en %)	CABLE	DISJONCTEUR	Icn (kA)
INTERRUPTEUR PRINCIPAL			4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	OT 100	Icw=2.5 (1 sec)
DB-7F-1R	4.27	1.94	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC20	10
DB-7F-1R	4.06	1.85	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC20	
DB-7F-1R	3.92	1.78	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC20	
DB-7F-1R	3.86	1.75	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC20	
DB-7F-1R	3.99	1.81	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC20	
DB-7F-1R	3.79	1.72	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC20	
DB-7F-1R	3.86	1.75	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC20	
DB-7F-1R	4.20	1.91	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC20	
DB-7F-2R	4.50	2.05	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC25	
DB-7F-2R	3.71	1.69	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC26	
DB-7F-2R	4.42	2.01	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC27	
DB-7F-2R	4.27	1.94	4C, 4mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC	SN201MC28	
DB-7F-3R	3.71	1.69	4C, 6mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x6mm2 PVC	SN201MC32	

Chapitre 8. Les tableaux divisionnaires :

8.1 Introduction :

Les tableaux divisionnaires servent les charges directement et sont alimentés par les tableaux secondaires. Ils contiennent l'interrupteur principal et son câble, les 2 protégés par le disjoncteur amont dans le tableau secondaire (SMDB). Il y a aussi 2 groupes de disjoncteurs, le premier est protégé par un DDR de 30mA et le deuxième par celui de 500mA. On va déterminer chaque composant pour dimensionner le tableau. L'étude sera faite sur le tableau DB-7F-R1 qui est alimenté par SMDB-7F localisé à l'étage 7.

8.2 L'Interrupteurs de charge :

Son but est de séparer et d'isoler un circuit ou un appareil du reste de l'installation électrique afin de garantir la sécurité des personnes pour la maintenance.

La norme CEI 60364 impose que tout circuit électrique d'une installation puisse être sectionné. De même il définit les conditions à respecter pour qu'un appareil remplisse la fonction de sectionnement :

1. La coupure doit être omnipolaire ;
2. Une condamnation en position d'ouverture ;
3. Il doit garantir son aptitude au sectionnement par :
 - 3.1 Vérification de l'ouverture des contacts soit visuelle soit mécanique (appareils à coupure pleinement apparente) ;
 - 3.2 Mesure des courants de fuite, appareil ouvert ;
4. De supporter pendant une durée spécifiée des courants dans des conditions anormales du circuit telles que celles du court-circuit (un interrupteur peut être capable d'établir des courants de court-circuit mais n'est pas capable de les couper) surtout que cet interrupteur remplace le disjoncteur en tête du tableau (la coordination est vérifiée d'après l'annexe p. 207);
5. d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris éventuellement les conditions spécifiées de surcharges en service.

8.3 Calcul de court-circuit:

Le tableau est monophasé et le calcul du court-circuit au niveau de l'interrupteur est déduit de l'équation (voir Eq. 20 ci-dessous).

Au niveau de SMDB-7F (MDB) on a:

$R=27.44\text{m}\Omega$ (valeur issue de l'équivalent de résistance jusqu'au niveau SMDB-7F, le tableau qui alimente DB-7F-1R);

$X=8.52\text{m}\Omega$;

Au niveau de DB-1R:

$$R = 2 \times \rho_0 \times 10^3 \frac{L}{S_{ph}} = 2 \times 0.01851 \times 10^3 \frac{15}{4} = 138.82\text{m}\Omega;$$

$$X = \lambda \times L = 0.09 \times 15 = 1.35\text{m}\Omega;$$

On déduit alors:

$$sR=27.44+138.82=166.26\text{m}\Omega;$$

$$sX=8.52+1.35=9.87\text{m}\Omega;$$

On déduit alors:

$$Ik1_{max} = \frac{c_{max} \times m \times U_0}{\sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2}} = 1.45\text{kA (Eq. 19);}$$

Avec les données suivantes :

$$S=4\text{mm}^2;$$

$$L=15\text{m};$$

$$U_0=220\text{V};$$

$$\rho_0 = 18.51 \text{ m}\Omega\text{mm}^2/\text{m} ;$$

$$m=1.05;$$

$$\lambda=0.08 \text{ m}\Omega/\text{m};$$

Donc $Ik1_{max}=1.45\text{kA}$ et les disjoncteurs de distributions (SN201LC) (annexe 195, 196) auront leur pdc $I_{cn}=4.5\text{kA}>1.45\text{kA}$;

8.4 Chute de tension:

D'après l'équation et les données on a:

Pour le tableau DB-7F-R1:

$L=15\text{m}$ (distance entre SMDB-7F et DB-7F-R1);

$P = V \times I_b \times \cos\varphi = 220 \times I_b \times 0.85 = 3324\text{W} \Rightarrow I_b = 17.77\text{A}$ (courant d'emploi total)

$\Delta U = 3.24\text{V}$ (au niveau du tableau SMDB-7F);

$\Delta U = 1.03\text{V}$ (chute de tension du câble de section 4mm^2 entre SMDB-7F et DB-7F-R1);

Au niveau d'une charge du tableau (on prend l'exemple du chauffe-eau électrique):

$L=5\text{m}$;

$P = V \times I_b \times \cos\varphi = 220 \times I_b \times 1 = 1500\text{W} \Rightarrow I_b = 6.8\text{A}$;

$\Delta U = 0.63\text{V}$ (chute de tension du câble de section 1.5mm^2 entre DB-7F-R1 et le chauffe-eau électrique);

$\Delta U(\text{cumulee}) = 3.24 + 1.03 + 0.63 = 4.9\text{V}$

$\Delta U(\%) = 4.9/220 \times 100 = 2.22\% < 4$ (valeur à ne pas dépasser selon la norme CEI)
donc il n'est pas nécessaire de surdimensionner le câble;

8.5 Le dispositif différentiel résiduel (DDR) :

Voir chapitre 13 paragraphe 13.7.1

8.6 La protection contre les surtensions transitoires:

Voir chapitre 14 paragraphe 14.8.1

8.7 Les caractéristiques du tableau:

Ces tableaux sont installés dans des chambres à louer. On aura les caractéristiques suivantes des tableaux:

1. Pour l'esthétique des chambres, il sera préféré d'installer un tableau de type encastré dans le mur et de type modulaire puisque tous les dispositifs sont de type modulaire;
2. La classe d'isolation recommandée est II puisqu'il y a un accès aux personnes non qualifiées près du tableau;
3. Le degré de protection IP est 20 et IK 02 pour un local résidentiel (annexe p. 223);
4. La protection contre les contacts directs est assurée par la double isolation et du couvercle et la fermeture avec clef de la porte du tableau;
5. Conforme à la norme CEI 60439-3 ;

8.8 Le contacteur:

Le contacteur est commandé par le système de contrôle d'accès à carte placé à l'entrée de chaque chambre. En plaçant la carte, le système active le contacteur alimentant les circuits d'éclairage et les prises (sauf le minibar) dont le but est de minimiser le gaspillage de l'électricité lorsque la chambre n'est pas occupée.

Le contacteur doit avoir les caractéristiques suivantes :

1. Le courant d'emploi est $I_b = P_u / (V \times \cos \phi) = 2580 / (220 \times 0.89) = 13.17A$ (bilan DB-1R) alors le contacteur aura pour courant nominal $I_n = 20A$ sous la catégorie d'emploi AC22 (commutation des charges résistives et inductives) (annexe p. 221, 222) ;
2. Il doit être de type modulaire DIN rail pour être installée dans le tableau modulaire ;
3. Le contacteur doit avoir un sélecteur faisant partie du dispositif en cas de panne pour le mode manuel ;
4. Conforme à la norme IEC 1095 (contacteur d'usage résidentiel).

Tableau VI : tableau de DB-7F-R1

nom du tableau	PROTECTION DIFFERENTIEL	CHARGE	DESCRIPTION	P (W)	Q (W)	cos Φ	Ku	lb (A)	IK1(MAX) en kA	DISTANCE CHARGE-TABLEAU (M)
DB-1F-1R	INTERRUPTEUR PRINCIPAL								1.45	5 (VALEUR MOYENNE)
	500mA	ECLAIRAGE CUISINE	LAMPE LED LINEAIRE	150	113	0.8	1	0.85		
			SPOT LIGHT 4x50	200	0	1	1	0.91		
		ECLAIRAGE CHAMBRE	ECLAIRAGE INDIRECTE 8x36	288	114	0.93	1	1.41		
			LAMPE PRES DU LIT 2x60	120	0	1	1	0.55		
			BALCON ECLAIRAGE INDIRECTE 2X36	72	28	0.93	1	0.35		
	FCU (conditionnement d'air)			300	225	0.8	0.8	1.70		
	30mA	PRISES DE COURANT DE LA CHAMBRE ET	PRISE PRES DU LIT	200	204	0.7	1	1.30		
			TV	200	150	0.8	1	1.14		
		ECLAIRAGE SALLE DES BAINS	LAPTOP	200	150	0.8	1	1.14		
			LAMPE DE BUREAU	100	0	1	1	0.45		
			LAMPE DE SALLE BAINS	200	0	1	1	0.91		
		PRISES DE COURANT DE LA CUISINE	PRISE BALCON	200	204	0.7	1	1.30		
			VENTILATEUR D'EXTRACTION	50	38	0.8	0.8	0.28		
		MICROWAVE	MICROWAVE	1500	1125	0.8	1	8.52		
			PLAQUE DE CUISSON	1500	930	0.85	1	8.02		
			PLAQUE DE CHAUFFAGE D'EAU	1500	930	0.85	1	8.02		
	CHAUFFE EAU ELECTRIQUE			1500	930	0.85	1	8.02		
	MINI-BAR			100	75	0.8	1	0.57		

CHARGE	DESCRIPTION	ΔU (V)	ΔU CUMULEE	100 $\Delta U/U_n$ (en %)	CABLE	DISJONCTEUR	Icn (kA)
INTERRUPTEUR PRINCIPAL		4.27			2C, 4mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x4mm ² PVC	E202/25A	
ECLAIRAGE CUISINE	LAMPE LED LINEAIRE	0.11	4.38	1.99	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	4.5
	SPOT LIGHT 4x50	0.14	4.41	2.00	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
ECLAIRAGE CHAMBRE	ECLAIRAGE INDIRECTE 8x36	0.20	4.47	2.03	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
	LAMPE PRES DU LIT 2x60	0.08	4.35	1.98	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
	BALCON ECLAIRAGE INDIRECTE 2X36	0.05	4.32	1.96	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
FCU (conditionnement d'air)		0.21	4.48	2.04	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
PRISES DE COURANT DE LA CHAMBRE ET	PRISE PRES DU LIT	0.14	4.41	2.00	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
	TV	0.14	4.41	2.00	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
ECLAIRAGE SALLE DES BAINS	LAPTOP	0.14	4.41	2.00	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
	LAMPE DE BUREAU	0.07	4.34	1.97	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
	LAMPE DE SALLE BAINS	0.14	4.41	2.00	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
PRISES DE COURANT DE LA CUISINE	PRISE BALCON	0.14	4.41	2.00	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
	VENTILATEUR D'EXTRACTION	0.04	4.31	1.96	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	
MICROWAVE	MICROWAVE	0.64	4.91	2.23	2C, 2.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x2.5mm ² PVC	SN201LC16	
	PLAQUE DE CUISSON	0.63	4.90	2.23	2C, 2.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x2.5mm ² PVC	SN201LC16	
	PLAQUE DE CHAUFFAGE D'EAU	0.63	4.90	2.23	2C, 2.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x2.5mm ² PVC	SN201LC16	
CHAUFFE EAU ELECTRIQUE		0.63	4.90	2.23	2C, 2.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x2.5mm ² PVC	SN201LC16	
MINI-BAR		0.07	4.34	1.97	2C, 1.5mm ² CU/PVC/PVC+PE 1x1.5mm ² PVC	SN201LC10	

Chapitre 9. Les tableaux des démarreurs :

9.1 Introduction:

Les tableaux de démarreurs des moteurs assurent le démarrage et la protection des moteurs. Ces tableaux seront étudiés en choisissant l'exemple du tableau MCP-RF-VENT (tableau VI p. 105). On commence par la détermination du type de démarrage utilisé, la protection des moteurs et leur contribution durant le court-circuit, le contrôle, les contacteurs et ses coordinations avec les disjoncteurs et enfin les caractéristiques du tableau électrique.

Les charges de l'installation sont diverses:

1. Les ventilateurs;
2. Les pompes;
3. Les refroidisseurs (chillers);
4. Les ascenseurs ;

Les 2 derniers sont démarrés et contrôlés par des variateurs de vitesse délivrés par les fournisseurs et ne font pas partie de l'étude. L'étude est faite sur les autres moteurs.

Chaque démarreur comprend les dispositifs suivants :

1. Disjoncteur-moteurs;
2. Contacteur 3P à catégorie d'emploi AC3 ;
3. Jonctions de puissance dimensionnée (U-V-W) pour charge triphasé ou (L-N) pour une charge monophasée selon le câble de puissance ainsi que des jonctions de contrôle et à propos de PE une barre fixe au plateau liant toutes les pièces métalliques à cette barre ainsi que les conducteurs PE des moteurs.

9.2 Type de démarrage:

Le démarrage direct est la solution la plus simple et coûte le moins cher. Le moteur démarre sur ses caractéristiques naturelles. Au moment de la mise sous tension, le moteur se comporte comme un transformateur dont le secondaire, constitué par la cage du rotor très peu résistante, est en court-circuit. Le courant induit dans le rotor est important. Il en résulte une pointe de courant sur le réseau :

$I_{dém} = 5 \text{ à } 8 I_n$ pour les moteurs classiques

Le couple de démarrage est en moyenne :

$C_{dém} = 0.5 \text{ à } 1.5 \times C_{nominal}$.

Malgré les avantages qu'il présente (simplicité de l'appareillage, couple de démarrage élevé, démarrage rapide, prix faible), le démarrage direct ne peut convenir que dans les cas où :

1. La puissance du moteur est faible par rapport à la puissance du réseau, ce qui permet de limiter les perturbations dues à l'appel de courant et par suite il est recommandé d'utiliser le démarrage direct pour une capacité ne dépasse pas 5HP (3.72kW) ;
2. La machine entraîné ne nécessite pas une mise en vitesse progressive ;
3. Le couple de démarrage peut être élevé sans incidence sur le fonctionnement de la machine ou de la charge entraînée.

9.3 Les protections des moteurs sont diverses :

1. Court-circuit : les disjoncteur-moteurs assurent la protection contre ce défaut et qui ne déclenchent pas pour les courants d'appel au démarrage. Le pdc du disjoncteur (MS116) est $I_{cu}=50K_a > 11.67kA$ (Eq.) (annexe p. 225);
2. Surcharge: le disjoncteur de série MS116 qui doit avoir une plage de déclencheur thermique (I_r) entre 1.05 et 1.25 fois celui du courant d'emploi I_b . Le démarrage des moteurs est rapide pour les ventilateurs dont la classe de déclenchement est 10A qui correspond au temps de déclenchement 10sec pour I/I_r (il sera recommandé pour les démarrages n'excédant 10 sec). Les classes 20A et 30A sont réservées aux moteurs de démarrage plus long dues au couple résistant élevé.
3. Déséquilibre, inversion ou perte de phase de tension, surtension ou baisse de tension : ces 5 défauts seront détectés par le relai de phase ;
4. Défaut à la terre : le DDR de sensibilité 30mA est suffisant pour la protection du moteur et des personnes contre les contacts indirects en remplaçant le disjoncteur principal le type MCCB par un autre équipé d'un relai différentiel de sensibilité de 30mA ;
5. Démarrage trop long : elle n'est pas nécessaire en présence de couple résistant faible ;
6. Blocage du moteur : la protection évite la surchauffe du moteur en cas du blocage du rotor. Pour l'application de ventilation, il n'existe pas des charges

solides qui peuvent bloquer la rotation du moteur et par suite cette protection n'est pas nécessaire ;

7. Baisse de puissance : la protection la marche à vide. elle est surtout utilisée pour les compresseurs et les pompes mais n'est pas nécessaire pour les ventilateurs ;
8. Baisse du facteur de puissance : la protection évite la marche d'un moteur ayant un courant à vide élevé. Pour les moteurs de petites dimensions comme pour le cas étudié il n'y a pas de problèmes ;
9. Augmentation du facteur de puissance : cette protection détecte la fin du démarrage, elle peut être utilisée pour des lents démarrages avec des charges lourdes ;
10. Protection contre les surtensions transitoires : voir chapitre 14 paragraphe 14.8.1;
11. Donc comme on voit, les protections essentielles sont suffisantes pour le bon fonctionnement des moteurs.

