



Université Hassan II – Casablanca

Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique
Casablanca



Département : Génie électrique

Filière : Génie des systèmes électriques

RAPPORT DE STAGE TECHNIQUE

Réalisé au sein de SPIE Maroc



SUJET :

**Etude et dimensionnement des
services auxiliaires du poste de
transformation 60KV/11KV de l'OCP**

Préparé par:

✓ *BALLOUK Soufiane*

Encadré par :

✓ *Mr.Elkhalfi*

✓ *Mr.hamza*

 Année Universitaire

2011/2012

RAPPORT DE STAGE TECHNIQUE

Sous thème :

Etude et dimensionnement des services
auxiliaires du poste de transformation
60KV/11KV de l'OCP

Dédicace

A nos chers parents

A ceux qui n'ont jamais cessé de nous
encourager, et nous conseiller.

A ceux qui n'ont jamais été avares ni de leurs
temps ni de leurs connaissances pour satisfaire
nos interrogations

Nous vous dédions ce modeste travail même si
nous savons qu'aucune dédicace ne sera à la
hauteur.

A ces éducateurs bien veillant, nous dédions le
fruit de

Notre carrière estudiantine.

A nos frères et sœurs.

En témoignages de l'amour et de l'affection
qui nous lient.

A tous nos amis.

Remerciements

A l'issue de notre modeste travail, nous tenons à exprimer nos sincères et chaleureux remerciements envers toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réussite de notre stage.

Nous adressons notre pure reconnaissance à la direction générale au nom du directeur général **M. Lucien ROZEC** pour nous avoir accueillis au sein de **SPIE Maroc**.

Notre gratitude et cordiaux sentiments sont ainsi alloués au directeur du pôle postes-lignes et fabrication, **M. CHAHBAOUI**, aux chefs de services, **M. ELHANKARI** et **M. HENTOUR**, ainsi qu'à nos encadrant **M. ELKHALFI** et **Mr. HAMZA** pour leurs soutiens, leurs conseils précieux ainsi que leurs savoir bénéfique qu'ils nous ont prodigué tout au long de notre stage.

Nous remercions également, tous les membres du pôle postes-lignes et fabrication, ingénieurs ou chargés d'affaires, spécialement **M. HAMMADI** pour son Assistance et son collaboration.

Enfin, nous remercions tout le personnel de Spie Maroc, et tous les membres de bureau d'études, qui nous a permis de profiter brillamment de cette formation en termes de savoir technique et relationnel.

A tous..... Merci

Résumé

Considérée parmi les leaders dans le domaine de réalisation et conception des installations électriques, la société SPIE Maroc propose des solutions fonctionnelles qui répondent aux attentes des clients.

La stratégie établie par la société est déterminante dans le pilotage des projets basés sur une connaissance des besoins à satisfaire et des contraintes, implique la prise en compte de l'ensemble des données, des hypothèses et de tous les éléments nécessaires à la conception et la définition des matériels.

Le présent rapport n'est autre que le fruit du travail du stage technique d'une durée d'un mois au sein de l'entreprise en question. L'accent a été mis sur la réalisation des tâches demandées par le maître d'ouvrage du projet de la réalisation d'un nouveau poste de transformation 60/11KV de l'OCP, à savoir l'établissement du bilan énergétique, une note de calcul BT, le dimensionnement des câbles et protections et leurs sélectivités en enfin les spécifications techniques des matériels.

Abstract

Considered among the leaders in the field of production and designing electrical installations, the company SPIE Maroc, offers functional solutions that meet customer expectations.

The strategy established the company, namely the rigorous management and critical in the management of projects based on knowledge of the needs and constraints, requires taking into account all data, assumptions and all the necessary elements for designing and the defining equipment.

This project reflects the result of a one-month of working with the company in question, the focus was on achieving the tasks requested by the master developer of the project the construction of a new substation in the OCP, to find a note of calculating energy balance BT, cable sizing and protection and selectivity and finally technical specifications of material

ملخص

اعتبارها سن بين القادة في مجال إنتاج و تصميم المنشآت الكهربائية، تقدم شركة SPIEMaroc حلاً وظيفية تستجيب لتوقعات زبائنها.

تتطلب الإستراتيجية - المحددة من طرف الشركة والمبنية على إدارة صاوسة وحاسمة في قيادتها قائمة على معرفة الاحتياجات والأكراهات - مراعاة المعطيات، الفرضيات وجميع العناصر اللانوية لتعريف و تصميم لائحة الأجهزة التي تم تحليلها في إطار البحث.

هذا التقرير ليس إلا ثمرة عمل شهر واحد مع الشركة المعنية. خلالها، تم التركيز على إنجاز المهام المطلوبة من طرف السلطة المتعاقدة مع المشروع في بناء محطة فرعية جديدة للمكتب الشريف للفوسفات، بما في ذلك حساب الحصيلة الطاقية، حساب أبعاد الأسلاك الكهربائية، تحديد الحماية وأخيرا المواصفات التقنية للأجهزة.

Table des Tableaux

Tableau 1 : Dimensionnement des transformateurs des services auxiliaires	24
Tableau 2 : L'Armoire services auxiliaires 127Vcc	28
Tableau 3 : L'Armoire services auxiliaires 48Vcc	28
Tableau 4 : L'Armoire services auxiliaires alternatifs	29
Tableau 5 : sélectivité entre disjoncteur général basse tension et disjoncteurs des circuits alternatifs	30
Tableau 6 : Sélectivité entre disjoncteur en aval et on amont du chargeur 127 VCC	31
Tableau 7 : Sélectivité entre disjoncteur en aval et en amont du jeu de barre 48VCC	31
Tableau 8 : les chutes de tension admissibles en courant alternatif	34
Tableau 9 : les chutes de tension admissibles en courant continu	34
Tableau 10 : Armoire services auxiliaires alternatifs	37
Tableau 11 : Armoire chargeur 127 Vcc	38
Tableau 12 : Armoire chargeur 48 Vcc	39
Tableau 13 : Choix de la section de la protection	39
Tableau 14 : Choix de la section du neutre	39
Tableau 15 : comparaison entre résultats théoriques et celles de CANECO des circuits alternatifs	41
Tableau 16 : Modes de pose pour la lettre de sélection B	44
Tableau 17 : Facteur de correction pour des températures ambiantes différentes de 30°C	44
Tableau 18 : Facteurs de correction pour groupement de câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs jointifs	45
Tableau 19 : Facteurs de correction pour groupement de câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs disposés en plusieurs couches	45
Tableau 20 : Tableau du choix des câbles	45

Table des Figures

<i>Figure 1: Organigramme de SPIE Maroc</i>	<i>18</i>
<i>Figure 2 : Organigramme de département DPLF</i>	<i>19</i>
<i>Figure 3 : L'architecture de la boucle 60 KV</i>	<i>19</i>
<i>Figure 4 : Schéma explicatif du mode de fonctionnement d'alimentation de post PJ-TPP</i>	<i>21</i>
<i>Figure 5 : Coupe du Poste PT-TPP</i>	<i>21</i>
<i>Figure 6 : Schéma du jeu de barres des auxiliaires alternatifs</i>	<i>30</i>
<i>Figure 8 : logigramme du choix de la section des canalisations et du dispositif de protection</i>	<i>47</i>

Sommaire

Dédicace	Erreur ! Signet non défini.
Remerciements.....	5
Résumé	6
Abstract	7
ملخص.....	8
Table des Tableaux.....	9
Table des Figures.....	10
Sommaire.....	11
Introduction Générale.....	13
CHAPITRE1 : Présentation de l'organisme d'accueil.....	15
I. Présentation de SPIE Maroc	15
1. Introduction	15
2. Fiche Technique	15
3. Historique de SPIE Maroc.....	15
4. Domaines d'activités	16
5. Organigramme de SPIE Maroc.....	18
6. Département pôle Poste-Ligne et Fabrication	18
II. Présentation du projet et de cahier de charge	19
1. Présentation du projet	19
2. Cahier de charges	20
3. Présentation du poste PJ-TPP 60/10KV	20
4. Mode de fonctionnement du poste PJ-TPP :.....	20
5. Coupe du poste PJ-TPP :	21
CHAPITRE2 : Etude et dimensionnement des services auxiliaires	23
I. Introduction	23
1. Définition.....	23
2. Dimensionnement des transformateurs des services auxiliaires (TSA):	24
CHAPITRE3 : Protection de l'installation des auxiliaires.....	27
I. Introduction	27
II. Choix des dispositifs de protection.....	27
1. Introduction	27
2. L'Armoire services auxiliaires 127 VCC	27

3.	L'Armoire services auxiliaires 48 Vcc	28
4.	L'Armoire services auxiliaires alternatifs	28
III.	Sélectivité	29
1.	Critères de sélectivité.....	29
2.	Vérification de la sélectivité	30
CHAPITRE4 : Dimensionnement des canalisations BT		33
I.	Dimensionnement des canalisations.....	33
1.	Introduction	33
2.	Méthode de dimensionnement des câbles BT (Selon la norme CEI 60364-5-52).....	33
CHAPITRE5 : Vérification par CANECO BT.....		41
I.	Définition :	41
II.	Dimensionnement des protections et des sections par Caneco BT :.....	41
Conclusion Générale		42
Annexes		43

Introduction Générale

Dans le cadre de la concurrence mondiale, et la grande compétitivité dans le monde industriel, les entreprises sont appelées à améliorer la qualité de leurs produits et services, elles doivent adopter une politique qui tient compte de l'évolution économique et technologique actuelle, afin de faire face efficacement aux impératifs du marché et des réglementations, aux besoins des clients mais aussi aux nécessités du développement durable.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre sujet de stage technique au sein de SPIE Maroc, qui consiste entre autre à élaborer une étude de dimensionnement des services auxiliaires du poste de transformation 60/11KV.

Notre étude est consacrée à l'étude des services auxiliaires. Cette dernière a pour objectif d'élaborer le bilan de puissance de l'installation, dimensionner les canalisations et enfin choisir les équipements de protection convenables en assurant la sélectivité.