Calcul de court-circuit :

La valeur de court-circuit monophasé au niveau du tableau MCP-RF-VENT est :

$$IK1_{\max} = \frac{C_{\max} \times m \times U_0}{\sqrt{(R_Q + R_S + R_{ph} + R_{Na} + \rho_0 \times L \left(\frac{1}{S_{ph} \times n_{ph}} + \frac{1}{S_N \times n_N} \right))^2 + (X_Q + X_S + X_{ph} + X_{Na} + \lambda \times L \left(\frac{1}{n_{ph}} + \frac{1}{n_N} \right))^2}}$$

$$IK1_{\max} = \frac{1.05 \times 1.05 \times 220}{\sqrt{(2.66 + 18.51 \times 24 \times \left(\frac{1}{2.5} + \frac{1}{2.5} \right))^2 + (5.96 + 0.09 \times L(1 + 1))^2}} = 0.67 \text{ kA}$$

$$\Sigma R = R_Q + R_S + R_{ph} + R_{Na} = 2.66 \text{ m}\Omega ;$$

$$\Sigma X = X_Q + X_S + X_{ph} + X_{Na} = 5.96 \text{ m}\Omega ;$$

Les valeurs sont issues du bilan de puissance de MDB pour la charge SMDB-COM (tableau IV p. 74).

Le courant de court-circuit total doit prendre en compte la contribution des moteurs à augmenter le courant de défaut, mais puisque la puissance totale du tableau est faible, cette contribution est négligeable (voir paragraphe 6.7.3).

9.4 Contribution des moteurs au court-circuit :

Comme déjà expliqué dans le paragraphe précédent, il faut estimer la valeur de court-circuit avec la contribution afin de bien dimensionner les disjoncteurs.

Calcul de court-circuit :

Au niveau des moteurs on a les impédances (on prend l'exemple EAF RF-1) [16]:

$$X_m = x'd(\%) \times \frac{U_o^2}{P_{xc} \cos \varphi / \eta} = \frac{380^2}{\frac{400 \times 0.8}{0.8}} = 30.25 \text{ m}\Omega \text{ (Eq. 20);}$$

$R_m = 0.2 \times X_m = 6.05$ (Eq. 21) (relation entre R_m et X_m pour un moteur de grande vitesse);

Câble du moteur EAF RF-1 :

$$R_c = 46.28 \text{ m}\Omega ;$$

$$X_c = 0.8 \text{ m}\Omega ;$$

On déduit l'impédance équivalente :

$$Z_{cm} = \sqrt{(R_c + R_m)^2 + (X_c + X_m)^2} = 60.84 \text{ m}\Omega ;$$

$$I_{cm} = \frac{U_o}{Z_{mc}} = 3615.8 \text{ A.}$$

On obtient au niveau du disjoncteur principal le court-circuit présumé :

$I_{cm}(\text{EAF RF-1}) + I_{cm}(\text{EAF RF-2}) + I_{cm}(\text{EAF RF-1}) + I_{cm}(\text{EAF RF-1}) + I_{cm}(\text{EAF RF-2}) + I_{k1} = 11 + 0.67 = 11.67 \text{ kA}$ donc le disjoncteur principal doit avoir $I_{cu} > 11.67$. De plus, la somme des courants de démarrage de tous les moteurs alimentés par ce disjoncteur ne doit pas provoquer son déclenchement.

On a le courant total durant le démarrage : $I_{td} = 3 \times (SIb) = 3 \times 5.66 = 16.98 \text{ A}$ (le facteur 3 représente le rapport entre le courant de démarrage et courant nominal du moteur) alors le disjoncteur principal doit permettre passer ce courant sans déclenchement pendant quelque secondes et de $pdc I_{cu} > 11.67 \text{ kA}$. Donc le choix du disjoncteur sera T1b 3p 16 TMA (disjoncteur de type MCCB, 3 pole, $I_n = 16 \text{ A}$, $I_{cu} = 16 \text{ kA}$ et de réglage thermomagnétique pour régler le courant $I_r > 4.54 \text{ A}$ (courant d'emploi total).

9.5 Le contrôle des moteurs:

9.5.1 Le contacteur:

Le contacteur sera choisi suivant les caractéristiques suivantes :

$$12. \text{ le courant nominal du contacteur } I_n \geq I_b ;$$

13. la catégorie d'emploi est AC3 pour un moteur avec interruption après démarrage ;
14. la protection est définie selon le type de coordination à adopter (voir paragraphe suivant) ;
15. l'endurance électrique : le contacteur de série AS qui est choisi a les mêmes caractéristiques de manœuvre que les contacteurs utilisés dans le tableau MDB et qui sont de série AF et de nombre de manœuvre assez élevé ;

9.5.2 Coordination entre les disjoncteurs et le contacteur :

La coordination des protections, c'est d'associer un (fusible ou disjoncteur) avec un contacteur et un relais thermique. Elle a pour but d'interrompre à temps et sans danger pour les personnes et les installations un courant de surcharge ou un courant de court-circuit. La norme CEI 947 définit deux types de coordinations démarreurs :

1. Type 1 : En condition de court-circuit, le matériel ne doit pas occasionner de danger aux personnes et aux installations. Après la disparition du court-circuit, il ne peut pas être en mesure de fonctionner sans réparation ou remplacement de pièces. Détérioration du contacteur et le relais est acceptable à deux conditions:
 - 1.1 aucun danger pour le personnel d'exploitation et pour les charges;
 - 1.2 aucun danger pour les composants autres que le contacteur et le relais ;
2. Type 2 : En condition de court-circuit, le matériel ne doit pas occasionner de danger aux personnes et aux installations. Après la disparition du court-circuit, il ne doit présenter aucune détérioration ni aucun dérèglement. Seul le risque de soudure des contacts du contacteur est admis s'ils sont facilement séparables. Aucun remplacement de pièces n'est permis au cours de l'essai, à l'exception des fusibles qui doivent tous être changés. Seul soudage mineur des contacts de contacteur ou de démarreur est autorisé. Les contacts doivent être facilement séparés. Après de type 2 tests de coordination, les fonctions d'appareillages doivent être pleinement opérationnelles. Puisque les charges font partie des services essentiels de l'hôtel et du cinéma on doit alors appliquer la coordination de type 2.

Ces charges sont essentielles et ne doivent pas être interrompues que pour des courtes périodes même après un défaut puisqu'ils servent au refoulement de l'air et contribuent au renouvellement de l'air frais. Donc il sera recommandé de choisir la coordination de type 2. L'annexe p. 225 présente le choix des disjoncteurs-moteur et les contacteurs qui sont de série AS, ces derniers sont données dans le tableau VII.

La coordination de type 2 présente 2 choix pour l'ABB : pour $I_{k3}=16kA$ et $50kA$. On choisit le premier puisque le courant de court-circuit au niveau du tableau est de $11.67kA$.

9.6 Les schémas de MCP-RF-VENT:

Contrôle des démarreurs (annexe p. 228- 230):

On prend la charge EAF-RF-1 c'est un ventilateur d'extraction d'air localisé au toit chassant l'air des couloirs pour renouveler l'air frais en créant une différence de pression négative. Son démarreur est localisé dans le tableau MCC-RF-VENT. En cas d'incendie dans le couloir, ce ventilateur doit être mis en marche pour chasser les vapeurs issus des flammes.

Tant qu'il n'y a pas d'incendie, le tableau d'alarme FACP envoie un signal vers (R1) qui ouvre son contact normalement fermé et permet au contacteur (C1) de fermer ses contacts de puissance en mode automatique du sélecteur (S1) et la lampe marche (H4) s'allume. Si en cas d'alarme d'incendie, ce signal n'est plus transmis vers le pair de jonction de numéro (1-2), cette charge fonctionne puisque le relai (R1) est mis hors tension. En cas de surcharge, le contact auxiliaire de CB1 arrête le fonctionnement pour les 2 modes (auto-manuel) et la lampe de surcharge H5 est allumée. Elle s'éteint lorsque l'équipe de maintenance élimine la cause de ce défaut et réinitialise le CB1 en pressant sur le bouton placé sur ce dernier. Le mode manuel est réservé pour la maintenance ou en cas d'urgence.

Tableau VII : tableau de MCP-RF-VENT

nom du tableau	PROTECTION DIFFERENTIEL	CHARGE	DESCRIPTION	IK1(MAX) en kA	DISTANCE TABLEAU-CHARGE (m)	ΔU (V)	ΔU CUMULEE (en %)	100ΔU/Un (en %)	CABLE
MCP-RF-VENT	30mA	DISJONCTEUR PRINCIPAL		11.54	24	3.12	1.71	0.89	3C, 2.5mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x16mm2 PVC
		EAF-RF1	EXHAUST AIR FAN RF-1		15 (VALEUR MOYENNE)	2.00	2.24	0.53	3C, 1.5mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC
		EAF-RF2	EXHAUST AIR FAN RF-2			2.00	2.24	0.53	3C, 1.5mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC
		EAF-RF3	EXHAUST AIR FAN RF-3			2.00	2.24	0.53	3C, 1.5mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC
		EAF-RF4	EXHAUST AIR FAN RF-4			0.24	1.77	0.06	3C, 1.5mm2 CU/PVC/PVC+PE 1x4mm2 PVC

CHARGE	DESCRIPTION	DISJONCTEUR	TYPE DE DEMARREUR	CONTACTEUR	Nb de phase	P (kW)	I _b	K _u	K _s	CONSOMMATION UTILE
DISJONCTEUR PRINCIPAL		T1b 3p 16 TMA			3		4.53			4.53
EAF-RF1	EXHAUST AIR FAN RF-1	MS116-2.5	DIRECTE	AS09-30-10-28	1	0.7	1.32	0.80	1.00	1.06
EAF-RF2	EXHAUST AIR FAN RF-2	MS116-2.5	DIRECTE	AS09-30-10-28	1	0.7	1.32	0.80		1.06
EAF-RF3	EXHAUST AIR FAN RF-3	MS116-2.5	DIRECTE	AS09-30-10-28	1	0.8	1.51	0.80		1.21
EAF-RF4	EXHAUST AIR FAN RF-4	MS116-2.5	DIRECTE	AS09-30-10-28	1	0.8	1.51	0.80		1.21

Tableau VIII : calcul de contribution en court-circuit des moteurs du tableau MCP-RF-VENT

CHARGE	REF	R _c (mΩ)	X _c (mΩ)	R _m (mΩ)	X _m (mΩ)	Z _{cm} (mΩ)	I _{mc} (A)	S _R	S _X
EXHAUST AIR FAN RF-1960 LPS	EAF RF-1	46.28	0.80	6.05	30.25	60.84	3615.80	52.33	31.05
EXHAUST AIR FAN RF-2090 LPS	EAF RF-2	50.90	0.88	6.05	30.25	64.91	3389.57	56.95	31.13
EXHAUST AIR FAN TF-570 LPS	EAF TR-1	55.53	0.96	16.13	80.67	108.62	2025.39	71.66	81.63
EXHAUST AIR FAN TF-475 LPS	EAF TR-2	60.16	1.04	16.13	80.67	111.79	1968.03	76.29	81.71
							11.00	257.23	225.51
							I _{mct} (kA)	S _{Rt}	S _{Xt}

9.7 Les caractéristiques du tableau:

Ces tableaux sont installés dans les salles des machines. On aura les caractéristiques suivantes des tableaux:

5. Ce tableau sera de type modulaire en présence des dispositifs modulaires (disjoncteurs et interrupteur);
6. La classe d'isolation est de type II. Elle est suffisante en présence d'un jeu de barre joint au tableau et lié à la terre ainsi que l'installation des DDR;
7. Le degré de protection IP est 31 et IK 08 pour une salle des machines (annexe p. 223);
8. La protection contre les contacts directs est assurée par l'isolation des câbles et les goulottes;
9. Conforme à la norme CEI 60439-3 ;

Chapitre 10. La correction de facteur de puissance:

10.1 La nécessité d'améliorer le facteur de puissance :

La compensation de l'énergie réactive est l'un des facteurs essentiels pour réduire la facture d'énergie et pour améliorer la qualité de l'installation électrique. Un petit exemple montre l'importance d'avoir un facteur de puissance élevé : pour $\cos\phi=0.5$ le courant appelé est le double du courant utile et pour $\cos\phi=0.9$ ce courant est de 10%. Pour faire la correction, il faut tout d'abord définir les charges consommateurs d'énergie réactive puis déterminer le facteur de puissance de l'installation et d'après cette valeur, la distribution des charges réactives et leur variation durant les périodes du jour il faut choisir le type du correcteur et son emplacement. Cette correction évite la facturation de kVAR (Figure 44), le surdimensionnement des câbles et du transformateur ainsi que la réaction des générateurs vis-à-vis du facteur de puissance très bas. La figure ci-dessous présente la tarification qui dépend de l'installation. Puisque le transformateur est au propriétaire de l'hôtel, la catégorie de tarification est celui de moyenne tension qui présente la facturation de kWh et celui de kVARh. Par suite la connaissance de la puissance réactive de l'installation est nécessaire et d'éviter la consommation excessive par le transformateur en la compensant.

Industry, craftsmen, agriculture		Other subscribers	
Tariff in LBP/kWh (Active Energy)	Tariff in LBP/kVARh (Reverse Energy)	Tariff in LBP/kWh (Active Energy)	Tariff in LBP/kVARh (Reverse Energy)
130	50	140	50

Figure 44 : tarification de l'énergie réactive par EDL [17]

10.2 Etude de cas de l'installation :

Puisque l'installation consomme 1070kVA, la facturation de P et Q sont prises en considération. Il faut abaisser la consommation de Q en dessous de la valeur contractuelle avec l'EDL. La valeur de FP recommandée par CEI est égale à 0.93 et on doit compenser la puissance réactive absorbée pour conserver cette valeur. En se référant au bilan de puissance de MDB, j'ai trouvé que le facteur de puissance de l'installation est $FP=0.81$ (annexe p. 66). Donc il faut installer un compensateur de l'énergie réactive pour éviter la facturation de kVAR côté transformateur (Figure 44).

Pour le côté générateurs, il n'est pas recommandé de faire la correction puisque s'il y a excès de réactive due au banc de compensation et qui excède 10% de la puissance réactive que le générateur peut absorber (sens inverse), il risque d'avoir une surtension au stator et la perturbation du régulateur de tension. Le générateur sera surexcité et peut endommager l'alternateur et un déclenchement de protection. Pour éviter les effets de l'inversion de sens de Q, le correcteur de facteur de puissance ne fonctionne que lorsque les générateurs sont mis hors tension et le transformateur alimente l'installation.

Cette correction a plusieurs avantages:

1. Diminution des pertes de lignes par diminution de courant consommé dans les câbles en amont du niveau de correction de 13% par rapport à la valeur initial sans compensation (pour les tableaux MDB-TR et MDB-EDL ; le rapport de perte ligne RI_b^2 est $1743^2/2001^2=0.87$ ou $100-87=13\%$) ;
2. Possibilité de réduire les sections des câbles en amont de la compensation puisque le courant est abaissé de 339A (sans compensation $I_b = \frac{P}{3xV_x \cos\phi} = \frac{1070}{3x220x0.81} = 2001A$; avec compensation $I_b = \frac{P}{3xV_x \cos\phi} = \frac{1070}{3x220x0.93} = 1743A$; $\Delta I_b = 2001 - 1743 = 258A$);
3. Réduction de la chute de tension en diminuant la circulation de courant inductif en amont du niveau de correction (pour les tableaux MDB-TR et MDB-EDL);
4. Augmentation de la puissance disponible P donc le transformateur n'est plus surdimensionnée et un bénéfice de réserve de puissance non utilisée en cas d'extension de l'installation avec un réserve de 8.5 % de sa capacité totale ($\Delta S = 3xV_x \Delta I_b = 3x220x258A = 170kVA$; $Reser. = \frac{170}{2000} x 100 = 8.5\%$);
5. Mais le facteur de puissance en aval de la compensation c'est-à-dire en dessous de MDB reste plus petit que 0.93 et s'il exige d'accroître cette valeur on a recourt à la compensation individuelle juste près de la charge inductive par le raccord en parallèle ;

Equipements et appareils			cos ϕ	tan ϕ
■ Moteur asynchrone ordinaire	chargé à	0 %	0,17	5,80
		25%	0,55	1,52
		50 %	0,73	0,94
		75 %	0,80	0,75
		100 %	0,85	0,62
■ Lampes à incandescence			1,0	0
■ Lampes fluorescentes (non compensées)			0,5	1,73
■ Lampes fluorescentes (compensées)			0,93	0,39
■ Lampes à décharge			0,4 à 0,6	2,29 à 1,33
■ Fours à résistance			1,0	0
■ Fours à induction avec compensation intégrée			0,85	0,62
■ Fours à chauffage diélectrique			0,85	0,62
■ Machines à souder à résistance			0,8 à 0,9	0,75 à 0,48
■ Postes statiques monophasés de soudage à l'arc			0,5	1,73
■ Groupes rotatifs de soudage à l'arc			0,7 à 0,9	1,02 à 0,48
■ Transformateurs-redresseurs de soudage à l'arc			0,7 à 0,8	1,02 à 0,75
■ Fours à arc			0,8	0,75

Figure 45 Valeurs de cos ϕ et tan ϕ pour les appareils

10.3 Type de compensation:

La correction consiste à compenser la puissance réactive consommée. Mais l'installation comprend des charges réactives dispersées et nombreuses, de plus la variation de la consommation est continue durant la journée (occupation des chambres, mise en marche et arrêt de fonctionnement des pompes selon le besoin et variation de la puissance des refroidisseurs par leur variateurs de vitesse pour atteindre les valeurs de l'humidité et de températures convenables).

Le mode de compensation individuelle pour chaque charge est une solution coûteuse pour une installation comportant 34 moteurs, 4 élévateurs et 2 refroidisseurs ainsi que les charges réactives dispersées dans les chambres à louer. Le compensateur statique ou automatique est plus coûteux et sera convenable pour une installation possédant des charges sensibles (centre de communication...) et exigeant une qualité de puissance élevée c'est-à-dire que la perturbation de tension n'est pas acceptable lors de commutation des contacteurs en phase transitoire.

Donc la compensation semi-automatique est une solution compromise technico-économique. Ce compensateur sera constitué de plusieurs gradins, chacun est présenté par un contacteur munie d'une résistance d'amortissement limitant le courant à l'enclenchement et de capacité avec une protection en amont (disjoncteur ou fusible).

Le gradin est représenté par un disjoncteur, un contacteur et un condensateur. Le disjoncteur protège l'ensemble de gradin, le contacteur est enclenché ou déclenché par le correcteur nommé le relai varométrique pour conserver une valeur de facteur de puissance consignée. Le disjoncteur principal doit être le plus près possible de l'amont de l'installation donc il doit être connecté au jeu de barre du tableau MDB. Cela est réalisable en intégrant l'ensemble de ce disjoncteur et les gradins dans ce tableau.

Avantage de la compensation centralisée semi-automatique :

1. Coût d'installation et d'achat réduit ;
2. Un ensemble centralisé, l'entretien et la mesure sont faciles ;
3. Extension facile en ajoutant des gradins ;
4. Compensation en fonction de la demande de la puissance réactive, elle est donc compensée de façon optimale à chaque instant et ne risque pas de surcompenser comme dans le cas de compensation individuelle ;

Mais l'inconvénient est que le réseau en aval de ce correcteur n'est pas compensé laissant la propagation libre de l'énergie réactive dans l'installation avec ses conséquences. On peut alors compenser individuellement au moins pour les plus grands consommateurs de l'énergie réactive, ce sont les 2 refroidisseurs de 180kW et qui comportent plusieurs moteurs (ventilateurs et compresseurs) mais la compensation individuelle fixe est inutile et même risque de de compensation excessive lorsque le refroidisseur fonctionne à une puissance réduite.

Il y a 2 méthodes pour coupler les capacités en triangle ou en étoile. Il sera plus efficace de les coupler en triangle puisque pour la même puissance réactive générée, la capacité du triangle est le tiers de celle de l'étoile ($Q_{CY} = Q_{C\Delta} \rightarrow C_Y = 3C_{\Delta}$). L'installation étant en basse tension, il n'y a pas de problème de claquage de l'isolation qui peut détériorer les condensateurs.

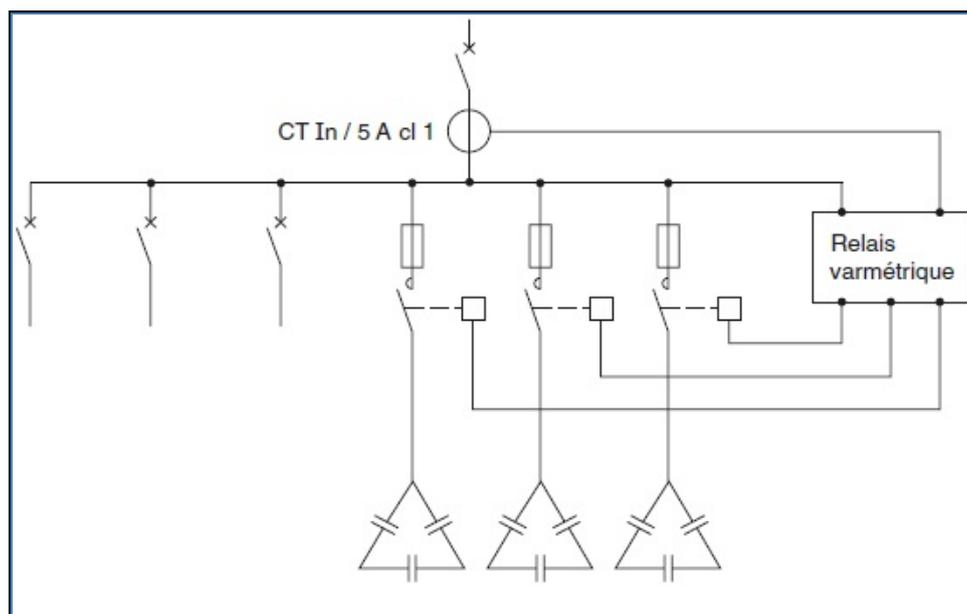


Figure 46 : Principe de la compensation semi-automatique d'une installation

10.4 Les charges consommateurs d'énergie réactive :

Les charges consommateurs d'énergie réactive sont partagées essentiellement en 4 zones (Figure 45):

1. Les moteurs :
 - 1.1 Les 2 refroidisseurs de 180 kW chacun avec presque 100% de charge de type moteurs (compresseurs et ventilateurs) mais avec un taux d'harmonique de courant de 30% des compresseurs qui sont commandés par les variateurs de vitesse;
 - 1.2 Les pompes et les ventilateurs avec PF de valeur 0.8 ;
 - 1.3 Les moteurs des ascenseurs à commande par variateur de vitesse avec un taux d'harmonique de courant de 30% ;
 - 1.4 Les ventilateurs pour la climatisation des chambres (FCU) ;
2. Les tubes fluorescents : ces lampes associées aux ballasts électroniques auront un facteur de puissance 0.93 ;
3. Le transformateur : il engendre des pertes à vide réactives en présence de réactance parallèle et série au secondaire. Sa compensation est recommandée d'être faite par le correcteur semi-automatique pour éviter de rendre l'installation capacitive lors des périodes d'activités réduites (après minuit), par suite une amende sera prévue par la compagnie de l'électricité ;

10.5 Détermination de la puissance réactive à compenser :

Pour bien dimensionner les batteries des condensateurs, on prendra en considération le taux d'harmonique de l'installation.

Pour calculer la puissance réactive à compenser, on doit appliquer la formule: $Q_c = P \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$ avec $\cos \phi_1 = 0.81$ (valeur de $\cos \phi$ global issue du tableau).

On a $P = 1070 \text{ kW}$ donc $Q''_c = 1070 \times (0.724 - 0.395) = 352 \text{ kVAR}$. On doit ajouter la valeur de la puissance réactive du transformateur à compenser égale à 60.9 kVAR , donc la valeur final $Q'_c = Q_c + Q''_c = 352 + 60.9 = 412.9 \text{ kVAR}$. Le transformateur consomme de l'énergie réactive sous 2 formes à vide et en charge due aux pertes fer et pertes cuivre respectivement donc la formule de la compensation est la somme de 2 parties dont la première correspond à la perte fer et l'autre perte en charge [3]:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0 \%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u_k \%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{cu}^2} \approx \left(\frac{i_0 \%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k \%}{100} \cdot S_r\right) \text{ [kvar]}$$

Formule de puissance réactive à compenser (Eq. 22) [18]

$$\text{Donc } Q_c = S_r \times \left(\frac{i_0 \%}{100} + K_L^2 \times \frac{u_k \%}{100}\right) = 2000 \left(\frac{0.8}{100} + \left(\frac{82}{134}\right)^2 \times \frac{6}{100}\right) = 60.9 \text{ kVAR};$$

Q_c : puissance réactive à compenser pour le transformateur;

Q'_c : puissance réactive à compenser pour l'ensemble de l'installation et le transformateur;

Q''_c : puissance réactive à compenser pour l'ensemble de l'installation;

i_0 : courant absorbé à vide;

S_r : puissance apparente;

P_{fe} : perte fer;

P_{cu} : perte cuivre;

U_k : tension de court-circuit égale à 6%;

K_L : facteur de charge entre courant minimale et la capacité du transformateur, la valeur proche est 0.75 correspond à une valeur 82 et pour la capacité total ou 1 la valeur est 134 donc $K_L = 82/134 = 0.61$ (Figure 47);

S _r [kVA]	u _k % [%]	i _o % [%]	P _{fe} [kW]	Q _c [kvar]		load factor K _L				
				P _{cu} [kW]		0	0.25	0.5	0.75	1
Cast Resin Distribution Transformer MV-LV										
100	6	2.3	0.50	1.70	2.2	2.6	3.7	5.5	8	
160	6	2	0.65	2.40	3.1	3.7	5.5	8.4	12	
200	6	1.9	0.85	2.90	3.7	4.4	6.6	10	15	
250	6	1.8	0.95	3.30	4.4	5.3	8.1	13	19	
315	6	1.7	1.05	4.20	5.3	6.4	9.9	16	24	
400	6	1.5	1.20	4.80	5.9	7.3	12	19	29	
500	6	1.4	1.45	5.80	6.8	8.7	14	23	36	
630	6	1.3	1.60	7.00	8	10	17	29	45	
800	6	1.1	1.94	8.20	8.6	12	20	35	56	
1000	6	1	2.25	9.80	9.7	13	25	43	69	
1250	6	0.9	3.30	13.00	11	15	29	52	85	
1600	6	0.9	4.00	14.50	14	20	38	67	109	
2000	6	0.8	4.60	15.50	15	23	45	82	134	

Figure 47: puissance réactive à compenser pour le transformateur[19]

10.6 Choix du nombre de gradins:

Il existe plusieurs algorithmes de commutation des gradins mais pour plus de flexibilité, l'algorithme de partage des capacités à installer sera (1,2,2,2...). D'autres termes, toutes les capacités auront la même puissance réactive (C2) sauf le premier (C1) qui aura la moitié des autres et lorsqu'on a besoin de réguler le FP d'une capacité plus petite que de C2, C1 sera mis sous tension. Si le premier condensateur est de 20kVAR, le reste est 40kVAR, donc $(20+nx40)=412.9\text{kVAR}$, alors $n=9.82$ soit 10.

La raison que j'ai choisie cet algorithme est pour avoir plus de précision dans la correction et une diminution de l'effet de la tension transitoire lors de leur commutation qui s'accompagne avec une surintensité de leur courant nominal, un effet similaire à un court-circuit. En présence des harmoniques, les condensateurs seront de type H pour résister contre les surintensités engendrées par les harmoniques de courant.

10.7 La protection des condensateurs:

Chaque gradin doit être protégé par un disjoncteur ou un fusible dont son courant nominal est fonction de la capacité à délivrer de la puissance réactive. Il faut tout d'abord déterminer le courant d'emploi du condensateur. On considère I_{cn} le courant nominal, et d'après CEI-60831-1 et 60931-1 cette valeur doit être majorée pour prendre en considération des harmoniques (130%) et de tolérance due au conception (10%) donc $I_b = \frac{Q_c}{U\sqrt{3}} \times 1.3 \times 1.1 = 1.43I_{cn}$. Le courant de surcharge du disjoncteur sera réglé à $I_n=1.5I_{cn}$.

Ce disjoncteur doit coordonner avec le contacteur et résister contre les surintensités périodiques ou permanentes dues aux harmoniques de tension ainsi qu'aux pics de courant du condensateur à la mise sous tension. Son pouvoir de coupure devra être plus grand que le courant de court-circuit présumé au point de connexion.

La capacité absorbe de 25 jusqu'à $200I_{cn}$ pour un temps 1 à 3ms, le pouvoir de fermeture du disjoncteur doit donc être $I_{cm} > 200I_{cn}$. Le choix de câble à mettre est issu de la figure 48.

Puissance de la batterie de condensateurs (kvar)		Section conducteur en cuivre (mm ²)	Section conducteur en aluminium (mm ²)
230 V	400 V		
5	10	2,5	16
10	20	4	16
15	30	6	16
20	40	10	16
25	50	16	25
30	60	25	35
40	80	35	50
50	100	50	70
60	120	70	95
70	140	95	120

Figure 48 : Section des câbles de connexion pour des batteries de condensateurs de moyenne et forte puissance

10.8 Le contacteur:

Le choix du contacteur dépend du courant nominal du condensateur et de son comportement transitoire surtout lors de la mise sous tension ainsi que d'autres facteurs comme l'environnement et le nombre de manœuvre par an. Ce contacteur est soumis à des contraintes électriques donc ou bien il faut surdimensionner un contacteur conventionnel ou utiliser un contacteur spécial pour une commutation des condensateurs afin d'éviter l'érosion des contacts ou même leur fusion surtout en présence des harmoniques. Le contacteur sera de catégorie d'emploi AC-6b selon la norme CEI-60947-4-1 et le courant thermique $I_{th}=1.3 \times 1.15 I_n = 1.5 I_n$ (Eq. 23), de plus il sera recommandé d'utiliser des résistances de décharge pour atténuer les premiers ondes de courant d'appel avant la fermeture des contacts.

Les caractéristiques nécessaires pour le contacteur sont :

1. Conforme à la norme NF C 63-110 ou CEI 158 ou VDE 0660.
2. De nombre de manœuvres minimum de 100 000 ;
3. Pouvant supporter jusqu'à 200In du courant nominal du contacteur pour un certain temps ;
4. Température ambiante de 50°C ;

10.9 Le transformateur de courant :

Un transformateur de courant (CT) est indispensable pour que le correcteur reçoive la valeur de courant. Cette valeur avec la mesure de la tension, le correcteur fait une comparaison entre le facteur FP lu et celui du consigne. Le CT doit être conforme à la norme CEI 44 et devra avoir un secondaire de 5 A, classe 1 (erreur 1%), 5 VA minimum. Il doit être connecté à l'une des phases du jeu de barre de MDB.

10.10 La résonance dans l'installation :

Lorsqu'un circuit contient une inductance et un condensateur, l'impédance devient très grande ou très petite conduisant à une variation de courant ou de tension de la résonance à une fréquence donnée. La mise de self anti-harmonique en série avec les batteries de condensateurs fait élever l'impédance de l'ensemble (self et condensateur) pour les harmoniques de rang élevé évitant ainsi le phénomène de résonance.