Chapitre 1

Présentation de l'organisme d'accueil &
présentation du cahier des charges

CHAPITRE1 : Présentation de l'organisme d'accueil

I. Présentation de SPIE Maroc

1. Introduction

SPIE est une société multinationale spécialisée dans plusieurs domaines. En particulier, elle est l'un des leaders dans le domaine d'électricité industrielle et tertiaire, avec près de 400 implantations dans 25 pays et 23 000 collaborateurs.

SPIE propose des services et des solutions techniques performantes qui répondent aux enjeux actuels et futurs de ses clients, qu'ils soient locaux ou internationaux.

Dans cette partie, nous allons présenter le groupe SPIE, lieu de notre stage, et ses diverses activités. Ensuite nous allons donner un aperçu sur la société d'accueil, ainsi que de son architecture interne.

2. Fiche Technique

Dénomination :	SPIE Maroc
Date d'immatriculation :	10 Juin 1975
Forme juridique :	Société Anonyme SA
Identifiant Fiscal N° :	36101123
CNSS :	1958993
Directeur général :	Mr. Lucien ROZEC
Secteur d'activités :	Electricité, Mécanique, Génie Climatique, et autres services Industriels.
Capital :	17 352 500 DH
Chiffre d'affaire annuel :	569 354 703,00 DH
Moyen Humains :	1100 personnes
Certificat :	ISO 9001 version 2000
Téléphone :	212 .522.65.92.00/92
Fax :	212 .522.65.93.01
Site Web :	www.spiemaroc.ma

3. Historique de SPIE Maroc

Elle a été créée en 1900 sous le nom de la Société Parisienne pour l'Industrie des Chemins de Fer et des Tramways. En 1946, elle devient la Société Parisienne pour l'Industrie Electrique (SPIE). En 2003, cette dernière est rachetée à 100% par AMEC pour devenir, sous le nom AMEC SPIE, la branche « Europe continentale » du groupe britannique.

A partir de 2006 à nos jours AMEC SPIE devient encore une fois SPIE la Société Parisienne pour l'Industrie Electrique.

Pour l'historique de SPIE au Maroc, les dates ci-dessous représentent des événements importants dans notre territoire national :

1907 : Construction du port de Casablanca par la future SPIE Batignolles.

- 1942 :** Création de SPIE Maroc.
- 1946 :** Création de la « Chérifienne d'Entreprises Laurent Bouillet »
- 1968 :** SPIE Maroc devient SPIE Batignolles Maroc.
- 1975 :** Création d'Elecam (suite au décret de marocanisation).
- 1975 :** Création de la société marocanisation d'entreprises Laurent Bouillet (Melb).
- 1999 :** Acquisition par le groupe SPIE de la Marocaine d'entreprises Laurent Bouillet.
- 2003 :** Les filiales marocaines de SPIE : Elecam et Melb deviennent filiales d'Amec SPIE.

Ce groupe possède une répartition géographique large notamment en :

- Royaume-Uni
- Europe Continentale et Maroc
- Amérique du Nord
- Asie / Pacifique

SPIE a réalisé en 2005 un chiffre d'affaires de 2 688 millions d'euros.

4. Domaines d'activités

Sur chacun de ses marchés en Europe, SPIE propose à ses clients industriels, tertiaires, opérateurs et aux collectivités territoriales, une offre globale de services à valeur ajoutée associant expertise technique, compétences d'intégration et proximité.

En effet elle couvre les domaines suivants :

- ✓ Génie électrique :
 - Réseaux extérieurs et éclairage public ;
 - Installations Générales d'Electricité (IGE) ;
 - Processus Industriel et Automatismes (PIA) ;
 - Sécurité électronique et environnement des bâtiments ;
 - Réseaux de télécommunications.
- ✓ Génie climatique et fluides :
 - Tertiaire : Chauffage, Ventilation, Climatisation, Chaufferie, Protection incendie,...
 - Conditionnement processus : Ventilation, Refroidissement, Filtration...
 - Confort : Chauffage, Ventilation, Contrôle de l'hygrométrie, Climatisation,...
 - Transport de fluides : Eau chaude, Eau glacée, Eau purifiée, Vapeur, Gaz,...
 - Hospitalier : Chambres stériles, Salles d'opération, Fluides médicaux,...
- ✓ Génie mécanique :
 - Ensembles mécaniques, hydrauliques et pneumatiques ;
 - Machines statiques, robinetterie et tuyauterie ;
 - Machines tournantes, compresseurs, pompes, moteurs et turbines ;
 - Machines et systèmes de production ;
 - Appareils de levage et de manutention ;
 - Transfert d'unités de production ;
 - Usage.
- ✓ Systèmes d'information et de communications :
 - Réseaux d'entreprise ;

- Réseaux de ville et d'opérateurs ;
- Réseaux de sûreté et de communication (VDI, DAI, sécurité, téléphonie, GTC,...) ;
- Gestion des équipements (tunnels, radio,...).
- ✓ Infrastructures ferroviaires :
 - Voies ferrées ;
 - Caténaires ;
 - Sous-stations ;
 - Contrôle et communication ;
 - Systèmes électromécaniques.
- ✓ Maintenance et exploitation :
 - Génie électrique et automatismes ;
 - Génie climatique et fluides ;
 - Services de spécialités ;
 - Génie mécanique ;
 - Systèmes de communications.

Au Maroc, le groupe SPIE est composé de deux unités :

- SPIE Elecama.
- SPIE MELB (Marocaine d'Entreprise Laurent Bouillet).

Les activités de SPIE Maroc s'articulent sur les axes suivants :

- Electricité Industrielle et Tertiaire ;
- Réseau et Télécom ;
- Lignes et Postes ;
- Fabrication Métallique ;
- Maintenance et Exploitation ;
- Génie Climatique et Fluides.

5. Organigramme de SPIE Maroc

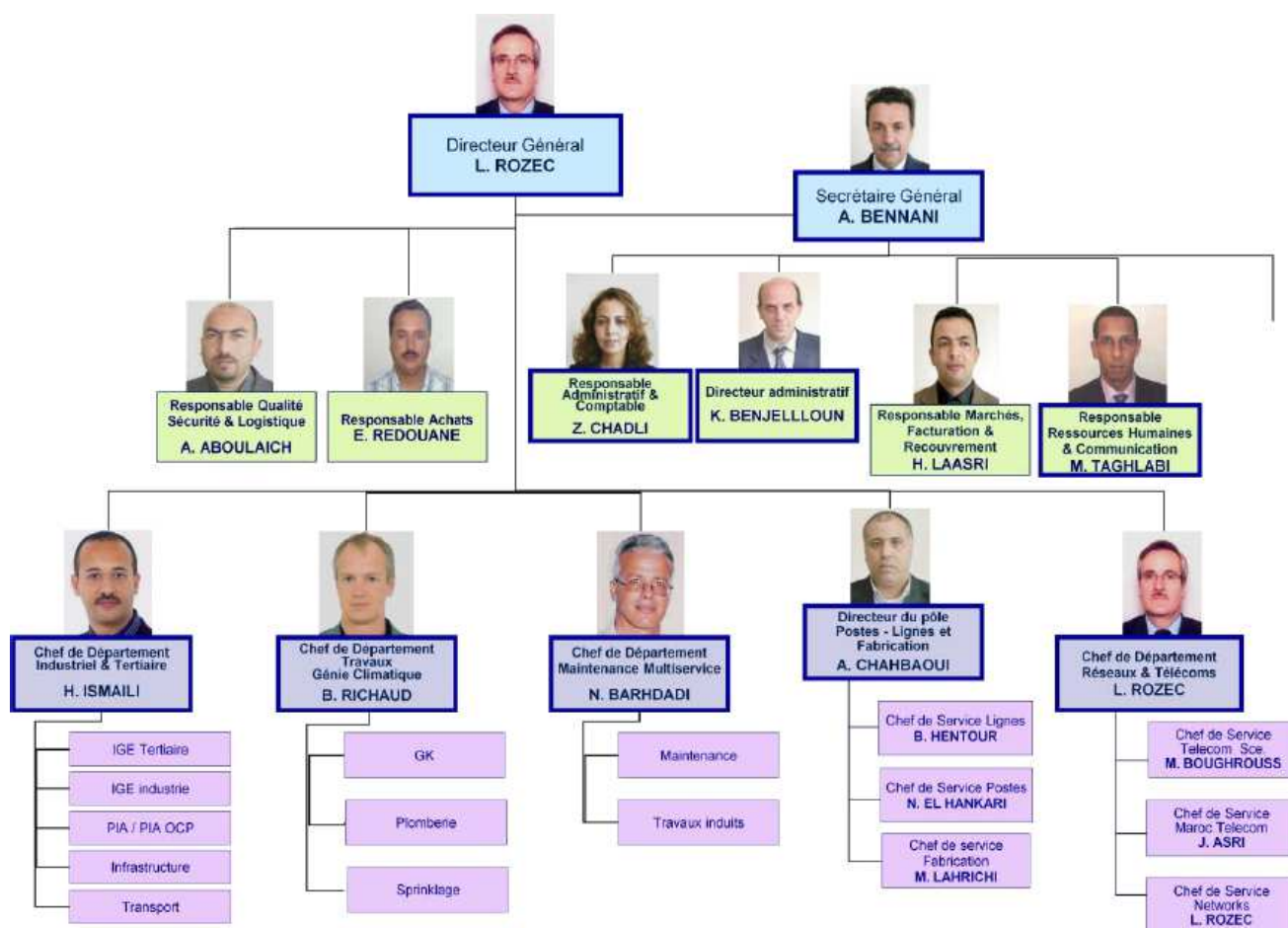


Figure 1: Organigramme de SPIE Maroc

6. Département pôle Poste-Ligne et Fabrication

Organigramme de SPIE Maroc

Parmi les départements de SPIE Maroc, on trouve celui de pôle Poste-Ligne et Fabrication (DPLF) là où nous avons effectué notre stage et plus précisément au sein du bureau d'études du pôle.

Le bureau d'études est responsable de l'étude technique des affaires :

- La détermination et planification des tâches d'études.
- L'élaboration des notes de calculs ainsi que le choix du matériel nécessaire conformément au cahier des charges et normes.
- L'élaboration et la vérification des plans d'exécution.
- L'assistance technique aux chargés d'affaires et aux chefs de chantiers.
- Les essais et la mise en service des installations.