Chapitre 11. Les harmoniques [20]:

11.1 Introduction :

La propagation des harmoniques de courant est devenue un problème commun pour la plupart des installations électriques en utilisant de façon excessive des équipements contenant des composants d'électronique de puissance. De ce fait, le filtrage des harmoniques est indispensable pour obtenir des ondes sinusoïdales de tension et de courant.

Ce chapitre comporte la définition des charges non linéaires dans l'installation, on proposera les solutions convenables à chaque cas.

11.2 Les charges non linéaires :

Les charges non linéaires sont les sources de courants harmoniques, on a :

1. Les redresseurs des équipements électroniques sont les plus répandus dans l'installation (PC, DVD, portable, chargeur de téléphone, ballast électronique des tubes fluorescents...). Ces redresseurs qui sont monophasés comportent un filtre capacitif, un pont diode avec une inductance de lissage de courant continu. Ce montage crée des courants avec THDi entre 100 et 180% du fondamental et de spectre des harmoniques de courant de rang 3,5,7,11 et 13 ;
2. Les redresseurs à thyristors : Les variateurs de vitesse des ascenseurs et des refroidisseurs génèrent des harmoniques de courant de rang 5 et 7 ;
3. L'ASI : il comporte un onduleur qui est constitué de thyristors. L'ASI utilisé est de petite dimension (25kVA) et qui dans la plupart de temps contient un filtre qui est suffisant. De plus, sa petite capacité ne contribue pas à la distorsion de courant et de tension de l'installation.

11.3 Les effets des harmoniques :

Les effets des harmoniques sont divers et sont présentés dans la figure 49. Ces effets affectent la fonction des équipements électriques de protection et de contrôle.

Matériels	Effets	Limites
Condensateurs de puissance	Echauffement, vieillissement prématuré (claquage), résonance.	$I < 1,3 I_n$ (THD < 83 %), ou $U < 1,1 U_n$ pour 12 h / j en MT ou 8 h / j en BT
Moteurs	Pertes et échauffements supplémentaires. Réduction des possibilités d'utilisation à pleine charge. Couple pulsatoire (vibrations, fatigue mécanique) Nuisances sonores.	$FVH \leq 2 \%$ pour les moteurs asynchrones habituels
Transformateurs	Pertes (ohmique-fer) et échauffements supplémentaires. Vibrations mécaniques. Nuisances sonores.	
Disjoncteurs	Déclenchements intempestifs (dépassements des valeurs crêtes de la tension...).	$U_h / U_1 \leq 6$ à 12 %
Câbles	Pertes diélectriques et ohmiques supplémentaires (particulièrement dans le neutre en cas de présence d'harmoniques 3).	THD $\leq 10 \%$ $U_h / U_1 \leq 7 \%$
Ordinateurs	Troubles fonctionnels.	$U_h / U_1 \leq 5 \%$
Electronique de puissance	Troubles liés à la forme d'onde (commutation, synchronisation).	

$$FVH = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} U_h^2 / h}$$
 (Facteur de Variation Harmonique selon CEI 892)

Figure 49: Les effets des harmoniques et les limites [21]

11.4 Le surdimensionnement du câble de neutre :

Les courants de rang 3 s'additionnent et se propagent dans le câble neutre lié à la charge non linéaire jusqu'à la source de tension. Donc il faut surdimensionner ce câble selon l'amplitude de courant de rang 3 par rapport au fondamental (CEI 60364). Pour le cas du neutre réduit par rapport à celui de la phase, cette action n'est pas recommandée pour les circuits monophasés ou pour les circuits triphasés avec déséquilibre de courant entre les phases ou même si l'amplitude du courant d'ordre 3 est plus grand de 15% du fondamental (surtout pour les circuits des lampes fluorescents à ballast électronique). L'équation (Eq. 25) définit la valeur du facteur de réduction, si le facteur excède 33%, la section sera multipliée par 1.45 avec $I_N = \sqrt{3}I_{ph}$. Cette relation évite la surdimensionnement du câble lorsque le THDi excède 33% et par suite la valeur maximal du facteur sera limité à $\sqrt{3}=1.73$. Donc pour les charges qui génèrent de courant de rang 3 comme les circuits de tube fluorescents à ballast électronique, il faut ou bien surdimensionner le neutre ou bien limiter le nombre de lampes par circuit.

$$\frac{1}{K_n} = \frac{3 \times \text{THD}_i}{\sqrt{1 + \text{THD}_i^2}} \text{ (Eq. 24);}$$

11.5 Les solutions pour atténuer les harmoniques :

1. Séparer les sources des charges linéaires de celles non linéaires mais c'est une solution coûteuse par l'installation de 2 transformateurs puis il est difficile de les séparer puisque les charges non linéaires sont dispersées dans toute l'installation ;
2. Mettre les charges les plus polluants près de la source pour se bénéficier de la puissance de court-circuit la plus élevée où l'impédance est faible (les refroidisseurs, les ascenseurs et l'ASI sont alimentés par le tableau principal MDB) ;
3. Filtrage des harmoniques (voir paragraphe suivant) ;
4. Voir paragraphe 3.5 p. 28 ;
5. Mettre en série avec les condensateurs une inductance anti-harmonique dont la fréquence de résonance de l'ensemble doit être au-dessous des valeurs des harmoniques protégeant ainsi les condensateurs contre les résonances et évitent aussi la distorsion de tension.

11.6 Le filtrage des harmoniques :

Le filtrage des harmoniques est la solution fiable qui est adoptée dans les installations pour les atténuer. Mais avant de déterminer le type du filtre et son dimensionnement il faut localiser le raccordement du filtre à installer.

Le filtrage des harmoniques a ses avantages :

1. Soulager le transformateur et augmenter sa capacité à délivrer la puissance ;
2. Réduire les pertes joules donc une économie d'énergie active et évite le surdimensionnement des équipements de contrôle et de protection et la section des câbles ;
3. Le respect des limites définies par les normes CEI sur la distribution de courant et de tension ($\text{THD}_i < 10\%$ et $\text{THD}_v < 5\%$) ;
4. La protection des charges linéaires et du reste de l'installation (les condensateurs, les câbles et les alternateurs).
- 5.

11.7 Le type de raccordement :

Il y a 2 facteurs influent sur le choix de raccordement :

1. Pénalité sur la pollution des harmoniques : Il n'y a pas de règles du côté EDL définissant le limite permis sur la propagation des harmoniques de courant vers le réseau. Alors, on n'est pas obligé de mettre un filtre à la tête de l'installation surtout qu'en aval du niveau du filtre les harmoniques ne sont pas éliminés ;
2. la dispersion des harmoniques : Une grande partie des harmoniques est dispersée dans l'installation. Si les charges non linéaires sont alimentées par un même tableau, on peut alors installer en parallèle un filtre pour ce groupe de charge. Mais ils sont distribués sur tous les étages notamment les 7 étages typiques des chambres à louer et mettre un filtre par étage est une solution coûteuse.

Pour se remédier à ce problème, on peut installer des filtres pour les grandes charges non linéaires comme les variateurs de vitesse des 2 refroidisseurs. Pour les charges de petites capacités comme les tubes fluorescents, on peut utiliser des ballasts électroniques produisant une distorsion THDI de faible valeur (ballast de Philips peuvent atteindre jusqu'à 10%).

11.8 Cas de variateur de vitesse :

Il existe 4 méthodes pour ce type de charge :

1. inductance à l'entrée du redresseur ;
2. filtre anti-harmonique accordé à une fréquence particulière ;
3. filtre actif ;
4. filtre hybride.

11.8.1 Inductance à l'entrée du redresseur :

L'impédance en série avec l'impédance de l'installation permet de réduire les courants harmoniques absorbés par les variateurs de vitesse. Mais sa présence détériore le facteur de déplacement entre le courant et la tension au niveau de la charge et engendre une chute de tension qui réduit la tension sur le bus continu. Donc la valeur de cette inductance est limitée.

11.8.2 Filtre passif anti-harmonique :

C'est un filtre qui comprend en série une capacité et une inductance et leur valeur est déterminée par la fréquence sur l'harmonique à atténuer (fréquence de résonance série). De plus, on peut mettre plusieurs filtres en parallèle pour différentes valeurs de fréquence afin d'éliminer plusieurs rangs d'harmonique (rang 5 et 7 pour le variateur de vitesse). Mais ce type de filtre risque d'avoir une résonance avec les autres inductances de l'installation et du réseau, ce qui augmente le niveau d'harmoniques à d'autres fréquences surtout si l'installation est modifiée (installation de nouveaux équipements électriques). Donc une étude détaillée doit être faite pour les paramètres des impédances de l'installation avant de mettre ce filtre surtout en présence des batteries de capacité pour la correction du facteur de puissance. La combinaison de condensateur et inductance est faite pour obtenir une résonance série et l'impédance équivalente sera $Z_h = \frac{1 - L_{sx}C_{sx}\omega^2}{jC_{sx}\omega}$ (Eq. 25). La résonance apparaît lorsque le numérateur tend vers 0 et par suite la fréquence de résonance est $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{sx}C_s}}$. Après la mesure au niveau de la charge on obtient un spectre d'harmonique de courant et leur amplitude. De ce fait, on peut choisir les caractéristiques du filtre pour atténuer les harmoniques désirés.

11.8.3 Filtre actif :

Il est à base d'électronique de puissance, il injecte un courant en opposition de phase avec les courants harmoniques. Lorsque la bande passante du filtre est suffisante, le dispositif peut injecter à tout instant les courants harmoniques avec une même amplitude que celle de la charge qui devient alors linéaire. Il est utilisé pour couvrir un spectre d'harmonique plus large. Ce filtre malgré ses avantages, il est jusqu'à maintenant très chère et consomme beaucoup d'énergie.

11.8.4 Filtre hybride :

Ce filtre est une solution alternative pourvue que le filtre actif est chère. Il comprend le filtre passif qui élimine les harmoniques de courant de rang faible (3 jusqu'à 11) et le filtre actif pour des rangs plus élevés.

Par conclusion, le filtre passif est plus recommandé au niveau des charges pour sa simplicité d'installation, de coût et d'étude.

11.8.5 Redresseur à thyristor de 12 impulsions (Figure 50):

Ce redresseur est formé de 2 redresseurs de 6 impulsions en parallèle et qui sont alimentés par un transformateur à 2 enroulements secondaires. Ce montage offre l'apparition des harmoniques en opposition de phase pouvant être atténuées et les harmoniques de courant traversées par le primaire du transformateur vers l'installation sont de rang 11 et plus. Mais l'installation du transformateur est une solution coûteuse, il est alors plus recommandé pour les moteurs de grandes puissances.

11.8.6 La solution convenable :

On remarque que d'après les résultats de distorsion de courant de différents rangs, la solution d'inductance est un compromis entre le coût d'installation et l'atténuation de THD.

6-pulse rectifier without inductor						
Manufacturing cost 100 percent						
Typical harmonic current components.						
Fundamental	5 th	7 th	11 th	13 th	17 th	19 th
100%	63%	54%	10%	6,1%	6,7%	4,8%
6-pulse rectifier with inductor						
Manufacturing cost 120%. AC or DC choke added						
Typical harmonic current components.						
Fundamental	5 th	7 th	11 th	13 th	17 th	19 th
100%	30%	12%	8,9%	5,6%	4,4%	4,1%
12-pulse rectifier with polycon transformer						
Manufacturing cost 200%						
Typical harmonic current components.						
Fundamental	5 th	7 th	11 th	13 th	17 th	19 th
100%	11%	5,8%	6,2%	4,7%	1,7%	1,4%
12-pulse with double wound transformer						
Manufacturing cost 210%						
Typical harmonic current components.						
Fundamental	5 th	7 th	11 th	13 th	17 th	19 th
100%	3,6%	2,6%	7,5%	5,2%	1,2%	1,3%
24-pulse rectifier with 2 3-winding transformers						
Manufacturing cost 250%						
Typical harmonic current components.						
Fundamental	5 th	7 th	11 th	13 th	17 th	19 th
100%	4,0%	2,7%	1,0%	0,7%	1,4%	1,4%

Figure 50 : comparaison entre les différentes solutions d'atténuation des harmoniques de courant d'un variateur [22]

11.9 Les contraintes à l'étude :

1. le dimensionnement du filtre nécessite une étude poussée et précise ;
2. les paramètres du réseau ne sont pas toujours accessibles pour faire le calcul et nécessite une étude cas par cas pour chaque type de charge et son raccordement vis-à-vis de l'installation ;
3. l'amortissement de la résonance peut engendrer des résonances additionnels qui conduisent à la destruction du filtre ;

L'utilisation des logiciels avancés comme ETAP peut faciliter l'étude après le relevé des harmoniques et des paramètres de l'installation et du réseau.

Chapitre 12. L'efficacité énergétique :

12.1 Introduction :

L'efficacité énergétique est devenue un facteur essentiel d'une part pour gérer la tarification côté EDL et diminuer la consommation du carburant côté groupes électrogènes et d'autre part pour un rendement optimal des équipements électromécaniques afin d'avoir le confort pour les clients, diminuer les taux de maintenance et avoir une qualité de puissance acceptable. Les consommateurs essentiels d'énergies sont les moteurs, l'éclairage et la climatisation. Par optimisation de l'énergie de chacun d'eux conduits à une réduction remarquable de coût de tarification côté EDL et les groupes électrogènes. Ces actions vont contribuer à baisser la consommation non nécessaire de l'électricité surtout que le rapport entre la demande et la production de la part de l'EDL est toujours plus grand que 1.

12.2 L'éclairage [23]:

L'éclairage contribue au tiers de la consommation de la puissance donc il est intéressant d'optimiser l'utilisation de l'éclairage mais l'économie de l'énergie ne doit pas affecter ses fonction (la sécurité et la sante des personnes ainsi qu'un moyen pour exploiter le bâtiment). On site les différents équipements qui contribuent à cette efficacité (Figure 51):

1.1 Ballast électronique : Installer des lampes à haute performance et à faible consommation avec des ballasts électroniques au lieu de type magnétique. Par exemple, on peut utiliser des lampes fluorescent de type T8 avec ballast électronique et qui consomme moins que les lampes traditionnels de type T12 avec ballast électromagnétiques une économie de 32 à 40% d'électricité. Mais il faut utiliser les ballasts contenant des filtres passifs contre les distorsions harmoniques pour éviter les effets nocifs (surchauffe des câbles, des machines électriques, surtension, interférence électromagnétique, surdimensionnement du conducteur neutre...);

1.2 Réflecteur à haute performance : si les lampes sont installées avec des réflecteurs de haut performance, la majorité de la lumière est réfléchié alors vers le bas (70% de la lumière des tubes fluorescents sont dirigés latéralement et vers le haut) et par suite on aura besoin moins de lampes à distribuer pour les larges zones comme pour le parking et les couloirs ;

1.3 Contrôle de l'éclairage : il existe plusieurs dispositifs de contrôle des circuits des lampes pour optimiser leur utilisation. On site :

- 1.3.1 La minuterie : il éteint le circuit d'éclairage au bout d'un temps réglé. Il peut être utilisé pour couper une zone de parking lorsqu'il n'est pas occupé ;
- 1.3.2 Capteur d'occupation et détecteur de mouvement : il est utilisé pour éteindre les circuits des lampes lorsque la zone détectée est vide (escaliers, salle des pompes et des générateur) ;
- 1.3.3 Cellule photoélectrique : les circuits d'éclairage extérieurs sont éteints lorsque le flux lumineux est au-dessous de la valeur consigne de la cellule photoélectrique (le matin) ;
- 1.3.4 Horloge programmable : ce dispositif peut faire la même fonction de la cellule photoélectrique en réglant la consigne de déclenchement au matin ;
- 1.3.5 Régulateur de tension : il peut être installé dans les chambres à louer pour diminuer le flux lumineux selon le besoin ;
- 1.3.6 Contacteur : chaque tableau servant une chambre à louer contient un contacteur qui est enclenché par la carte d'accès évitant ainsi le gaspillage d'énergie lorsque la chambre n'est pas occupée ;



Figure 51 : Les dispositifs de contrôle d'éclairage

12.3 Les moteurs:

- 1.1 Dimensionnement des moteurs : utiliser des moteurs de haut rendement surtout pour les charges excédant 3000h/ans [26] pour raison financier (coûteux pour des charges de courte durée d'utilisation). Eviter le surdimensionnement des moteurs puisqu'ils absorbent plus de courant et sont

plus chers (le fonctionnement est optimal entre 60 et 100% de son charge nominal). Les moteurs de grandes puissances comme celles des refroidisseurs ont des facteurs de puissance inférieurs et par suite une correction est recommandée.

1.2 Automatiser le contrôle des moteurs en les arrêtant quand ils ne sont pas exigés par l'utilisation des capteurs et des consignes. Un défaut d'alignement des arbres des moteurs peuvent causer une perte d'énergie jusqu'à 8% de la puissance pour un décalage angulaire de 0.6mm au niveau d'un accouplement donc un réalignement est nécessaire en phase d'installation ou de maintenance préventive.

1.3 Variation de vitesse : cette méthode réduit le courant d'appel pendant les périodes de demande réduite. Par exemple pour les pompes et les ventilateurs, leur flux est proportionnel à la vitesse de l'arbre. Donc réduire à moitié la vitesse réduit le flux de moitié pour les ventilateurs par les lois d'affinité. De même pour les pompes où la pression ou la hauteur sont proportionnels au carré de la vitesse de l'arbre donc une réduction de moitié la vitesse réduit la pression au quart. Par conclusion, l'énergie est proportionnelle au cube de la vitesse de l'arbre, réduire le flux de moitié et permet la réduction de la consommation dans un rapport de 1/8. Mais la solution d'un variateur de vitesse n'est efficace que si l'exigence de variation de vitesse est fréquente.

12.4 La climatisation [24]:

Le système de climatisation (Figure 52) comporte le refroidisseur, le groupe de pompes de circulation d'eau froide et les unités de refroidissements (FCU fan coil unit). Les pompes sont contrôlées par un seul variateur de vitesse pour varier la pression de l'eau froide selon la demande. La demande de climatisation est déterminée dans chaque zone par un thermostat et une électrovanne dans chaque zone ou chambre. Le retour d'eau des FCU est absorbé par les pompes vers l'évaporateur qui abaisse la température de l'eau jusqu'à 5°C puis alimente les chambres. La différence de pression entre l'entrée et la sortie du refroidisseur est mesurée, cette valeur est la consigne du variateur de vitesse qui contrôlera alors les pompes pour conserver la pression de l'eau de refroidissement élevée. Alors les pompes fonctionnent à différentes vitesses qui conduisent à une diminution de

l'énergie électrique et frigorifique consommée. Le retour d'investissement est estimé de 2 à 3 ans par l'économie de l'énergie [24]. Le variateur de vitesse offre ainsi un contrôle rapide de la demande de climatisation en chaque moment, évite le coup de bélier sur les pompes et le choc mécanique sur les conduits d'eau.

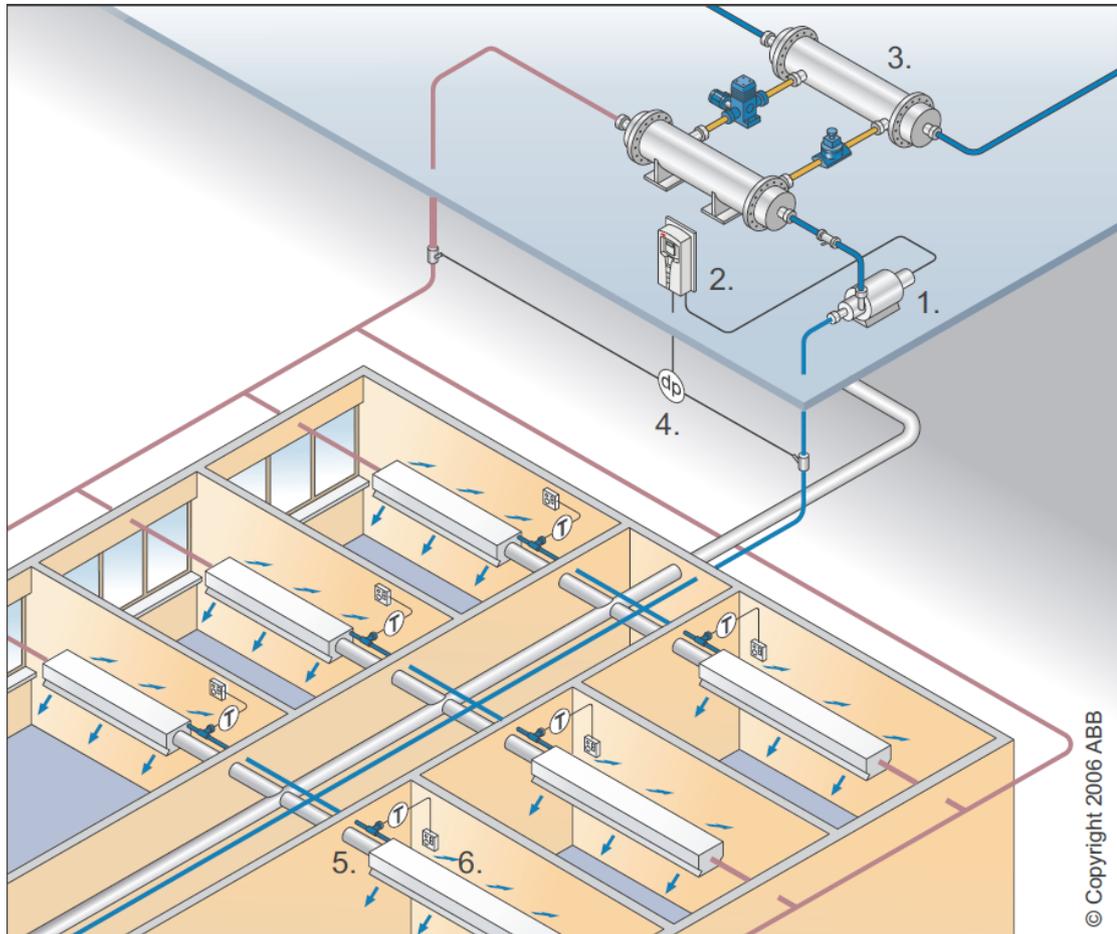


Figure 52 : Système de climatisation à débit d'eau variable

12.5 La correction de facteur de puissance :

Il y a diminution des pertes de lignes par diminution de courant consommé dans les câbles et par suite une réduction de la facture d'électricité;

12.6 La synchronisation des générateurs :

Les modules de synchronisation optimisent la mise en marche des générateurs de différentes capacités pour l'économie de combustion lorsque la puissance demandée varie et diminue le taux de maintenance des générateurs et moins de pollution en diminuant le CO₂ émis.

12.7 Déséquilibre de courant sur les 3 phases:

D'après la comparaison les bilans de puissance des divers tableaux électriques, la différence de courant entre les phases n'excède pas 10% (valeur recommandée à ne pas dépasser) ce qui est acceptable pour éviter la surchauffe des câbles. J'ai essayé à distribuer de façon optimal pour éviter le déséquilibre qui peut engendrer un déséquilibre de tension et affecte ainsi le fonctionnement des machines électriques (moteurs, transformateur, générateur).

Chapitre 13. La protection contre les chocs électriques :

13.1 Introduction :

La protection contre les chocs électriques est une fonction essentielle pour la sécurité des personnes non qualifiés, des employés et des équipes de maintenance. Elle évite toutefois les incendies dans le bâtiment et l'emballlement des équipements électromécaniques et électroniques sensibles au courant de fuite suite au défaut d'isolement.

Cette protection prend plusieurs formes, il y a la protection :

1. Contre les contacts directs : elle est présentée par la forme de séparation en isolant le conducteurs comme les jeux de barre des autres parties du tableau (disjoncteur principal, unités fonctionnels, jonctions et câbles) avec indice de protection minimal IP2X ou IPXXB ;
2. Contre les contacts indirects : elle est assurée par l'installation des DDR intégrées au régime du neutre ;
3. La mise à la terre des tableaux électriques, des équipements mécaniques et des structures métalliques du bâtiment ainsi que les liaisons équipotentielles.

Ces 3 protections seront traitées dans les paragraphes suivants mais on doit premièrement définir le régime du neutre adopté dans l'installation, la mise à la terre et enfin les dispositifs différentiels résiduels (DDR).

13.2 Le régime du neutre :

Premièrement, le régime du neutre adopté est TT dont je représenterai dans la suite ses caractéristiques et ses avantages. Dès qu'un défaut d'isolement apparaît, il se caractérise par un court-circuit phase-terre qui doit être interrompu, il y a coupure au 1^{er} défaut.

Les avantages du régime TT:

1. Le courant de défaut de petite valeur, permet d'une part de diminuer la section du conducteur de protection et d'autre part d'éviter les conséquences de courant de défaut élevée sur les câbles et les appareils de protection ainsi que les effets électrodynamiques et les perturbations électromagnétiques des appareils électroniques ;
2. Etude, installation et extension plus simples ;

3. Pas de nécessité d'avoir une équipe professionnelle pour la maintenance surtout que les hôtels de petites et moyennes tailles au Liban ne sont pas dotés de ces équipes ;
4. Protection des personnes assurée par le déclenchement du DDR ;
5. Protection contre les incendies par la présence de DDR de sensibilité moyenne ($I\Delta n \leq 500\text{mA}$) ;
6. La continuité de service est assurée par la sélectivité verticale ;
7. Pas de nécessité de vérification les longueurs des câbles surtout pour les derniers étages ;
8. en présence des DDR qui exige d'avoir des valeurs de résistance de l'installation de mise de terre élevée, l'installation de cette dernière sera plus facile.

Pour ces raisons j'adopterai le système TT pour l'installation.

13.3 La mise à la terre :

La mise à la terre est une méthode de protection des personnes et des biens. Elle protège tout d'abord les personnes contre l'électrocution par l'utilisation des DDR et la mise à la terre des masses, la protection contre les incendies ainsi que le drainage des charges de foudre par la liaison directe à la terre et par les parafoudres.

Puis les liaisons équipotentielles de tous les équipements métalliques exposés évite l'élévation dangereux de potentiel, et enfin selon le régime de neutre utilisé, la mise à la terre évite les interférences électromagnétiques avec les équipements électroniques.

13.4 L'installation:

13.3.1 Les prises de terre :

Puisque le bâtiment est existant, il sera plus facile d'utiliser le mode des piquets comme prises de terre. Le nombre de piquet à installer est déterminé par la formule $n = \frac{\rho}{RL}$ (Eq. 26). La terre est modélisée par plusieurs résistances en série reliant différents natures de terrains. Cette résistance diminue en s'éloignant du point de l'écoulement du courant de défaut de la prise, au-delà, la valeur sera nulle. Il existe autour de chaque prise une zone d'influence. Pour cela, il faut avoir une distance de 2 à 3 fois celle de la profondeur du piquet. Le terrain est de nature proche de sable

argileux qui a pour résistance entre 50 et 500mΩ. Mais puisqu'il y a un puit d'eau sous le bâtiment et le sol est humide, cette résistance sera prise de valeur moyenne de 250mΩ et les piquets seront enfoncés de 3m pour avoir un contact avec le sol humide surtout que cette résistance varie entre l'été sec et l'hiver humide. Les piquets seront entourés de bentonites pour abaisser la valeur de résistance de prise. Le nombre exact de prise sera définie lorsque les prises de terre seront mesurées. Les accessoires seront choisis de types compatibles entre eux pour éviter la corrosion par électrolyse qui peut dégrader la résistance des conducteurs dont les recommandations d'installation sont issues de la norme CEI-62305-3. La connexion entre la liaison équipotentielle générale et les armures des fondations seront faites par des conducteurs par soudage exothermique pour abaisser plus la valeur de résistance.

On définit :

L : longueur du piquet (m) ;

ρ : résistivité du sol (Ωm) ;

n : nombre de piquet ;

R : résistance d'une prise de terre ;

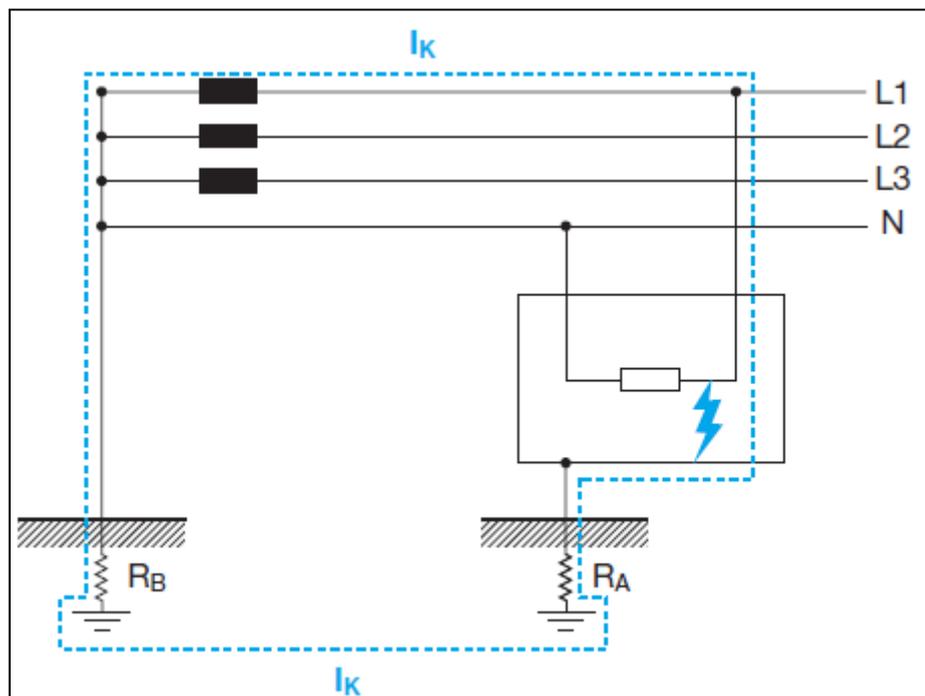


Figure 53 : Boucle de défaut de fuite de courant dans l'installation

13.3.2 Les liaisons équipotentielle :

Les prises de terre du neutre et de l'installation sont confondues en un point et liées à la terre par la résistance (R_{AB}) (Figure 53). En cas de gradient de potentiel sur cette prise l'ensemble de l'installation et les masses verront leur potentiel s'élever par rapport à la terre. Les liaisons équipotentielles du bâtiment, des systèmes entrant (télécommunication, signal de télévision...) sont donc nécessaires. Les sections de ces liaisons sont définies selon l'équipement utilisé (chemin de câble, équipement industriel comme chaudière, refroidisseurs) ou selon le courant nominal des appareils électriques qui est défini par la norme CEI 60439-1.