Organigramme de département DPLF :

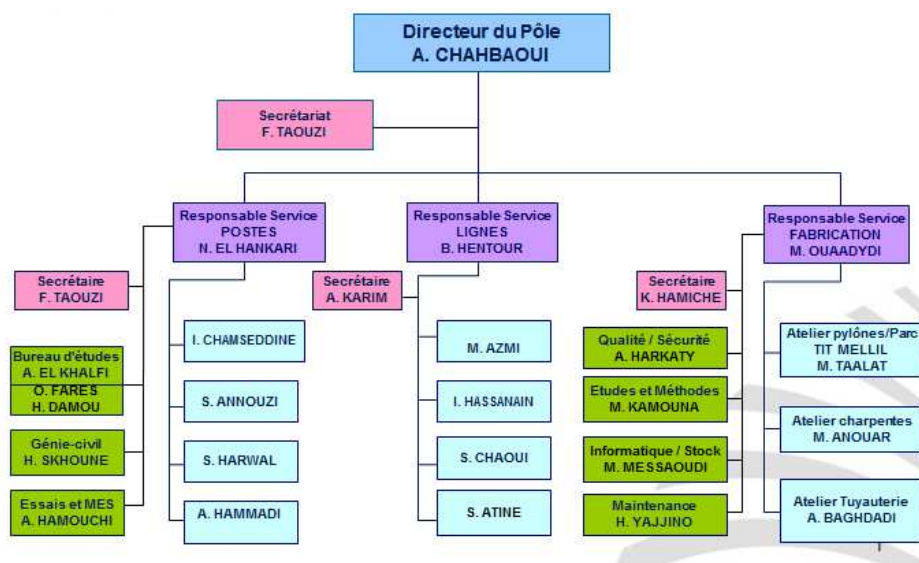


Figure 2 : Organigramme de département DPLF

II. Présentation du projet et de cahier de charge

1. Présentation du projet

L'ensemble industriel Maroc Phosphore Jorf Lasfar est alimenté en énergie électrique par un réseau électrique - lui aussi alimenté à travers le poste source PGD 225 KV- composé de la boucle 60KV raccordée à l'ONE et aux Joint-ventures (IMACID, PMP, BMP) via les postes PJ0 et PJ10.

La fiabilité, la disponibilité et la souplesse d'exploitation de ce réseau doivent être assurées pour réaliser les objectifs de production dans les meilleures conditions techniques, de sécurité et de coûts.

L'alimentation en énergie électrique de l'ensemble industriel Maroc Phosphore Jorf Lasfar et l'échange d'énergie électrique avec l'ONE sont assurés par une boucle 60kV dont l'architecture actuelle est la suivante:

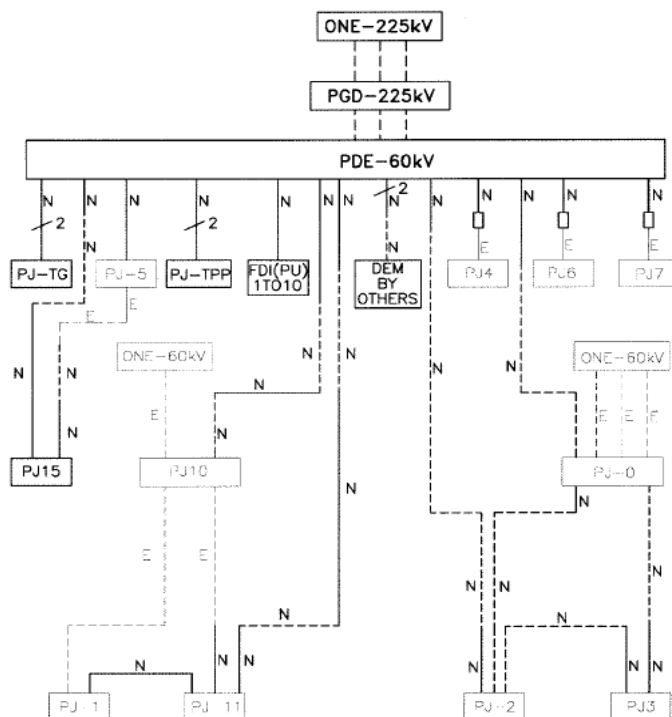


Figure 3 : L'architecture de la boucle 60 KV

Dans le cadre d'une vision stratégique de l'amélioration du fonctionnement des unités de production, le groupe OCP (Jorf Lasfar d'El-Jadida) présenté par Maroc Phosphore III et IV a opté pour procéder à l'installation de nouveau poste de transformation 60/10KV (PJ-TPP).

Vu que le projet est en cours d'étude, le pôle DPLF nous a confié la tâche d'étude et dimensionnement de la totalité des équipements du poste y compris le réglage des protections.

2. Cahier de charges

Maroc Phosphore du groupe OCP opère et gère le site JORF-LASFAR(JPH) a quatre unités de production de l'acide phosphorique et des fertilisants existantes, nommées MAROC phosphore, IMACID, PMP& BMP. Dans une nouvelle perspective le groupe OCP a décidé d'élargir son pôle de production tout en ajoutant des autres unités de production ce qui implique la nécessité d'adaptation et d'amélioration du réseau électrique.

Le travail qui nous a été demandé de réaliser, pendant une période d'un mois, est :

Étude de l'installation basse tension du poste PJ-TPP 60KV/10KV à l'OCP JHORF.

- Faire le bilan des puissances du projet.
- Dimensionnement des transformateurs de services auxiliaires.
- Dimensionnement du jeu de barres de services auxiliaires.
- Dimensionnement des canalisations.
- Etudes de court-circuit.
- Sélectivité.

3. Présentation du poste PJ-TPP 60/10KV

Le poste en question est alimenté à travers deux départs 60 KV, issu de PDE -225 KV, ces deux départs alimentent un jeu de barres HT, constitué d'un sectionneur de couplage d'où la structure d'un réseau double alimentation. Cette configuration est préconisée lorsqu'une bonne continuité d'alimentation est demandée ou lorsque les équipes d'exploitation et de maintenance sont peu nombreuse. Il est très souvent retenu dans les domaines de la sidérurgie de la pétrochimie.

Le schéma unifilaire (voir annexe) du poste PJ-TPP est constitué essentiellement de :

- Deux travées départs 60KV.
- Un jeu de barre 60KV.
- Deux travées transformateur 60KV.
- Deux arrivées 10KV.
- Un jeu de barre 10KV.
- Dix départs 10KV

Il est aussi constitué d'une installation de services auxiliaires comportant :

- Deux transformateurs de services auxiliaires (TSAs).
- Un jeu de barres alimenté en courant alternatif
- Un jeu de barres alimenté en courant continu (127Vcc)
- Un jeu de barres alimenté en courant continu (48Vcc)

4. Mode de fonctionnement du poste PJ-TPP :

D'après le cahier de charge, le mode de fonctionnement est décrit comme suit :

Le sectionneur SW2 est initialement fermé. Le disjoncteur CB2 est fermé alors que le disjoncteur CB3 est ouvert. Le transformateur T1 assurera le secours du transformateur T0. Pour les deux arrivés (départs) 60 KV

ils peuvent jouer le rôle de départ ou arrivé en congruence avec les autres postes de transformations, comme ils peuvent secourir l'un l'autre.

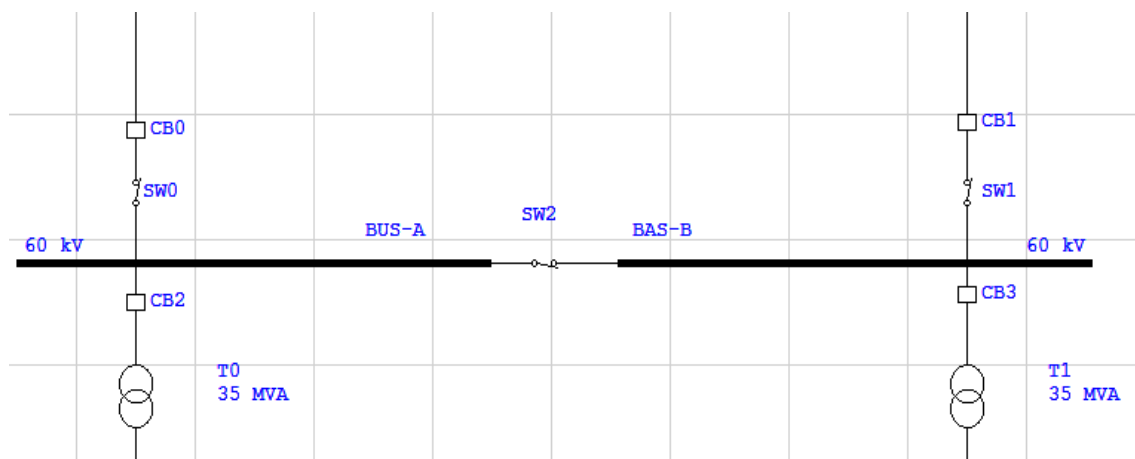


Figure 4 : Schéma explicatif du mode de fonctionnement d'alimentation de post PJ-TPP