Minimum cross-section of equipotential link conductors (IEC EN 60439-1)	
Rated operating current(A)	Minimum cross-section of equipotential bonding conductor (mm ²)
$I_e < 25$	2.5
$25 < I_e \leq 32$	4
$32 < I_e \leq 63$	6
$63 < I_e \leq 80$	10
$80 < I_e \leq 160$	16
$160 < I_e \leq 200$	25
$200 < I_e \leq 250$	35

Figure 54 : Section de liaison équipotentielle selon le courant nominal de l'appareil électrique suivant la norme CEI 60439-1

13.3.3 Le réseau de mise à la terre :

Le réseau est constitué de plusieurs connexions entre les divers équipements électriques, mécaniques et structures métalliques. On les résume par les différentes parties dont chaque numéro correspond à la connexion de la figure 55:

1. Prise de terre : c'est le conducteur en contact avec le sol de potentiel considéré zéro ;
2. Conducteur de terre qui est isolé pour assurer sa protection contre les contraintes mécaniques et chimiques ;
3. Dispositif de sectionnement pour faire la mesure périodique ;

4. Borne principale de la terre ;
5. La liaison équipotentielle générale : c'est le jeu de barre liant tous les conducteurs de protection (PE) et les liaisons équipotentielles de l'installation ;
6. Conducteur de liaison équipotentielle principale générale liant les structures métalliques du bâtiment, les canalisations, les charpentes et qui sont de section entre 6 et 25mm² du cuivre ;
7. Conducteur de liaison équipotentielle principale relie les pièces métalliques à proximité du tableau principal (MDB) au Jeu de barre du tableau. La section est entre 6 et 25mm² du cuivre ;
8. Conducteur principale de protection ;
9. Jeu de barre du tableau MDB : c'est la borne principale ou collecteur des conducteurs de protection ;
10. Conducteur de protection des tableaux secondaires de dimension $S_{PE}=S_{PH}/2$;
11. Liaison équipotentielle supplémentaire pour assurer la continuité des circuits de protection ;
12. Liaison équipotentielle locale pour les circuits de grande longueur (équipements au toit), elle est nécessaire en régime TN ;
13. Conducteur de protection du transformateur HT/BT ;
14. mise à la terre du parafoudre pour écouler les courants de décharge de faut de la surtension de manœuvre ou de coupe de foudre ;
15. Conducteur de terre sans fonctionnement de sécurité pour les charges électroniques (variateur de vitesse, les systèmes basse courant comme les systèmes informatiques, d'alarme d'incendie, de téléphone, de surveillance, etc.) ;

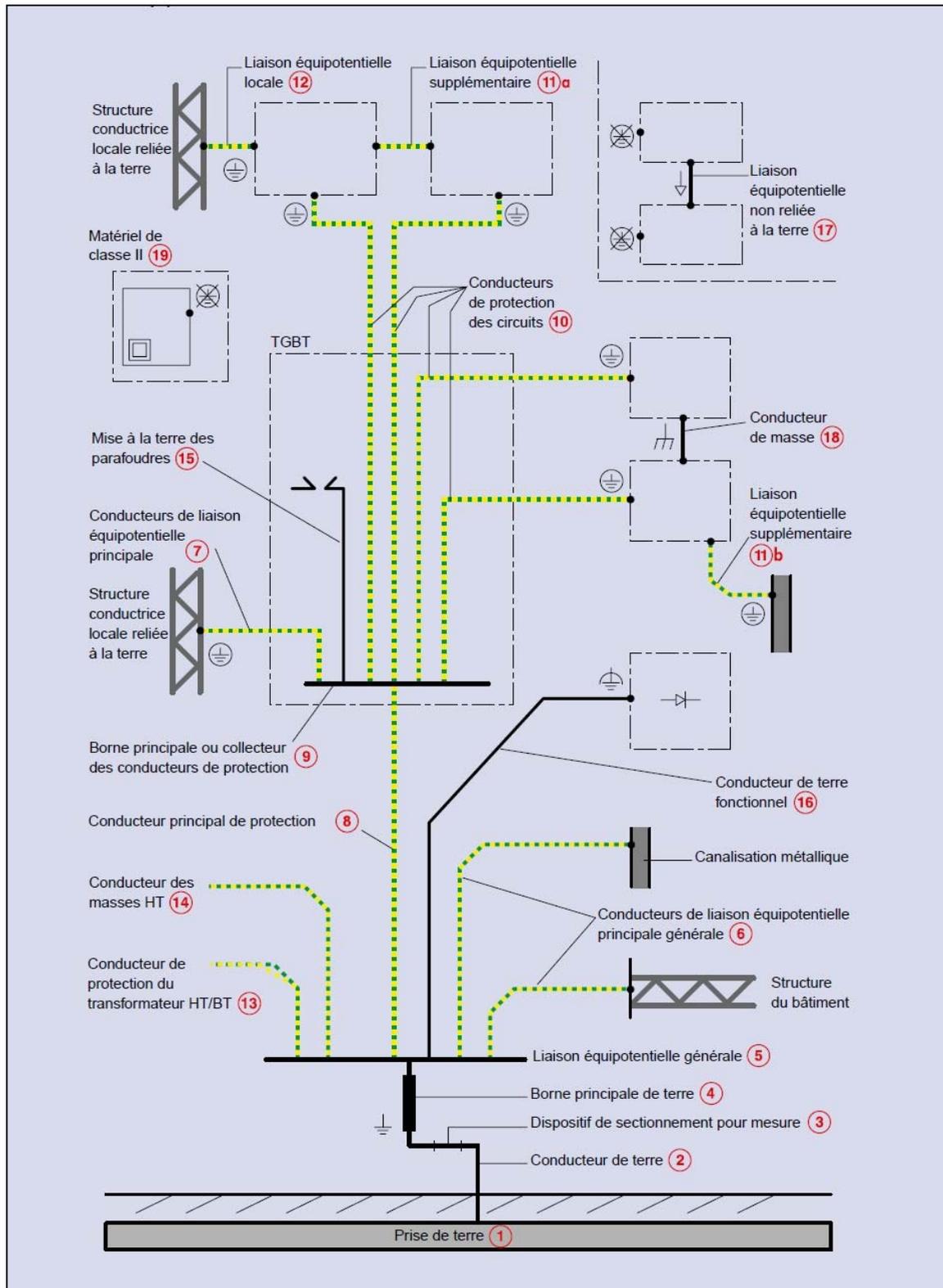


Figure 55: Schéma de connexion de l'installation de mise à la terre[25]

13.5 Défaut à la terre :

Dans le cas d'un défaut à la terre, un courant de forte intensité s'écoule dans la boucle de défaut et cela entraîne la détérioration des générateurs et transformateurs. Pour réduire le courant de défaut, le point étoile doit être relié à la masse via une résistance ainsi pour éviter la circulation de courant homopolaire entre les groupes électrogènes. Si un défaut à la terre se produit sur une phase, la tension de la phase en défaut à l'égard de la terre apparaît à la résistance. Par conséquent, la tension des deux autres phases saines à l'égard de la terre augmente de 1,7 fois. Si l'isolement de ces phases n'est pas conçu pour ces tensions accrues, ils peuvent développer un défaut à la terre. Pour obtenir la compatibilité électromagnétique, il sera recommandé de ne pas séparer les réseaux de mise à la terre. La séparation est valable pour les systèmes à basses fréquences ainsi pour celles de hautes fréquences. Il peut avoir en cas de coupe de foudre un couplage faisant circuler un courant induisant des tensions transitoires élevées. Pour assurer l'équipotentialité, les liaisons doivent être entre les divers systèmes sur même étage au même jeu de barre diminuant la différence de potentiel entre les réseaux de prise de terre et assurant une symétrie pour la circulation du courant diminuant ainsi l'impédance globale entre les différents étages.

13.6 PE conductrice de protection :

C'est le conducteur qui assure la protection des personnes contre les chocs électriques en permettant la continuité du boucle de défaut et les liaisons équipotentielles entre les parties métalliques accessibles à l'utilisation. De même, il assure la protection par le drainage de courant de décharge des parafoudres et enfin ils évitent la perturbation électromagnétique pouvant induire des surtensions par la mise des écrans des câbles au conducteur PE. Les conducteurs de protection distincts, qui ne font pas partie d'un câble, doivent être fixés sur le même support ou installés dans le même conduit que les conducteurs du circuit de puissance et dont leurs sections suivent la relation de la figure 56 :

pour $S_{phase} \leq 16 \text{ mm}^2$,	$S_{PE} = S_{phase}$
pour $16 \text{ mm}^2 < S_{phase} \leq 35 \text{ mm}^2$,	$S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$
pour $S_{phase} > 35 \text{ mm}^2$,	$S_{PE} = \frac{S_{phase}}{2}$

Figure 56: Section du PE selon sa section

13.7 Le dispositif différentiel résiduel :

13.6.1 La nécessité des DDR :

En cas de défaut d'isolement, le courant de défaut est très faible pour que le disjoncteur réagisse et une tension de contact dangereuse apparait sur la masse de l'équipement en défaut. Alors, un dispositif plus sensible doit être utilisé c'est le dispositif différentiel résiduel (DDR), il protégé donc contre les contacts indirects et contre les incendies.

D'après CEI 60364-4, pour le bon fonctionnement du DDR il faut avoir la résistance de prise de terre de valeur convenable afin d'assurer son déclenchement dans le temps maximal définit par la figure 57 qui est de temps $t=0.2s$ selon la tension de l'installation ($U_0=220V$). Le DDR assure la protection contre les contacts indirects et directs, protégeant ainsi les personnes et évite les incendies dues à défaut d'isolement. L'utilisation du DDR en régime TT est essentielle pour les défauts à la terre car la résistance de la boucle est élevée et par suite la valeur du courant de défaut est faible et les disjoncteurs ne déclenchent pas. Cette boucle est constituée de l'enroulement secondaire du transformateur correspond à la phase en défaut, les conducteurs de phase et le PE, la résistance de prise de terre et du neutre (R_A et R_b). La norme CEI 60364-4-41 définit 30mA le seuil de déclenchement des DDR pour les circuits allant jusqu'à 20A. On note $I_{\Delta n} \leq \frac{50V}{R_A}$ avec R_A résistance de prise de terre et 50V est la valeur de tension de contact maximale que le corps humain peut supporter pour les milieux secs. Pour les milieux humides comme la salle de bains et les zones externes de l'hôtel cette valeur est de 25V. La norme CEI 60364-4-42 oblige l'installation d'un DDR de moyenne sensibilité ($I_{\Delta n} = 500mA$) pour les circuits qui présentent des

risque d'incendies. Il sera appliqué pour les circuits d'éclairage et l'alimentation des services dans la salle des générateurs et du réservoir de fuel.

U_0 [V]	T [s]
$50 < U_0 \leq 120$	0.3
$120 < U_0 \leq 230$	0.2
$230 < U_0 \leq 400$	0.07
$U_0 > 400$	0.04

Figure 57 : Temps maximal de coupure maximal du DDR selon la tension de l'installation

13.6.2 Déclenchements intempestifs: causes et solutions

Il y a plusieurs causes de déclenchements intempestifs du DDR (Figure 60):

1. Présence de courants harmoniques dans le circuit traversant le DDR comme l'exemple du DDR alimentant le variateur de vitesse (les ascenseurs, les refroidisseurs et l'ASI). Pour ces types de charges, il sera recommandé d'utiliser le DDR de type B ;
2. Les surtensions d'origine atmosphérique ou de surtension dans l'installation. Les DDR seront qui sont dans les tableaux divisionnaire doivent être installés en aval de parafoudre (Figure 58);

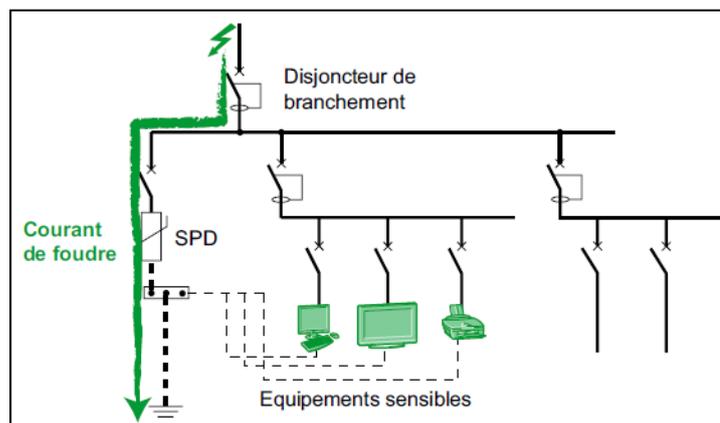


Figure 58 : raccordement du parafoudre en présence du DDR

3. Présence de courant de fuite permanent pour les équipements électroniques surtout les ordinateurs, leur moniteurs et les imprimantes. Chaque ordinateur (PC) injecte un courant $I_d=4\text{mA}$ et si on met 4 PC sur un DDR de sensibilité 30mA, ce dernier déclenchera puisqu'il fonctionne à partir de $I_{\Delta n}=30/2=15\text{mA}$

et $4 \times I_d = 4 \times 4 = 16 \text{ mA}$. Ce cas est présent pour le tableau alimentant l'administration avec plus de 10 PC. Il y a 2 solutions, ou bien partager les charges n'excédant 15mA (recommandé par CEI 62350) ou utiliser un DDR de type B ;

4. La commutation d'un grand nombre de lampes fluorescents avec des ballasts électroniques (zone de garage, les couloirs et les grandes salles) où le démarrage des moteurs provoquent des courants impulsionnels. Il faut alors ou bien diminuer le nombre de lampes par circuit dont le nombre recommandé est défini dans les catalogues des DDR ou bien utiliser le DDR de type F ou B qui est insensible au courant impulsionnel et au courant harmonique (figure 61) ;

Type DDR	$I_{\Delta n}$	Résistance maximale de la prise de terre (Ω)
Basse sensibilité (BS)	30 A	1,6
	3 A	16
Moyenne sensibilité (MS)	1 A	50
	500 mA	100
	300 mA	167
	100 mA	500
Haute sensibilité (HS)	30 mA	≥ 1667

Figure 59 : Résistance maximale de la prise de terre selon la sensibilité du DDR

Standards IEC	Application	Required I Δ n [mA]	Recommended RCD	
			A/AC type	B type
60364-4-41	protection against electric shock	30...500	■	■
	socket outlets up to 20 A, outdoor installations	10...30	■	
60364-4-482	fire protection against special risks or hazards	30 and 300	■	■
60364-5-551	low-voltage power generating installations	10...30	■	
60364-7-701	rooms with bathtubs or showers, outlets in zone 3	10...30	■	
60364-7-702	swimming pools and other pools	10...30	■	
60364-7-703	rooms with cabins with sauna heating	10...30	■	
60364-7-704	construction sites, socket outlet circuits up to 32 A and for hand-held equipment, plug-and-socket devices up to I Δ n >32 A	≤ 300	■	■
		≤ 500	■	■
60364-7-705	agricultural and general horticultural premises, socket outlet circuits	≤ 300	■	
		10...30	■	
60364-7-706	conductive areas with limited freedom of movement	10...30	■	
60364-7-708	electrical equipment on camping sites, each socket outlet individually	10...30	■	
60364-7-712	solar PV power supply systems (without a simple means of disconnection)	≤ 300		■

Figure 60 : sensibilité du DDR recommandée selon les normes CEI

Type of RCD	Types of wave form detected by RCDs				
	alternating current 50/60Hz	alternating current up to 1000 Hz	pulsating current with DC components	multifrequency current generated by the single-phase inverter	multifrequency current generated by the three-phase inverter
AC	■				
A	■		■		
F	■		■	■	
B	■	■	■	■	■
A S (selective)	■		■		
B S (selective)	■	■	■	■	■

Figure 61 : type de DDR recommandée selon la charge

Chapitre 14. La protection contre les surtensions transitoires :

14.1 Introduction :

La protection contre les foudres est indispensable pour la sécurité des personnes, des équipements et de la structure du bâtiment. Il faut premièrement assurer une zone de protection externe évitant tout contact de la foudre avec le bâtiment. Deuxièmement, il faut la diriger vers la terre et empêcher la propagation de l'onde de surtension dans l'installation. Pour accomplir ces fonctions, on doit installer le système de paratonnerre et les liaisons avec la terre ainsi que le choix des parafoudres dans l'installation électrique.

14.2 La foudre et ses dégâts :

Les conséquences des surtensions transitoires sont multiples :

1. Destruction des équipements électroniques (téléviseurs, chaînes hi-fi, microordinateurs, interfaces de régulation et de commande des équipements électriques, etc.) ;
2. Détérioration des équipements électriques et électroménagers courants ;
3. Perturbation des systèmes informatiques, systèmes d'alarme et de signalisation par couplage inductive et capacitive engendrant des perturbations électromagnétiques surtout pour l'informatique et les installations basse courant ;
4. Vieillesse prématurée de l'installation électrique par la détérioration de la gaine isolante des câbles. Contre ces effets indirects, on assure une bonne protection par la mise en place de parafoudres ;
5. Interruption de service d'alimentation électrique.

14.3 Les causes de surtension :

1. Défaut de la source: transformateur ou générateur ;
2. Rupture du conducteur neutre surtout si le déséquilibre est très grand en courant entre les phases provoquant un déséquilibre de tension ;
3. Effets transitoires : coupe de foudre ou manœuvre des grands contacteurs ou des batteries des condensateurs ;
4. Perturbation électromagnétique.

Les phénomènes transitoires sont essentiellement constitués de surtensions très élevées et rapides dues :

1. à la foudre ;
2. aux manœuvres ou aux défauts sur les réseaux HT ou BT ;
3. aux arcs électriques de l'appareillage ;
4. aux commutations de charges inductives ;
5. à la mise sous tension de circuits fortement capacitifs (réseaux de câbles étendus, machines munies de capacités d'antiparasitage).