5. Coupe du poste PJ-TPP :

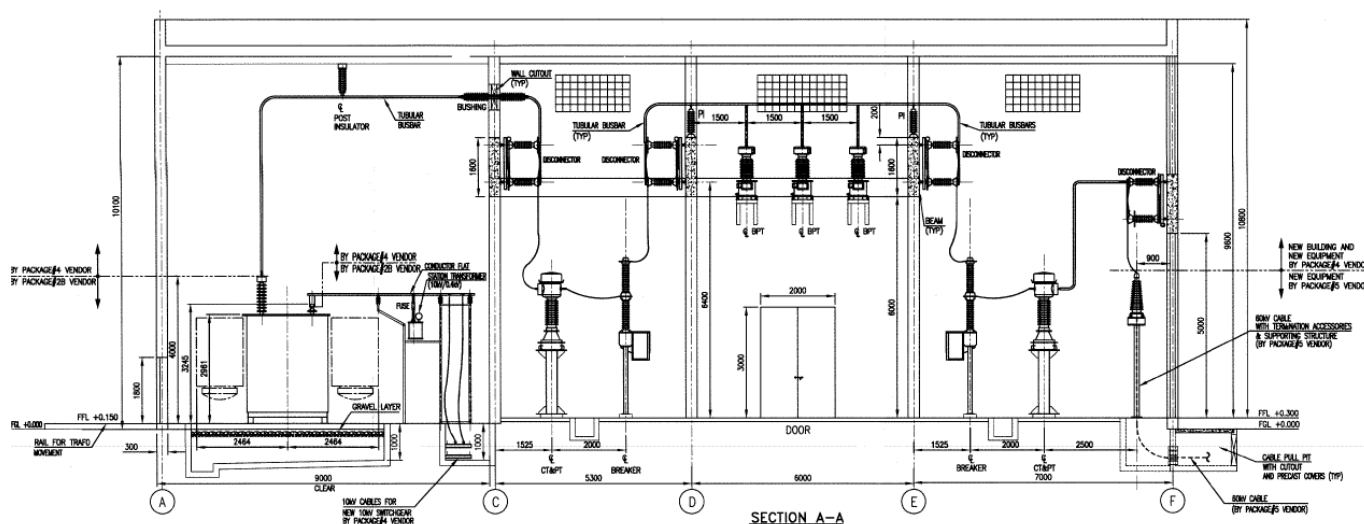


Figure 5 : Coupe du Poste PT-TPP

Chapitre 2

Etude et dimensionnement des services auxiliaires

CHAPITRE2 : Etude et dimensionnement des services auxiliaires

I. Introduction

1. Définition

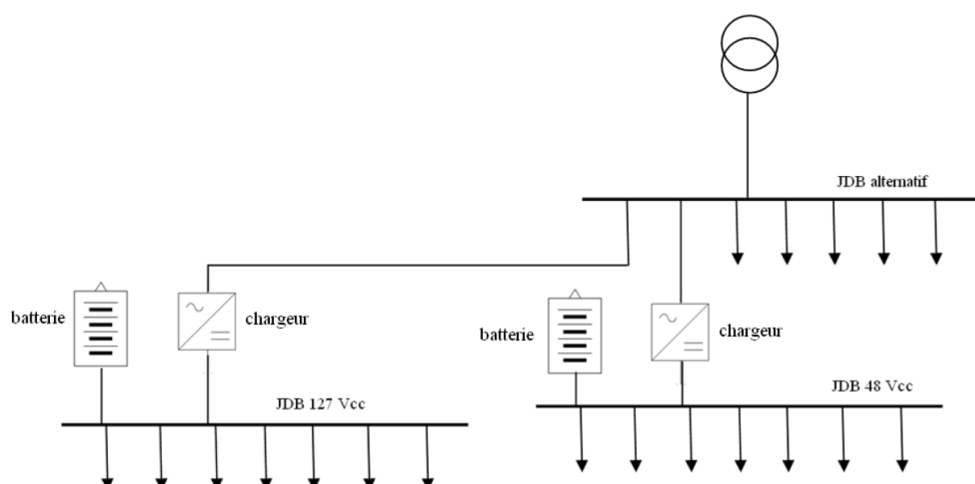
Au niveau de tout site de transformation d'énergie électrique, des sources auxiliaires de courant BT sont nécessaires au fonctionnement des organes de commande, de transmission, de signalisation, de chauffage, de climatisation et d'éclairage.

Ces sources dites services auxiliaires sont classées en trois catégories :

- Services relatifs à l'alimentation des équipements de commande et de contrôle de la partie BT des postes :
 - Équipements de protection.
 - Équipements de contrôle et de commande.
 - Organes de commande (manuelle ou à distance : Sectionneurs, disjoncteurs, etc).
 - Dispositifs de signalisation des défauts ou de position.
- Services relatifs à l'alimentation de l'appareillage auxiliaire du matériel HT ou MT
 - Moteurs des disjoncteurs, sectionneurs, etc.
 - Circuit de chauffage de certain matériel extérieur.
- Services relatifs à l'alimentation des équipements annexes
 - Chauffage et climatisation des locaux.
 - Éclairage des installations (locales et extérieures).
 - Équipements de télécommande et de transmission.
 - Matériel de maintenance.
 - Équipements divers.

Ils sont organisés sous formes des tranches alimentées par :

- Deux transformateurs des services auxiliaires (TSA).
- Trois batteries : deux de 127 V et une de 48 V.



Leurs rôle est d'assurer le bon fonctionnement de l'appareillage haute tension.

L'alimentation est assurée en triphasé 220/380V par deux transformateurs MT/BT.

Un dispositif automatique assure, l'ordre d'un manque de tension sur un transformateur, la permutation de l'alimentation sur le second, ce dispositif comporte un verrouillage électrique et mécanique afin d'interdire une mise en parallèle des transformateurs de services auxiliaires qui doivent avoir une puissance suffisante pour alimenter l'ensemble des auxiliaires.

Les organes de commande, de contrôle et de protection des postes doivent fonctionner de façon absolument sûre et permanente, leurs alimentations en courant continu sont assurées par des ensembles constitués d'une batterie d'accumulateurs et d'un redresseur.

2. Dimensionnement des transformateurs des services auxiliaires (TSA):

a. Evaluation de la puissance :

Pour dimensionner les TSA nous devons établir un bilan de puissance de l'installation basse tension qui comprend :

- L'armoire services auxiliaires 48 VCC.
- L'armoire services auxiliaires 127 VCC.
- L'armoire services auxiliaires des récepteurs alimentés en alternatif.

b. Tableau des résultats :

SERVICE AUXILIAIRE	P (w)	Q (Var)	S (VA)	Cos φ
OUTGOING 60KV N1 (HEATING LIGHTIN CB.60KV)	75	0	75,0	1
TRANSFO 60KV/10KV N1 (HEATING LIGHTING CB.60KV)	75	0	75,0	1
TRANSFO 60KV/10KV N1 (HEATING REGULATEUR)	488	309	577,6	0,84
TRANSFO 60KV/10KV N1 (ALIM AERO)	4500	3375	5625,0	0,8
RELAYING CABINET HV (HEATING LIGHTING EXTRACTOR SOCKETS)	953	261	988,1	0,96
HEATING DISCONNECTORS INCOMER HV TRANSFO N1	100	0	100,0	1
INCOMER & OUTGOING 10KV HEATING LIGHTING (CABINET & CB. 10KV SOCKETS)	1774	362	1810,6	0,98
SOCKETS 60A	14 198	8 419	16506,4	0,86
LIGHTING BOX:LIGTHNING	7527	0	7527,0	1
LIGHTING BOX:SOCKETS	14200	8420	16508,7	0,86
UPS SCADA	15000	0	15000,0	1
UPS SCADA	15000	0	15000,0	1
UPS EMERGENCY LIGHTING	5000	0	5000,0	1
UPS EMERGENCY LIGHTING	5000	0	5000,0	1
Batt CHARGEUR 127V	12900	6579	14480,8	0,89
Batt CHARGEUR 48V	3440	2040	3999,4	0,86
OUTGOING 60KV N2 (HEATING LIGHTIN CB.60KV)	75	0	75,0	1
TRANSFO 60KV/10KV N2 (HEATING LIGHTING CB.60KV)	75	0	75,0	1
TRANSFO 60KV/10KV N2 (HEATING REGULATEUR)	488	309	577,6	0,84
TRANSFO 60KV/10KV N2 (ALIM AERO)	4500	3375	5625,0	0,8
HEATING DISCONNECTORS INCOMER HV Transfo N2	100	0	100,0	1
UPS SCADA	4300	2550	4999,2	0,86
UPS EMERGENCY LIGHTING	5000	0	5000,0	1
Batt CHARGEUR 48V	3440	2040	3999,4	0,86
S total(VA)			128724,81	
Ks			0,6	
Ke			1,2	
Puissance utilisée			92681,86	

Tableau 1 : Dimensionnement des transformateurs des services auxiliaires

Remarque :

- Un facteur de simultanéité K_s de 0,6 est appliqué sur les charges, vu que les charges, vu que les récepteurs ne fonctionnent pas en même temps ;
- L'extension du poste est prise en considération, pour cela nous avons appliqué un facteur d'extension K_e de 1,2 sur la puissance total du transformateur.

c. Résultat :

D'après le bilan de puissance total, la puissance que doit fournir le TSA pour assurer l'alimentation des services auxiliaires est de 93KVA, cette puissance est inférieure à 100KVA précisé dans le cahier des charges.

Chapitre 3

Protection de l'installation des auxiliaires

CHAPITRE3 : Protection de l'installation des auxiliaires

I. Introduction

L'étude de l'installation électrique se fait méthodiquement en respectant les étapes suivantes :

a. Choix des dispositifs de protection :

Détermination des calibres In des disjoncteurs et leurs pouvoirs de coupure. - choix des déclencheurs des disjoncteurs.

b. Détermination des sections de câbles :

Calcul des courants nominaux. - détermination de la chute de tension. - détermination des courants de court-circuit.

c. sélectivité des protections.

Sur toute la suite de notre travail les valeurs des courants normalisés sont :

1	2	3	4	5	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----

II. Choix des dispositifs de protection

1. Introduction

Le rôle des protections est d'assurer la sécurité des personnes et des biens, ainsi que la continuité de service. Ces fonctions ne se vérifient pas que si le choix des appareils de protections est fait d'une méthode correcte et vérifiée par les normes. Les caractéristiques à prendre en compte dans le choix d'un disjoncteur sont :

- Le courant assigné ou courant d'utilisation dans les conditions normales.
- Le pouvoir de coupure (Pdc).
- La courbe de déclenchement.

Nous rappelons les cinq types de courbes de déclenchement avec leurs cas d'utilisation :

COURBE B	Déclenchement : 3 à 5 In	Utilisation : protection des générateurs, des câbles de grande longueur et des personnes dans les régimes IT et TN
COURBE C	Déclenchement : 5 à 10 In	Utilisation : applications courantes
COURBE D	Déclenchement : 10 à 14 In	Utilisation : protection des circuits à fort appel de courant
COURBE Z	Déclenchement : 2,4 à 3,6 In	Utilisation : protection des circuits électroniques
COURBE MA	Déclenchement : 12,5 In	Utilisation : protection des départs moteurs

2. L'Armoire services auxiliaires 127 VCC

Le tableau suivant précise le choix des disjoncteurs à utiliser pour la protection des tranches alimentées en continue 127V :

SERVICE AUXILIAIRE 127 Vcc					
Disjoncteur	Courant d'emploi (A)	Calibre Disjoncteur en A	Courbe	Type de Disjoncteur	Pdc (KA)
DJB1	105,44	125	C	NS250NTM200D	2
DJB2	56,00	63	C	NS250NTM200D	2
DJB3	3,94	4	C	IC60N	1
DJB4	0,22	1	C	IC60N	1
DJB5	3,94	4	C	IC60N	1
DJB6	0,22	1	C	IC60N	1
DJB7	3,94	4	C	IC60N	1
DJB8	0,22	1	C	IC60N	1
DJB9	3,94	4	C	IC60N	1
DJB10	0,22	1	C	IC60N	1
DJB11	3,94	4	C	IC60N	1
DJB12	0,22	1	C	IC60N	1

DJB13	3,94	4	C	IC60N	1
DJB14	0,22	1	C	IC60N	1
DJB15	3,94	4	C	IC60N	1
DJB16	0,22	1	C	IC60N	1
DJB17	3,94	4	C	IC60N	1
DJB18	0,22	1	C	IC60N	1
DJB19	3,94	4	C	IC60N	1
DJB20	0,22	1	C	IC60N	1
DJB21	3,94	4	C	IC60N	1
DJB22	0,22	1	C	IC60N	1
DJB23	3,94	4	C	IC60N	1
DJB24	0,22	1	C	IC60N	1
DJB25	3,94	4	C	IC60N	1
DJB26	0,22	1	C	IC60N	1
DJB27	0,17	4	C	IC60N	1
DJB28	3,94	1	C	IC60N	1
DJB29	0,22	4	C	IC60N	1
DJB30	0,13	1	C	IC60N	1
DJB31	3,94	4	C	IC60N	1
DJB32	1,99	2	C	IC60N	1
DJB33	3,94	4	C	IC60N	1
DJB34	1,99	2	C	IC60N	1
DJB35	3,94	4	C	IC60N	1
DJB36	1,50	2	C	IC60N	1
DJB37	3,94	4	C	IC60N	1
DJB38	0,71	1	C	IC60N	1
DJB39	0,17	4	C	IC60N	1
DJB40	0,17	1	C	IC60N	1
DJB41	0,20	1	C	IC60N	1
DJB42	0,35	1	C	IC60N	1

Tableau 2 : L'Armoire services auxiliaires 127Vcc

3. L'Armoire services auxiliaires 48 Vcc

Le tableau suivant précis le choix des disjoncteurs à utiliser pour la protection des tranches alimenté en continue 48V :

SERVICE AUXILIAIRE 48 Vcc					
Disjoncteur	Courant d'emploi (A)	Calibre Disjoncteur en A	Courbe	Type de Disjoncteur	Pdc (KA)
DJC1	9,38	10	C	IC60N	1
DJC2	1,75	2	C	IC60N	1
DJC3	1,75	2	C	IC60N	1
DJC4	4,25	6	C	IC60N	1
DJC5	0,50	1	C	IC60N	1
DJC6	1,50	2	C	IC60N	1
DJC7	1,50	2	C	IC60N	1
DJC8	0,50	1	C	IC60N	1

Tableau 3 : L'Armoire services auxiliaires 48Vcc

4. L'Armoire services auxiliaires alternatifs

Le tableau suivant précis le choix des disjoncteurs à utiliser pour la protection des tranches alimenté en alternatif :

SERVICE AUXILIAIRE 380Vac

Disjoncteur	Courant d'emploi (A)	Calibre Disjoncteur en A	Courbe	Type de Disjoncteur	Pdc (kA)
QTSA	104,53	125	C	NS250NTM200D	2
QTSA	104,53	125	C	NS250NTM200D	2
DJA2	0,07	1	C	IC60N	1
DJA3	0,07	1	C	IC60N	1
DJA4	0,07	1	C	IC60N	1
DJA5	0,34	1	C	IC60N	1
DJA6	0,34	1	C	IC60N	1
DJA7	2,04	4	C	IC60N	1
DJA8	6,41	10	C	IC60N	1
DJA9	0,84	1	C	IC60N	1
DJA10	0,45	1	C	IC60N	1
DJA11	8,23	10	C	IC60N	1
DJA12	11,44	16	C	IC60N	1
DJA13	0,04	1	C	IC60N	1
DJA14	22,79	25	C	IC60N	1
DJA15	22,79	25	C	IC60N	1
DJA16	7,60	10	C	IC60N	1
DJA17	7,60	10	C	IC60N	1
DJA18	16,50	20	C	IC60N	1
DJA19	4,56	6	C	IC60N	1
DJA20	0,34	1	C	IC60N	1
DJA21	0,26	1	C	IC60N	1
DJA22	2,04	4	C	IC60N	1
DJA23	6,41	10	C	IC60N	1
DJA24	0,45	1	C	IC60N	1
DJA25	15,19	20	C	IC60N	1
DJA26	7,60	10	C	IC60N	1
DJA27	40,56	50	C	IC60N	1
DJA28	16,50	20	C	IC60N	1
DJA29	4,56	6	C	IC60N	1

Tableau 4 : L'Armoire services auxiliaires alternatifs

III. Sélectivité

1. Critères de sélectivité

Dans le réseau basse tension le type de sélectivité à mettre en place est la sélectivité ampérométrique renforcée en cas de besoin par une autre chronométrique.

- **Dans la zone des surcharges :**

La sélectivité est assurée en surcharge si le temps de non-déclenchement du disjoncteur amont D1 est supérieur au temps maximal de coupure du disjoncteur D2. Cette condition est réalisée en pratique si le rapport

$$: IR1/IR2 > 1,6$$

- **Dans la zone des courts-circuits :**

Dans ce cas, la protection est sélective si le rapport entre les seuils de protection est supérieur à 2,5A :

$$IR1/IR2 > 2,5$$

2. Vérification de la sélectivité

L'évaluation de la sélectivité entre disjoncteur amont et aval repose sur la vérification des trois critères déjà cités. **N.B:** Sur les cases indiquées par la lettre **V** la sélectivité est valide sinon la lettre **X** indique la sélectivité non assurée entre disjoncteurs. Nous proposons les tableaux récapitulatifs de l'ensemble des résultats pour : **Sélectivité entre disjoncteur général basse tension et disjoncteurs des circuits alternatifs :**

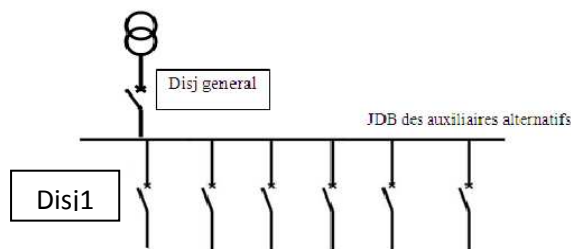


Figure 6 : Schéma du jeu de barres des auxiliaires alternatifs

Repère	Calibre In (A)	IR1/IR2	Disjoncteur général (In=125A)	
			Surcharge IR1/IR2 est >1,6	Forts courts-circuits IR1/IR2 est >2,5
DJA2	1	125,0	assurée	assurée
DJA3	1	125,0	assurée	assurée
DJA4	1	125,0	assurée	assurée
DJA5	1	125,0	assurée	assurée
DJA6	1	125,0	assurée	assurée
DJA7	4	31,3	assurée	assurée
DJA8	10	12,5	assurée	assurée
DJA9	1	125,0	assurée	assurée
DJA10	1	125,0	assurée	assurée
DJA11	10	12,5	assurée	assurée
DJA12	16	7,8	assurée	assurée
DJA13	1	125,0	assurée	assurée
DJA14	25	5,0	assurée	assurée
DJA15	25	5,0	assurée	assurée
DJA16	10	12,5	assurée	assurée
DJA17	10	12,5	assurée	assurée
DJA18	20	6,3	assurée	assurée
DJA19	6	20,8	assurée	assurée
DJA20	1	125,0	assurée	assurée
DJA21	1	125,0	assurée	assurée
DJA22	4	31,3	assurée	assurée
DJA23	10	12,5	assurée	assurée
DJA24	1	125,0	assurée	assurée
DJA25	20	6,3	assurée	assurée
DJA26	10	12,5	assurée	assurée
DJA27	50	2,5	assurée	assurée
DJA28	20	6,3	assurée	assurée
DJA29	6	20,8	assurée	assurée

Tableau 5 : sélectivité entre disjoncteur général basse tension et disjoncteurs des circuits alternatifs

Repère	Calibre In (A)	IR1/IR2	Disjoncteur 127VCC/Batterie (In= 125A)	
			Surcharge IR1/IR2 est >1,6	Forts courts-circuits IR1/IR2 est >2,5
DJB3	4	31,25	assurée	assurée
DJB4	1	125	assurée	assurée
DJB5	4	31,25	assurée	assurée
DJB6	1	125	assurée	assurée
DJB7	4	31,25	assurée	assurée
DJB8	1	125	assurée	assurée
DJB9	4	31,25	assurée	assurée
DJB10	1	125	assurée	assurée
DJB11	4	31,25	assurée	assurée
DJB12	1	125	assurée	assurée
DJB13	4	31,25	assurée	assurée
DJB14	1	125	assurée	assurée
DJB15	4	31,25	assurée	assurée
DJB16	1	125	assurée	assurée
DJB17	4	31,25	assurée	assurée
DJB18	1	125	assurée	assurée
DJB19	4	31,25	assurée	assurée
DJB20	1	125	assurée	assurée
DJB21	4	31,25	assurée	assurée
DJB22	1	125	assurée	assurée
DJB23	4	31,25	assurée	assurée
DJB24	1	125	assurée	assurée
DJB25	4	31,25	assurée	assurée
DJB26	1	125	assurée	assurée
DJB27	4	31,25	assurée	assurée
DJB28	1	125	assurée	assurée
DJB29	4	31,25	assurée	assurée
DJB30	1	125	assurée	assurée
DJB31	4	31,25	assurée	assurée
DJB32	2	62,5	assurée	assurée
DJB33	4	31,25	assurée	assurée
DJB34	2	62,5	assurée	assurée
DJB35	4	31,25	assurée	assurée
DJB36	2	62,5	assurée	assurée
DJB37	4	31,25	assurée	assurée
DJB38	1	125	assurée	assurée
DJB39	4	31,25	assurée	assurée
DJB40	1	125	assurée	assurée
DJB41	1	125	assurée	assurée
DJB42	1	125	assurée	assurée

Tableau 6 : Sélectivité entre disjoncteur en aval et on amont du chargeur 127 VCC

Repère	Calibre In (A)	IR1/IR2	Disjoncteur 48VCC/Batterie (In=10A)	
			Surcharge IR1/IR2 est >1,6	Forts courts-circuits IR1/IR2 est >2,5
DJC3	2	5	assurée	assurée
DJC4	6	1,67	assurée	assurée
DJC5	1	10	assurée	assurée
DJC6	2	5	assurée	assurée
DJC7	2	5	assurée	assurée
DJC8	1	10	assurée	assurée

Tableau 7 : Sélectivité entre disjoncteur en aval et en amont du jeu de barre 48VCC

D'après le calcul fait, nous remarquons que la sélectivité est assurée dans l'installation basse tension.