14.4 Étude d'une protection contre la foudre :

Les normes NFC17-100 et NFC17-102 seront adoptées pour l'étude dont le but est d'utiliser le paratonnerre à dispositif d'amorçage pour le choix d'esthétique (la cohérence de la norme NFC EN 62305-3 exige certaines procédures, voir l'annexe p. 231). Cette étude comprend l'évaluation du risque de foudroiement :

L'évaluation se fait selon la méthode suivante :

Fréquence attendue N_d de coups de foudre directs sur le bâtiment ;

La fréquence annuelle moyenne N_d de coupes directes sur le bâtiment est évaluée à partir de l'expression (Figure 62):

$$N_d = N_{gmax} \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} / \text{an};$$

$N_{gmax} = 0.9$: densité annuelle moyenne de foudroiement concernant la région où se situe le projet.

L: longueur du bâtiment $C = 40$ m ;

I : largeur du bâtiment $C = 25$ m ;

H : hauteur du bâtiment $C = 25$ m ;

$$A_e = L I + 6H(L+I) + 911 H^2 = 28421 \text{ m}^3 ;$$

$$\text{Donc } N_d = 0.9 \times 28421 \times 0.25 \cdot 10^{-6} = 6,4 \cdot 10^{-3} ;$$

$$N_c = 5.5 \cdot 10^{-3} / (C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5) \text{ (figure 62) ;}$$

$C_1 = 0.25$ puisque le bâtiment est entouré des autres bâtiments mais de même hauteur ;

$C_2 = 1$ représente le type de construction, notre type est classique courante ;

$C_3 = 1$ représente le contenu du bâtiment qui porte une valeur courante et normalement inflammable ;

$C_4 = 1$: représente l'occupation du bâtiment qui est normalement occupé ;

C5=5 : représente les conséquences d'un foudroiement dont le bâtiment nécessite une continuité de service puisque c'est un hôtel donc $N_c=4.4 \times 10^{-3}$;

$$E=1-N_c/N_d=0.82 ;$$

Donc le niveau de protection correspond à $0.8 < E < 0.9$ niveau III pour $E=0.82$

Puisque $N_d > N_c$, il faut installer un système de protection.

Situation relative de la structure		C_1	
Structure située dans un espace où il y a des structures ou des arbres de même hauteur ou plus élevés		0,25	
Structure entourée de plus petites structures		0,5	
Structure isolée : pas d'autres structures à moins d'une distance 3H.		1	
Structure isolée au sommet d'une colline ou sur un promontoire		2	

C_2 , coefficient structurel			
Structure \ Toiture	Métal	Commune	Inflammable
Métal	0,5	1	2
Courante	1	1	2,5
Inflammable	2	2,5	3

C_3 , contenu de la structure	
Sans valeur et ininflammable	0,5
Valeur courante ou normalement inflammable	1
Forte valeur ou particulièrement inflammable	2
Valeur exceptionnelle, irremplaçable ou très inflammable, explosible	3

C_4 , occupation de la structure	
Inoccupée	0,5
Normalement occupée	1
Evacuation difficile ou risque de panique	3

C_5 , conséquences d'un foudroiement	
Pas de nécessité de continuité de service, et aucune conséquence sur l'environnement	1
Nécessité de continuité de service et aucune conséquence sur l'environnement	5
Conséquences pour l'environnement	10

Figure 62 : Les facteurs de dimensionnement C_1 à C_5 selon NF C 17-102 pour la nécessité de paratonnerre

14.5 Le modèle électro géométrique :

Le but de cette étude est de laisser passer la décharge par la pointe de capture et pas par la structure ou les équipements installés au toit, la méthode électro géométrique définit la zone protégée.

Il y a le paratonnerre à dispositif d'amorçage créant un champ électrique à la pointe et favorise la capture de la foudre améliorant ainsi l'efficacité. De plus, le prix d'installation est plus simple et moins coûteux. On adoptera cette méthode pour un bâtiment de moyenne dimension. Ce type de paratonnerre permet de réduire le temps nécessaire à la formation et la propagation continue de la décharge ascendante et assure ainsi une plus grande efficacité pour la capture de la foudre. Il émet un signal de haute tension impulsionnel d'amplitude et de fréquence déterminées et contrôlées. Le niveau de protection est III et qui correspond à la valeur de $D=45\text{m}$ défini dans la figure 63 et détermine par suite le rayon de la sphère de protection ($R = D + \Delta L$). En prenant $h=5\text{m}$ (figure 64) correspond à $R=43\text{m}$ une zone qui est suffisante pour un bâtiment de 40m de longueur.

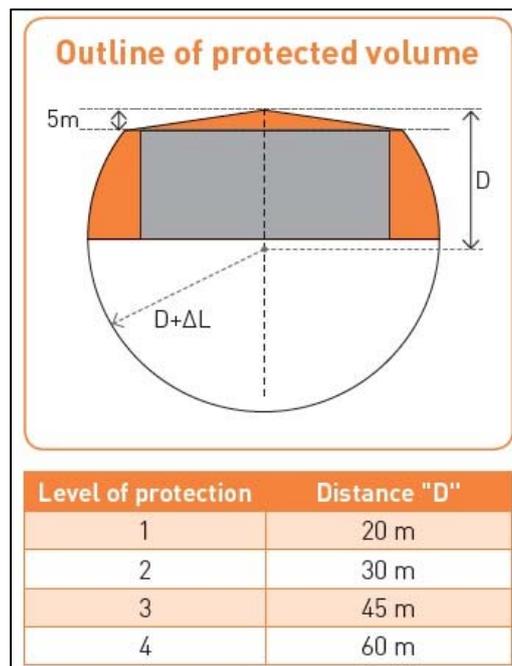


Figure 63 : niveau de protection correspond à la distance D (NFC 17-102 / UNE 21186)

NP →	Level I (D=20 m)				Level II (D=30 m)				Level III (D=45 m)				Level IV (D=60 m)			
↓ h(m)	CPT-L	CPT 1	CPT 2	CPT 3	CPT-L	CPT 1	CPT 2	CPT 3	CPT-L	CPT 1	CPT 2	CPT 3	CPT-L	CPT 1	CPT 2	CPT 3
2	14	17	24	32	15	18	25	35	18	23	30	40	21	26	33	44
3	19	25	35	48	22	29	40	52	27	34	45	59	30	39	50	65
4	25	34	46	64	29	40	55	69	35	46	60	78	40	52	67	87
5	31	42	58	79	36	51	70	86	43	57	75	97	50	65	84	107
6	31	43	58	79	37	52	70	87	44	58	76	97	51	66	84	107
8	32	43	59	79	38	53	71	87	46	59	77	98	53	67	85	108
10	32	44	59	79	39	53	71	88	47	61	77	99	55	69	87	109

Figure 64 : Rayon de protection (en m) du paratonnerre à amorçage

$$R = D + \Delta L$$

Avec les définitions suivantes:

R: rayon de protection de la sphère de protection (en m);

D: distance définie dans la figure 63 et qui dépend du niveau de protection(en m) ;

ΔL : distance dépend du temps d'impulsion Δt (en μs) ;

$\Delta L = \Delta t$: pour valeur de Δt plus petit ou égale à 60 μs ; et $\Delta L = 60$ m pour des valeurs plus grandes que celui de Δt .

h: distance en hauteur (m) entre la pointe de la paratonnerre et la plus haute surface à protéger, on prend 5 m.

14.6 L'installation :

Cette installation protège contre les coups de foudre directs protégeant ainsi une zone de sphère au-dessous de la tige. Il est composé de 4 parties :

1. Le paratonnerre doit être tout d'abord plus haut de 2m au-dessus de tout équipement ou structure (cheminée, conduits, refroidisseur...).
2. Il y a une liaison équipotentielle déconnectable entre chaque prise de terre et le circuit de terre du bâtiment. C'est la liaison de toutes les masses métalliques avec les prises de terre pour assurer le même niveau de potentiel lors du défaut et éviter les amorçages destructifs;
3. La descente (Figure 65): il y a la liaison-raccordement entre le câble issu du paratonnerre et le conducteur de descente en forme de ruban, la fixation du ruban, le joint de contrôle pour vérifier la résistance de la prise de terre ainsi que les conduits de descente qui doivent être protégés mécaniquement avec un hauteur minimal de 2m à partir du sol par un tube ou un moulure et un

compteur de coup de foudre s'il est nécessaire (en cas de nombre de foudroiement élevé. Pour le cas du projet, il n'est pas nécessaire);

4. La prise de terre ;

Il y a 3 types de paratonnerres :

1. le paratonnerre à tige simple : c'est une pointe de capteur métallique en forme de tige placée au sommet du bâtiment dont le nombre dépend du niveau de protection et de la géométrie du bâtiment. Elle sera adoptée pour l'installation par sa simplicité d'installation et économie d'investissement pour un bâtiment de moyenne dimension. Elle n'est pas admise par la norme CEI mais elle y est par la norme française CF 17-102;
2. le paratonnerre à fil tendue : il est monté au-dessus de la structure à protéger dont les applications sont les suivants : aires de lancement de fuses, les installations militaires et les lignes haute tension. Elle est quand même utilisable pour notre cas en présence de plusieurs équipements au toit en protégeant la zone au-dessous du fil tendue;
3. le paratonnerre à cage maillé ou cage de Faraday : c'est l'interconnexion entre les conducteurs en forme symétrique extérieur autour du bâtiment formant la cage de Faraday. Cette installation est applicable pour les bâtiments très exposés et contenant des systèmes sensibles comme des centrales informatiques, elle n'est pas convenable en présence des refroidisseurs, des pompes et d'autres équipements.

Donc le choix compromis entre le coût d'installation et de protection est le parafoudre à tige simple ou même à amorçage qui est plus avancée.

14.7 Les recommandations sur l'installation:

Les conducteurs de descentes sont soumis à des courants intenses. La section minimale sera de 50mm² en cuivre de forme plat et fixé solidement avec un parcours le plus court vers la prise de terre. Pour éviter l'amorçage entre les conducteurs de descente et les équipements il faut tout d'abord avoir 2m de distance de tout équipement électrique ou de pièce métallique. Puis on relie pour chaque étage le conducteur de descente au réseau de masse de chaque étage, et cela pour éviter la différence de potentiel qui apparait entre les masses internes et le conducteur ainsi que l'amorçage peut se produire à travers les murs du bâtiment. Pour diminuer l'effet de

circulation du courant de foudre haute fréquence, on peut multiplier le nombre de conducteur de descente pour diviser le courant et limiter les effets induits. Le courant de foudre est de nature haute fréquence pouvant amplifier la valeur de composant inductive du conducteur. Donc il sera recommandé d'après l'expérience de mettre les prises de terre en forme de patte d'oie et la liaison avec les prises se fait en des conducteurs plats caractérisés par leur impédances réduites.

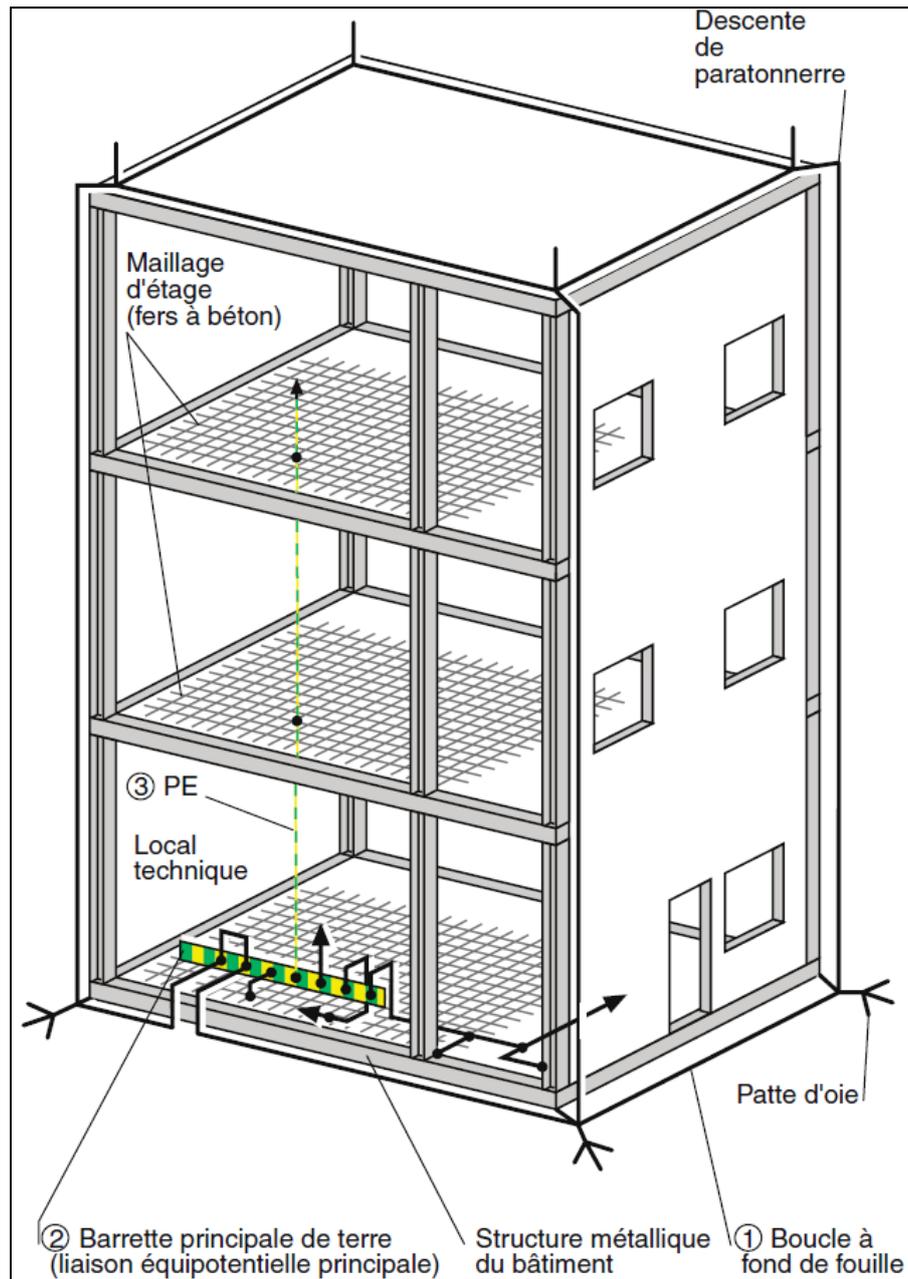


Figure 65 : La descente des paratonnerres vers la terre

E Efficacité calculée	Niveau de protection correspondant	I (kA) Courant crête	D (m) Distance d'amorçage
$E > 0,98$	Niveau I + mesures complémentaires	-	-
$0,95 < E \leq 0,98$	Niveau I	2,8	20
$0,90 < E < 0,95$	Niveau II	5,2	30
$0,80 < E \leq 0,90$	Niveau III	9,5	45
$0 < E \leq 0,80$	Niveau IV	14,7	60

Figure 66 : Distance d'amorçage et de courant crête selon le niveau de protection suivant NFC 17-100

14.8 Le parafoudre :

Le parafoudre qui protège contre la surtension transitoire qui est la plupart due au coupe de foudre est généralement placé entre un conducteur et la terre, et parfois, entre conducteurs actifs. Sous une tension normale, le parafoudre se comporte pratiquement comme une résistance infinie et le courant qui le traverse est nul ou négligeable (Courant de fuite).

Par contre, à l'apparition d'une surtension, dès que la tension aux bornes du parafoudre dépasse une certaine limite, il devient conducteur, laissant écouler le courant. Cela limite la tension à ses bornes et protège ainsi l'installation et les récepteurs en aval de ce dispositif. Les sources de surtension transitoires par la commutation de courant inductif sont les moteurs, contacteurs, transformateurs, surtension de manœuvre provenant du côté MT ainsi que les circuits capacitifs. Et enfin on observe des déclenchements des disjoncteurs au moment de court-circuit ou de fusion des fusibles. L'énergie produite sous forme de phénomènes transitoires dépend des caractéristiques du circuit de mise en marche. Le temps de montée est de l'ordre de quelques microsecondes et sa valeur peut atteindre plusieurs kV.