Chapitre 4

Dimensionnement des canalisations BT

CHAPITRE4 : Dimensionnement des canalisations BT

I. Dimensionnement des canalisations

1. Introduction

L'ensemble des conducteurs et protections associées est déterminé de manière à satisfaire à toutes les contraintes de fonctionnement.

L'étude de l'installation consiste à déterminer précisément les canalisations et leurs protections électriques en commençant de l'origine de l'installation des auxiliaires (transformateurs des services auxiliaires TSA) pour aboutir aux circuits terminaux (récepteurs).

Chaque ensemble, constitué par la canalisation et sa protection, doit répondre simultanément à plusieurs conditions qui assurent la sûreté de l'installation :

- Véhiculer le courant d'emploi permanent et ses pointes transitoires normales.
- Ne pas engendrer de chutes de tension susceptibles de nuire au fonctionnement de certains récepteurs (démarrage d'un moteur par exemple).

2. Méthode de dimensionnement des câbles BT (Selon la norme CEI 60364-5-52)

a. Calcul de la section nécessaire pour résister à l'échauffement en régime permanent

Pour calculer la section de l'échauffement en régime permanent, on suit la démarche suivante:

- Définir les conditions d'installation et d'environnement envisagées,
- Calculer l'intensité fictive qui s'obtient en divisant l'intensité à transporter par les coefficients de correction, ceux-ci traduisent l'influence des conditions d'installation et d'environnement,
- Retenir, d'après les tableaux des caractéristiques du conducteur ou du câble choisi, la section la plus petite permettant de transporter l'intensité fictive.

b. Calcul de la section thermique de court-circuit:

Lors du passage d'un courant de court-circuit dans les conducteurs d'une canalisation pendant un temps très court (jusqu'à cinq secondes), l'échauffement est considéré adiabatique; cela signifie que l'énergie emmagasinée reste au niveau du métal de l'âme et n'est pas transmise à l'isolant. Il faut donc vérifier que la contrainte thermique du court-circuit est inférieure à la contrainte thermique admissible du conducteur.

Pour validation de la contrainte thermique en cas de court-circuit, il faut vérifier la relation suivante :

$$S \geq I_{cc} * \frac{\sqrt{t_c}}{K}$$

Avec :

t_c : temps de coupure des dispositifs de protection en seconde

S : section des conducteurs en mm^2

I_{cc} : courant de court circuit

c. Détermination de la chute de tension :

La vérification de la chute de tension est recommandée pour s'assurer qu'elle est conforme aux normes, elle doit être vérifiée entre l'origine de l'installation et l'utilisation.

Si la chute de tension est acceptable, la section normalisée sera donc la section juste supérieure à la section trouvée. Sinon, il faut augmenter la section et revérifier la chute de tension jusqu'à l'obtention d'une chute de tension conforme à la norme.

La chute de tension est calculée en appliquant la formule suivante :

$$\Delta V = b \left(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) \times I_B$$

Avec :

ΔV : Chute de tension, en volt.

b : coefficient ($b=1$ pour circuit triphasé $=2$ pour circuit monophasé).

ρ_1 : résistivité du conducteur en service normal, soit 1,25 fois celle à 20 °C.

$\rho_1 = 0,0225 \text{ W mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre ; $\rho_1 = 0,036 \text{ W mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium.

L : longueur de la canalisation, en mètre.

S : section des conducteurs, en mm^2 .

$\cos \varphi$: facteur de puissance ; en l'absence d'indication précise on peut prendre $\cos \varphi = 0,8$.

I_B : courant maximal d'emploi, en ampère.

λ : réactance linéique des conducteurs, en Ω/m .

Les valeurs de λ en BT sont :

$0,08 \cdot 10^{-3}$, Ω/m pour les câbles tripolaires.

$0,09 \cdot 10^{-3}$, Ω/m pour les câbles unipolaires serrés en nappe.

$0,15 \cdot 10^{-3}$, Ω/m pour les câbles unipolaires espacés $d = 8 r$.

Remarque :

Conformément à la norme NF C 15-100 la chute de tension entre l'origine de l'installation et tout point d'utilisation ne doit pas être supérieure aux valeurs du tableau suivant :

Courant alternatif :

	$\Delta U_n(\%)$	$\Delta U_{\text{démarrage}}(\%)$
Eclairage	6%	
Moteur	8%	10%
Autres	8%	10%

Tableau 8 : les chutes de tension admissibles en courant alternatif

Courant continu :

	$\Delta U_n(\%)$	$\Delta U_{\text{démarrage}}(\%)$
Eclairage	20%	
Moteur	20%	30%
Autres	20%	30%

Tableau 9 : les chutes de tension admissibles en courant continu

Le détail de la note de calcul se trouve sur l'annexe 2

d. Exemple de calcul

Nous proposons de détailler le calcul de la canalisation Signalisations du départ 60kV-1:

$$\text{On a } P = 65\text{VA} \quad \text{Donc } I_b = \frac{P}{V} = 1.35\text{A}$$

Le courant normalisé juste supérieur est $I_n = 1.6\text{A}$

La protection est assurée par un disjoncteur, donc le courant admissible I_z est égale au courant nominal I_N :

On a donc $I_z = I_N = 1.6\text{A}$

Nous avons des câbles multiconducteurs en cuivre posés sur les caniveaux fermés, sous une température de 50°C , ces conducteurs sont isolés en PVC.

- Calcul de courant I_z :

$$I_z = \frac{I_n}{f}$$

Avec : $f = f_0 * f_1 * f_4 * f_5$

- Mode de pose : Câbles monoconducteurs dans des caniveaux fermés, en parcours horizontal ou vertical (Lettre B).
 - $f_0 = 0,95$
- facteurs de correction pour des températures ambiantes différentes de 30°C (canalisations non enterrées) : f_1
 - $f_1 = 0,71$ pour PVC
 - $f_1 = 0,82$ pour PR
- câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs jointifs : f_4
 - $f_4 = 0,4$
- Câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs disposés en plusieurs couches : f_5
 - $f_5 = 0,8$

Donc $f = 0,39$ pour PVC
 $f = 0,25$ pour PR

A partir des tableaux 1,2, 3 et 4 de l'**annexe1** on a les facteurs de correction suivants :

$$\text{D'où : } I_z' = I_z / K = 2.42\text{A}$$

La lecture sur le tableau 4 de l'annexe basse tension-3 donne une section : $S_{ph} = 1.5 \text{ mm}^2$

Vérification de la contrainte thermique en cas de court circuit :

Pour la validation de la contrainte thermique en cas de court-circuit, il faut vérifier la relation suivante :

$$S \geq I_{cc} * \frac{\sqrt{t_c}}{K}$$

Avec :

- I_{cc} : Courant de court-circuit maximal égal à 140A
- K : pour un conducteur de cuivre isolé en PVC $k=115$
- t_c : temps de coupure du disjoncteur

On a $S > 0.54$ donc la contrainte thermique est vérifiée

- Vérification de la chute de tension :

Calculant la chute de tension pour ce niveau d'installation.

Dans notre exemple de calcul, nous disposons des données suivantes :

- Il s'agit d'un circuit monophasé.
- La longueur de la canalisation est de 18m.
- La section est de 1.5mm².
- La canalisation est en cuivre donc ℓ est de 22,5 Ω mm²/km.
- le $\cos(\varphi)$ à prendre est de 0,8
- La réactance linéique vaut 0,08 Ω /km pour les câbles tripolaires

$$\square = 2 \times 1.6 \times 0.012 \times \left(\frac{22.5}{1.5} \times 0.8 + 0.08 \times 0.6 \right) = 0.46$$

Soit $\Delta V\% = 0.95\% < 5\%$

Donc : chute de tension tolérée.

Choix de la section finale :

La section finale à tenir en compte est donc celle vérifiant la contrainte thermique due au court-circuit et la contrainte de chute de tension.

Il est à noter que la vérification de la longueur maximale n'a pas lieu dans notre étude vu qu'il s'agit d'un régime TT.

e. Tableaux récapitulatifs

- L'Armoire services auxiliaires alternatifs:

Le détail de chaque circuit (puissance, type..) est dans l'annexe basse tension 1 :

SERVICE AUXILIAIRE 380Vac										
N° CABLE	Longueur du Câble en mètre	Courant Ib	Facteur de correction f (Pour PR)	Facteur de correction f (Pour PVC)	Courant Iz (pour PR)	Courant Iz (pour PVC)	Section en mm ² (PR)	Section en mm ² (PVC)	Chute de tension en % (PR)	Chute de tension en % (PVC)
CIRC	6	104,53	0,25	0,22	419,31	484,27	240	3*70	0,0380	0,068
CIRC	6	104,53	0,25	0,22	419,31	484,27	240	3*70	0,0380	0,068
CIRC	16	0,07	0,25	0,22	0,27	0,32	240	3*70	0,0001	0,000
CIRC	6	104,53	0,25	0,22	419,31	484,27	240	3*70	0,0380	0,068
CIRC	6	0,07	0,25	0,22	0,27	0,32	240	3*70	0,000025	0,00004
CIRC	14	0,07	0,25	0,22	0,27	0,32	240	3*70	0,0001	0,00010
CIRC G 1	28	0,34	0,25	0,22	1,37	1,58	2,5	2,5	0,0376	0,044
CIRC G 2	34	0,34	0,25	0,22	1,37	1,58	2,5	2,5	0,0457	0,053
CIRC G 3	34	2,04	0,25	0,22	8,19	9,46	2,5	2,5	0,2734	0,317
CIRC G 4	34	6,41	0,25	0,22	25,71	29,70	6	6	0,4158	0,416
CIRC G 5	24	0,84	0,25	0,22	3,38	3,90	2,5	2,5	0,0796	0,092
CIRC G 6	22	0,45	0,25	0,22	1,82	2,11	2,5	2,5	0,0394	0,046
CIRC G 7	24	8,23	0,25	0,22	33,01	38,13	4	6	0,4871	0,377
CIRC G 9	24	11,44	0,25	0,22	45,88	52,98	6	10	0,0418	0,316
CIRC G 10	24	0,04	0,25	0,22	0,14	0,17	2,5	2,5	0,0003	0,004
CIRC G 11	18	22,79	0,25	0,22	91,42	105,59	25	25	0,0153	0,192
CIRC G 12	18	22,79	0,25	0,22	91,42	105,59	25	25	0,0153	0,192
CIRC G 13	21	7,60	0,25	0,22	30,47	35,20	4	10	0,0364	0,183
CIRC G 14	21	7,60	0,25	0,22	30,47	35,20	4	10	0,0364	0,183
CIRC G 15	10	16,50	0,25	0,22	66,19	76,45	16	25	0,0095	0,077
CIRC G 16	10	4,56	0,25	0,22	18,28	21,11	2,5	4	0,0166	0,130

CIRC G 17	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 18	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 19	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 20	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 20	19	0,34	0,25	0,22	1,37	1,58	2,5	2,5	0,0255	0,03
CIRC G 21	27	0,26	0,25	0,22	1,03	1,18	2,5	2,5	0,0272	0,03
CIRC G 22	27	2,04	0,25	0,22	8,19	9,46	2,5	2,5	0,2171	0,25
CIRC G 23	27	6,41	0,25	0,22	25,71	29,70	2,5	6	0,7893	0,33
CIRC G 24	16	0,45	0,25	0,22	1,82	2,11	2,5	2,5	0,0332	0,03
CIRC G 25	18	15,19	0,25	0,22	60,95	70,39	10	16	0,5433	0,20
CIRC G 26	21	7,60	0,25	0,22	30,47	35,20	6	10	0,3044	0,18
CIRC G 27	28	40,56	0,25	0,22	162,72	187,93	50	95	0,2733	0,15
CIRC G 28	11	16,50	0,25	0,22	66,19	76,45	16	25	0,1314	0,08
CIRC G 29	8	4,56	0,25	0,22	18,28	21,11	2,5	4	0,1663	0,10
CIRC G 30	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 31	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 32	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 33	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

Tableau 10 : Armoire services auxiliaires alternatifs

- Armoire chargeur 127 Vcc

Le détail de chaque circuit (puissance, type..) est dans l'annexe basse tension 1 :

SERVICE AUXILIAIRE 127Vcc

N° CABLE	Longueur du Câble en mètre	Courant Ib	Facteur de correction f (Pour PR)	Facteur de correction f (Pour PVC)	Courant Iz (pour PR)	Courant Iz (pour PVC)	Section en mm ² (PR)	Section en mm ² (PVC)	Chute de tension en % (PR)	Chute de tension en % (PVC)
	26	105,44	0,78	0,67	194,07	224,14	50	95	0,946	0,425
CIRC G 3	26	56,00	0,78	0,67	64,18	74,13	10	16	0,748	0,140
CIRC G 4	26	3,94	0,78	0,67	15,09	17,43	2,5	2,5	0,697	0,033
CIRC G 5	28	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,335	0,016
CIRC G 6	30	3,94	0,78	0,67	0,21	0,25	2,5	2,5	0,011	0,0005
CIRC G 7	30	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,359	0,0170
CIRC G 8	31	3,94	0,78	0,67	0,21	0,25	2,5	2,5	0,012	0,001
CIRC G 9	31	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,371	0,018
CIRC G 10	32	3,94	0,78	0,67	0,21	0,25	2,5	2,5	0,012	0,001
CIRC G 11	32	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,383	0,018
CIRC G 12	33	3,94	0,78	0,67	0,21	0,25	2,5	2,5	0,013	0,001
CIRC G 13	33	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,395	0,019
CIRC G 14	34	3,94	0,78	0,67	0,21	0,25	2,5	2,5	0,013	0,001
CIRC G 15	34	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,407	0,019
CIRC G 16	35	3,94	0,78	0,67	0,21	0,25	2,5	2,5	0,013	0,001
CIRC G 17	35	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	25	2,5	0,043	0,020
CIRC G 18	36	3,94	0,78	0,67	0,21	0,25	25	2,5	0,001	0,001
CIRC G 19	36	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,431	0,020
CIRC G 20	37	3,94	0,78	0,67	0,21	0,25	2,5	2,5	0,014	0,001
CIRC G 21	37	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,443	0,021
CIRC G 22	38	3,94	0,78	0,67	0,21	0,25	2,5	2,5	0,014	0,001

CIRC G 23	29	0,22	0,779	0,6745	6,74	7,78	2,5	2,5	0,347	0,0164
CIRC G 24	29	3,94	0,779	0,6745	0,21	0,25	2,5	2,5	0,011	0,0005
CIRC G 25	30	0,22	0,779	0,6745	6,74	7,78	2,5	2,5	0,359	0,017
CIRC G 26	30	3,94	0,779	0,6745	0,21	0,25	2,5	2,5	0,011	0,0005
CIRC G 27	31	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,371	0,02
CIRC G 28	31	0,17	0,78	0,67	0,29	0,33	2,5	2,5	0,016	0,0007
CIRC G 29	35	3,94	0,78	0,67	0,16	0,19	2,5	2,5	0,010	0,0005
CIRC G 30	35	0,22	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,419	0,02
CIRC G 31	35	0,13	0,78	0,67	0,21	0,25	2,5	2,5	0,013	0,001
CIRC G 32	35	3,94	0,78	0,67	2,53	2,92	2,5	2,5	0,157	0,01
CIRC G 33	26	1,99	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,311	0,01
CIRC G 34	26	3,94	0,78	0,67	1,92	2,22	2,5	2,5	0,089	0,004
CIRC G 35	26	1,99	0,78	0,67	6,74	7,78	2,5	2,5	0,311	0,01
CIRC G 36	28	3,94	0,78	0,67	1,92	2,22	2,5	2,5	0,096	0,0045
CIRC G 37	26	1,50	0,779	0,6745	5,05	5,84	2,5	2,5	0,233	0,0111
CIRC G 38	31	3,94	0,779	0,6745	1,92	2,22	2,5	2,5	0,106	0,0050
CIRC G 39	31	0,71	0,779	0,6745	6,74	7,78	2,5	2,5	0,371	0,0176
CIRC G 40	26	0,17	0,779	0,6745	0,91	1,05	2,5	2,5	0,042	0,0020
CIRC G 41	31	0,17	0,78	0,67	0,22	0,25	2,50	2,50	0,01	0,0006
CIRC G 42	31	0,20	0,78	0,67	0,22	0,25	2,50	2,50	0,01	0,0006
CIRC G 43	31	0,35	0,78	0,67	0,26	0,30	2,50	2,50	0,01	0,0007
CIRC G 44	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 36	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 37	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 38	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 39	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 40	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 41	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

Tableau 11 : Armoire chargeur 127 Vcc

- Armoire chargeur 48 Vcc

Le détail de chaque circuit (puissance, type..) est dans l'annexe basse tension 1 :

SERVICE AUXILIAIRE 127Vcc										
N° CABLE	Longueur du Câble en mètre	Courant Ib	Facteur de correction f (Pour PR)	Facteur de correction f (Pour PVC)	Courant Iz (pour PR)	Courant Iz (pour PVC)	Section en mm² (PR)	Section en mm² (PVC)	Chute de tension en % (PR)	Chute de tension en % (PVC)
	24	0,19	0,78	0,67	40,43	46,69	6	10	1,44	0,082
CIRC G 3	25	0,20	0,78	0,67	1,94	2,24	2,5	2,5	0,17	0,004
CIRC G 4	37	0,29	0,78	0,67	0,85	0,98	2,5	2,5	0,11	0,003
CIRC G 5	37	0,29	0,78	0,67	2,06	2,38	2,5	2,5	0,27	0,006
CIRC G 6	37	0,29	0,78	0,67	0,24	0,28	2,5	2,5	0,03	0,00076
CIRC G 7	37	0,29	0,78	0,67	0,73	0,84	2,5	2,5	0,10	0,00227
CIRC G 8	12	0,09	0,78	0,67	0,73	0,84	2,5	2,5	0,03	0,001
CIRC G 9	37	0,29	0,78	0,67	0,24	0,28	2,5	2,5	0,03	0,001
CIRC G 10	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 11	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

CIRC G 12	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 13	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 14	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 15	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
CIRC G 16	Réservé	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

Tableau 12 : Armoire chargeur 48 Vcc

f. La section de la protection PE

La section de la protection PE est tirée du tableau suivant :

Section du conducteur de protection	
Section Conducteur de phase S_{PH}	Section du Conducteur de protection S_{PE}
$S_{PH} \leq 16mm^2$	$S_{PH} = S_{PE}$
$16mm^2 \leq S_{PH} \leq 35mm^2$	$S_{PE} = 16mm^2$
$S_{PH} > 35mm^2$	$S_{PE} = S_{PH}/2$

Tableau 13 : Choix de la section de la protection

Le neutre peut avoir une section supérieure ou inférieure à celle des conducteurs de phase, sans descendre en dessous de la moitié. Le tableau suivant distingue les différents cas pour choisir la section du neutre :

	$0 < TH \leq 15\%$	$15\% \leq TH \leq 33\%$ ⁽¹⁾	$TH > 33\%$ ⁽²⁾
Circuit monophasés	$S_{neutre} = S_{phase}$	$S_{neutre} = S_{phase}$	$S_{neutre} = S_{phase}$
Circuit triphasés+neutre Câbles multipolaire $S_{phase} \leq 16mm^2$ Cu ou $25mm^2$ Alu	$S_{neutre} = S_{phase}$	$S_{neutre} = S_{phase}$ Facteur 0,84	$S_{neutre} = S_{phase}$ S_{neutre} déterminante $I_{Bneutre} = 1,45 \cdot I_{Bphase}$
Circuit triphasés+neutre Câbles multipolaire $S_{phase} > 16mm^2$ Cu ou $25mm^2$ Alu	$S_{neutre} = S_{phase}/2$ Admis Neutre protégé	$S_{neutre} = S_{phase}$ Facteur 0,84	$S_{neutre} = S_{phase}$ S_{neutre} déterminante $I_{Bneutre} = 1,45 \cdot I_{Bphase}$ Facteur 0,84
Circuit triphasés+neutre Câbles unipolaire $S_{phase} \geq 16mm^2$ Cu ou $25mm^2$ Alu	$S_{neutre} = S_{phase}/2$ Admis Neutre protégé	$S_{neutre} = S_{phase}$ Facteur 0,84	$S_{neutre} = S_{phase}$ $I_{Bneutre} = 1,45 \cdot I_{Bphase}$ Facteur 0,84

(1) Circuits d'éclairage alimentant des lampes à décharge dont les tubes fluorescents dans des bureaux, ateliers, grandes surfaces, etc.