14.8.1 Les types de parafoudres :

Il y a 3 types de parafoudre (Figure 67) selon les modèles d'onde de coupe de foudre direct ou indirect et déterminés par la norme CEI-61643-11 (Figure 66, 67 et 68):

1. Le type 1 : il est caractérisé par l'onde de choc par coupe de foudre direct. L'onde de décharge de courant est de forme 10/350 μ s dont 10 représente le temps pour arriver à 90% de courant de décharge et 350 le temps pour lequel 50% de cette valeur est réduite. Le temps est relativement long par rapport au type 2 et 3, mais il est très court par rapport au temps de déclenchement le plus

court du disjoncteur avec un temps minimale de 2 à 3 ms. Il sera installé en amont de l'installation dans le tableau principal MDB-TR (annexe p. 164). Ce parafoudre est caractérisé par I_{imp} (courant impulsionnel de décharge c'est la valeur de crête d'un courant de forme d'onde 10/350 μ s que le parafoudre est capable d'écouler 5 fois). Les autres types seront définis dans le chapitre des tableaux secondaires et divisionnaires. La CEI 60364 définit en tête d'installation une section minimale de 16 mm² (Cu) pour le raccordement des parafoudres de type 1 en association de disjoncteur ou fusible pour la protection contre les court-circuits. Ce type de parafoudre est exigé pour une installation comprend un paratonnerre ;

2. Le type 2 : il est installé dans les tableaux secondaires (SMDB pour la distribution générale) et les tableaux divisionnaires (MCP pour les moteurs). Le parafoudre de type 2 installé dans chaque tableau électrique, il évite la propagation des surtensions dans les installations électriques et protège les récepteurs. Les parafoudres de type 2 sont caractérisés par une onde de courant 8/20 μ s (onde 8/20 μ s : pour caractériser les ondes de courants de coup de foudre indirect). Le parafoudre a pour U_p (niveau de protection) 2.5KV pour les charges peu sensibles comme les moteurs donc chacun des 4 tableaux de contrôle de moteurs comprend un parafoudre et pour les charges sensibles U_p sera égale à 2.5KV et de courant nominal de décharge $I_n=5kA$ (8/20 μ s). Il doit lui aussi être protégé contre les courts-circuits. Par exemple au niveau du tableau la valeur présumé peut atteindre 3kA, donc le disjoncteur aura $I_{cn}=6kA$ et $I_n=25A$ (une valeur recommandée pour ce type de parafoudre) et de courbe C;
3. Le type 3 : il est installé dans les tableaux divisionnaires près des charges sensibles (équipements électroniques comme le TV, DVD, PC...). Il est caractérisé par la faible capacité d'écoulement et d'une combinaison d'onde de tension (1.2/50 μ s) et de courant (8/20 μ s) et le choix de niveau de protection doit être plus petite que la tension de tenue aux chocs des charges qui est 1.5kV (I_n correspond au courant nominal de parafoudre auquel il sera passant sous tension de U_p);
4. Un 4eme type qui est indépendant des autres et ne nécessite pas de sélectivité celui de la protection des équipements bas courant en évitant la propagation des surtensions sur les lignes de téléphone et de satellite.

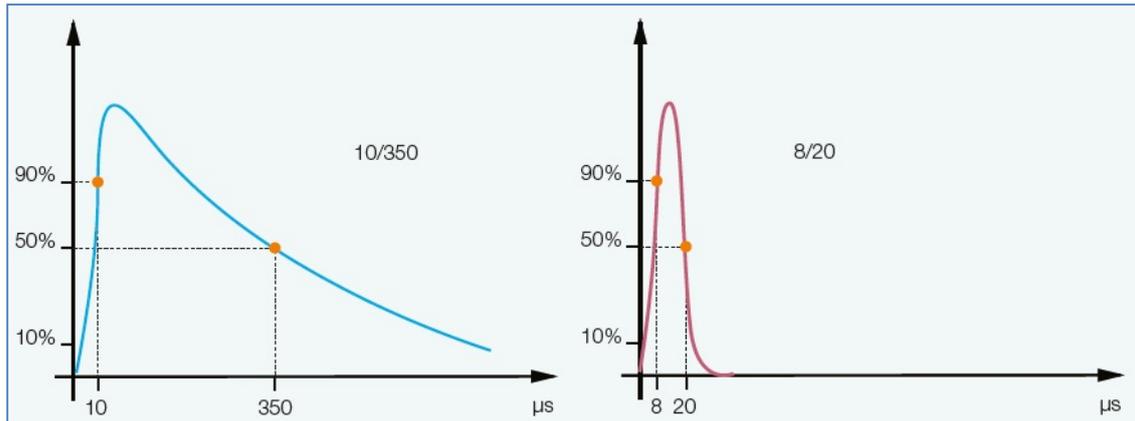


Figure 67 : Onde de courant 10/350 et 8/20

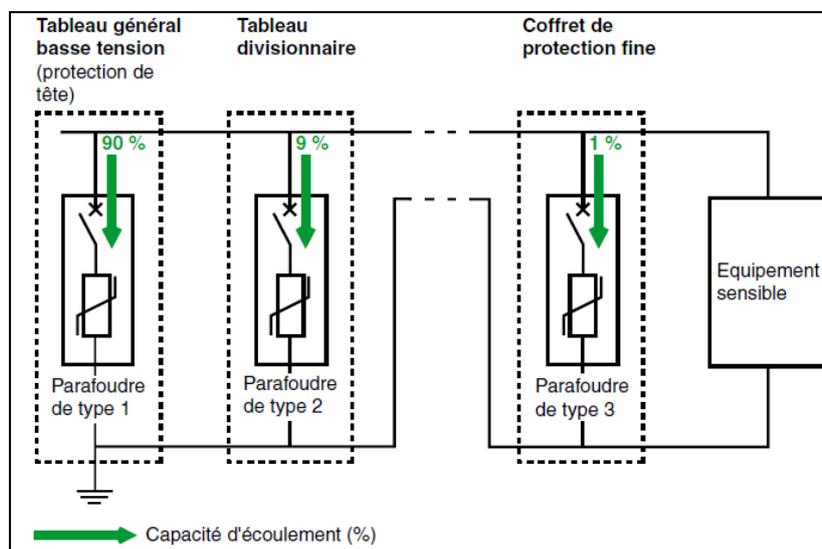


Figure 68 : Ecoulement de l'énergie de foudre par les 3 types de parafoudre

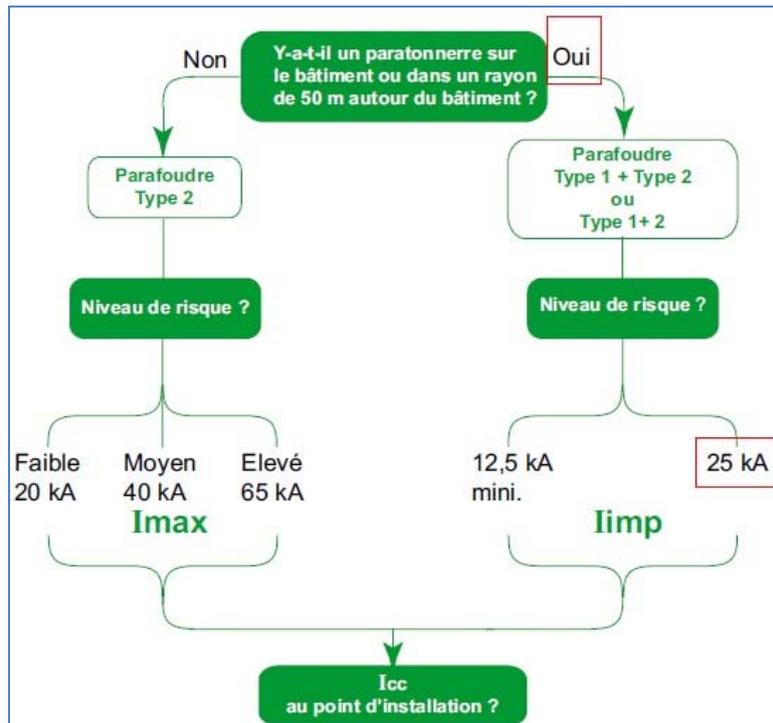


Figure 69 : Choix de type de parafoudre

14.8.2 La sélectivité des parafoudres :

Pour bien protéger les équipements, le parafoudre doit être près de ces charges. Donc il faut installer un parafoudre en tête de l'installation qui décharge près de 80% du total de l'énergie de foudre vers la terre au moyen du conducteur PE. Mais ce dispositif n'assure pas la protection totale puisqu'il reste 20% de l'énergie qui se propage dans l'installation. En fonction de la distance parcourue dans les conducteurs le degré de sensibilité des dispositifs à protéger on choisit le type de parafoudre. La sélectivité définie par CEI 6643-12, exige pour une distance de 30m entre 2 types de parafoudre.

La mise en cascade de plusieurs parafoudres est nécessaire pour l'une des 2 cas :

1. le parafoudre de tête à un niveau de tension U_p très important pour le matériel à protéger (CEI 60364-4-443 et 62305-4);
2. les matériels sensibles sont situés trop loin du parafoudre en tête de l'installation ;

	Niveau d'exposition		
	Faible	Moyen	Elevé
Environnement des bâtiments	Bâtiment situé dans une zone urbaine ou suburbaine d'habitations groupées	Bâtiment situés en plaine	Bâtiment où il existe un risque spécifique : pylône, arbre, région montagneuse, zone humide ou étang,...
Valeur conseillée I _{max} (kA)	20	40	65

Figure 70: I_{max}, courant de décharge maximum en fonction du niveau de l'exposition

Tension nominale de l'installation ⁽¹⁾ V		Tension de tenue aux chocs prescrite pour kV ⁽³⁾			
Réseaux triphasés ⁽²⁾	Réseaux monophasés à point milieu	Matériels à l'origine de l'installation (catégorie de surtension IV)	Matériels de distribution et circuits terminaux (catégorie de surtension III)	Appareils d'utilisation et équipement (catégorie de surtension II)	Matériels spécialement protégés (catégorie de surtension I)
	120-240	4	2,5	1,5	0,8
230/400 ⁽²⁾ 277/480 ⁽²⁾	-	6	4	2,5	1,5
400/690	-	8	6	4	2,5
1,000	-	Valeurs définies par les ingénieurs réseau			

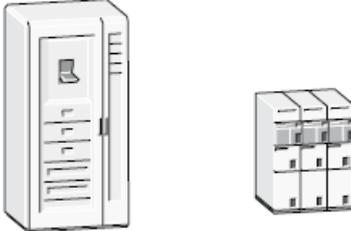
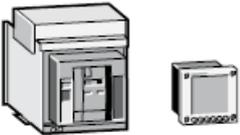
	<p>■ les matériels de la catégorie I sont des matériels particulièrement sensibles aux surtensions transitoires (appareils avec circuits électroniques, etc.).</p>
	<p>■ les matériels de la catégorie II sont des matériels consommateurs d'énergie, alimentés à partir de l'installation fixe (appareils électrodomestiques, outils portatifs, etc.).</p>
	<p>■ les matériels de la catégorie III sont des appareillages de l'installation fixe et des matériels à usage industriel avec un raccordement permanent à l'installation fixe.</p>
	<p>■ les matériels de la catégorie IV sont utilisés à l'origine de l'installation (appareillages, appareils de mesures, compteurs électriques, etc.).</p>

Figure 71: catégorie du parafoudre à choisir selon le type de charge à protéger

Choix des équipements pour une installation conforme à la CEI 60364

Conclusion

Le projet de l'hôtel Mak Palace consiste à faire la conception de tous les parties (les sources de tensions, les tableaux électriques, les contraintes électriques, la qualité de puissance...). Cette tâche m'a enrichi mon expérience dans le domaine de la conception.

L'effort que j'ai effectué pour cette étude était énorme puisque c'était mon premier projet de conception et m'a poussé à approfondir mes recherches en utilisant les guides des diverses marques (ABB, SCHNEIDER, LEGRAND, SIEMENS...).

La conception électrique est la phase essentielle pour la réalisation d'une installation. Donc cette mission exige de responsabilité pour chaque dimensionnement d'un dispositif électrique et de prendre le maximum de sécurité pour la protection des personnes et des biens en respectant les normes CEI adoptées dans l'étude.

Durant l'étude j'ai essayé de couvrir les parties essentielles pouvant guider les entrepreneurs à la réalisation sur site.

Résumé :

Ce projet consiste à faire la conception électrique de l'installation électrique de l'hôtel MAK Palace situé dans le quartier Hamra de Beyrouth.

Ce projet a été fait en appliquant les différentes normes électrotechniques allant de la sélection des sources de tension jusqu'aux tableaux divisionnaires alimentant les circuits des charges. Pui il y a le dimensionnement des câbles de puissances, les calculs des divers défauts et des contraintes, ainsi que le système de mise à la terre conformément aux normes CEI.

Summary:

This project is intended to make an electrical design of the electrical installation for the hotel MAK Palace in Beirut at Hamra street.

This project was done by applying different electrotechnical standards describing the selection of voltage sources to reach finally the panels serving the loads circuits. It includes the sizing of power cables, fault calculations, the constraints and earthing according to IEC standards.

Bibliographies:

- [1]: Power analysis. Power balance and choice of power supply solutions, Legrand power guide 2012 p. 28;
- [2]: power balance and choice of power supply solutions, Legrand power guide 2012 p. 58;
- [3]: Dimensionnement et protection des installations électriques B.T. ABB Guide technique installations B.T. p. 7/10;
- [4]: Dimensioning conductors & determining protection devices. Sizing conductors and selecting protection devices, Legrand power guide 2012 p. 51;
- [5]: Genset Selection Considerations, Caterpillar Electric Power Application and installation guide;
- [6]: Cahier Technique Merlin Gerin n° 158 / p.17 ;
- [7]: Les alimentations et récepteurs particuliers p. N12, guide de l'installation électrique 2010 Schneider;
- [8]: busbars and distribution, Legrand power guide 2012 p. 11 ;
- [9]: busbars and distribution, Legrand power guide 2012 p. 19 ;
- [10]: Le dimensionnement des conducteurs et des protections, les choix. Legrand Guide Distribution et Puissance 283;
- [11]: Dimensioning conductors & determining protection devices. Checking voltage drops, Legrand power guide 2012 p. 24;
- [12]: Switching contactors, LVSAM-WP001A-EN-P - April 2009 p. 5-3;
- [13]: Efficacité énergétique de la distribution électrique. Guide de l'installation électrique 2010 Schneider p. K8 ;
- [14]: Obtaining electromagnetic compatibility in an installation, EMC SCHEIDER GUIDELINE;
- [15]: Vérification des propriétés diélectriques de l'ensemble, Guide technique N°11 ABB p. 39 ;
- [16]: Cahier Technique Merlin Gerin n° 158 / p.14 ;
- [17]: <http://www.dynamic-ews.com/Tariffs/Electricity%20Tariffs/Lebanon.pdf>
- [18]: Power factor connection method, ABB Electrical Installation Handbook 6th Edition 2010 p. 432;

[19]: Power factor connection method, ABB Electrical Installation Handbook 6th Edition 2010 p. 433;

[21]: Les techniques de filtrage : une solution aux perturbations harmoniques. Qualité des réseaux électrique et efficacité énergétique (Dunod) ;

[21]: Cahier Technique Schneider Electric n° 199 / p.14 ;

[22]: Guide to harmonics with AC drives. Technical guide book ABB p.30;

[23]: Le contrôle de l'éclairage. Efficacité énergétique de la distribution électrique. Guide de l'installation électrique 2010 Schneider p. K15 ;

[24]: Application notes. Variable Flow Chilled water system ABB ;

[25]: Les schémas de liaison à la terre. Legrand Guide Distribution et Puissance 283 p. 235;

[26]: Efficacité énergétique : les bénéfices apportés par la vitesse variable dans la circulation des fluides, cahier technique n. 216 Schneider ;