(2) Circuits dédiés à la bureautique, l'information, appareils électroniques dans des immeubles de bureaux, centre de calcul, banques, salles de marché, magasins spécialisés, etc.

Tableau 14 : Choix de la section du neutre

Dans notre cas (poste PJ-TPP), le taux d'harmonie est compris entre 15% et 33% donc on va prendre la section du neutre est égale à la section de la phase.

Chapitre 5

Vérification par CANECO BT

CHAPITRE5 : Vérification par CANECO BT

I. Définition :

Caneco BT, est un logiciel de calculs et schémas d'installation électrique basse tension, il est considéré comme leader Européen dans ce domaine. En effet, Il détermine les canalisations ainsi que tout l'appareillage de distribution d'après une base de données multi-fabricant. Il produit tous les schémas et les documents nécessaires à la conception, réalisation, vérification de l'installation.

II. Dimensionnement des protections et des sections par Caneco BT :

Caneco permet d'établir les différents résultats relatifs à la canalisation électrique du bâtiment (bâtiment de commande pour poste dans notre cas) sections minimales et longueurs maximales protégées, Après avoir saisie, sur l'interface du logiciel, les différentes informations relatives à l'installation à dimensionner à savoir : Caractéristiques de la source, puissances des récepteurs, longueurs des câbles, modes pose,...etc., le logiciel nous livre un ensemble de résultats concernant : les chutes de tension, les sections minimales, les réglages des dispositifs de protection, en conformité avec la norme CEI 60364-5-52 en vigueur.

Ainsi, nous avons obtenu les comparaisons explicitées sur le tableau qui suivent :

- les circuits alimentés en alternatif :

Conducteur	Section par méthodes théoriques	Résultats CANECO BT
ARMOIRE AUXILLIARY SERVICES ALTERNATIVE NETWORK	240	240
ARMOIRE AUXILLIARY SERVICES ALTERNATIVE NETWORK	240	240
OUTGOING 60KV N1 (HEATING LIGHTIN CB.60KV)	2,5	2,5
TRANSFO 60KV/10KV N1 (HEATING LIGHTING CB.60KV)	2,5	2,5
TRANSFO 60KV/10KV N1 (HEATING REGULATEUR)	2,5	4
TRANSFO 60KV/10KV N1 (ALIM AERO)	6	10
RELAYTING CABINET HV (HEATING LIGHTING EXTRACTOR SOCKETS)	2,5	2,5
HEATING DISCONNECTORS INCOMER HV Transfo N1	2,5	2,5
INCOMER & OUTGOING 10KV HEATING LIGHTING (CABINET & CB. 10KV SOCKETS)	6	4
LIGHTING BOX:LIGTHNING	10	10
LIGHTING BOX:SOCKETS	2,5	2,5
UPS SCADA	25	25
UPS SCADA	25	25
UPS EMERGENCY LIGHTING	6	6
UPS EMERGENCY LIGHTING	6	6
Batt CHARGEUR 127V	25	25
Batt CHARGEUR 48V	4	4
OUTGOING 60KV N2 (HEATING LIGHTIN CB.60KV)	2,5	2,5
TRANSFO 60KV/10KV N2 (HEATING LIGHTING CB.60KV)	2,5	2,5
TRANSFO 60KV/10KV N2 (HEATING REGULATEUR)	2,5	2,5
TRANSFO 60KV/10KV N2 (ALIM AERO)	6	6
HEATING DISCONNECTORS INCOMER HV Transfo N2	2,5	2,5
UPS SCADA	16	16
UPS EMERGENCY LIGHTING	6	6
60A SOCKETS	50	50
Batt CHARGEUR 127V	25	25
Batt CHARGEUR 48V	4	4

Tableau 15 : comparaison entre résultats théoriques et celles de CANECO des circuits alternatifs

Le détail de la note de calcul se trouve sur l'annexe 10.

Conclusion :

Après avoir élaboré une comparaison entre les sections obtenues par la méthode de dimensionnement des câbles en basse tension et les résultats obtenus à l'aide de CANECO BT, nous avons conclu que les résultats de sections trouvés par la méthode théorique sont inférieurs aux sections données par le logiciel CANECO BT, ceci nous permet de mettre en cause, la méthode de dimensionnement par les logiciels de calcul. Ainsi, ces logiciels restent valables pour la vérification sans être pour autant une base du dimensionnement d'où les méthodes théoriques restent indispensables.

Conclusion Générale

Notre stage technique au sein de Spie Maroc nous a permis de découvrir l'un des métiers du génie électrique, à savoir la conception des postes de transformation, à travers le projet de dimensionnement de services auxiliaires du poste de transformation de l'office national de phosphate.

Le fait d'aborder ce thème nous a permis de s'adapter à la démarche projet, ses contraintes et difficultés tout en se basant au règles de l'art de la conception des ouvrages électriques selon les normes nationales et internationales.

Pour ce marché soumissionné par Spie Maroc, nous avons eu recours à la norme CEI 60364-5-52 pour le dimensionnement des câbles. Un tel poste a besoin d'assurer la commande des équipements, la communication avec le dispatching ainsi que le contrôle des paramètres réseau, c'est ainsi que nous avons fait preuve d'engagement en révisant tous les schémas unifilaires de la basse tension pour les corriger.

Par souci de précision, nous avons choisi de faire la vérification de l'installation basse tension avec le logiciel CANECO BT et d'établir une note de calcul comme fruit de notre travail.

Ce stage a été pour nous un excellent complément à notre formation d'ingénieur en nous a apporté une vision encore plus large sur le côté relationnel et disciplinaire, nous avons pu développer, dans ce sens, un esprit libre d'échange d'informations et de coopération avec le personnel de Spie Maroc et avec les autres stagiaires des autres écoles(EMI,ENSA,ENIM,...).

Annexes

Annexe1

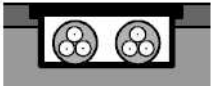
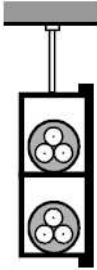
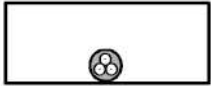
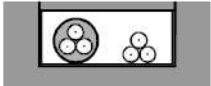
Exemple	Description	N°	Lettre de sélection	Facteurs de correction				
				f_0	à appliquer			
	Câbles mono ou multi-conducteurs dans des goulottes encastrées dans des planchers	33A	B	0,9	f_1	f_4	f_5	--
	Câble mono ou multi-conducteurs dans des goulottes suspendues	34A	B	0,9	f_1	f_4	f_5	--
	Câbles multiconducteurs dans des caniveaux fermés, en parcours horizontal ou vertical	41	B	0,95	f_1	f_4	f_5	--
	Câbles mono ou multi-conducteurs dans des caniveaux ouverts ou ventilés	43	B	1	f_1	f_4	f_5	--

Tableau 16 : Modes de pose pour la lettre de sélection B

Températures ambiantes (°C) θ_0	Isolation		
	Elastomères (caoutchouc) $\theta_p = 60\text{ °C}$	PVC $\theta_p = 70\text{ °C}$	PR et EPR $\theta_p = 90\text{ °C}$
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,06	1,04
35	0,93	0,94	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	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
85	-	-	-
90	-	-	-
95	-	-	-

Tableau 17 : Facteur de correction pour des températures ambiantes différentes de 30 °C

N° des modes de pose	Nombre de câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs jointifs											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
21, 22A, 23A, 24A, 25, 31, 31A, 32, 32A, 33A, 34A, 41, 43	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
11, 12	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 9 câbles		
11A	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
13	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
14, 16	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Tableau 18 : Facteurs de correction pour groupement de câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs jointifs

Nombre de couches	2	3	4 ou 5	6 à 8	9 et plus
Facteurs de correction f_5	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66

Tableau 19 : Facteurs de correction pour groupement de câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs disposés en plusieurs couches

Lettre de sélection	Isolant et nombre de conducteurs chargés								
B	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2			
C		PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2		
E			PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2	
F				PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2
Section (mm ²) Cuivre									
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
4	28	32	34	36	40	42	45	49	
6	36	41	43	48	51	54	58	63	
10	50	57	60	63	70	75	80	86	
16	68	76	80	85	94	100	107	115	
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
150		299	319	344	371	395	441	473	504
185		341	364	392	424	450	506	542	575
240		403	430	461	500	538	599	641	679
300		464	497	530	576	621	693	741	783
400					656	754	825		940
500					749	868	946		1083
630					855	1005	1088		1254

Tableau 20 : Tableau du choix des câbles

Annexe2

Selon la norme CEI 60364-5-52 on a :

a) Calcul du courant I_b :

- $I_b = \frac{S'}{\sqrt{3}U}$ pour le triphasé ;
- $I_b = \frac{S'}{U}$ pour le monophasé.

Avec :

$$S' = S * K_u * K_s \text{ et } S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Ks: facteur de simultanéité (standard NF C 15-100 paragraphe 311.3)

Pour les prises: $K_s = (0,1 + 0,9/n^*)$ avec n = nombre de prises alimentés par le même circuit

Pour armoire de distribution (standard NF C 63-410)

$K_s = 0,6$;(plus de 10 circuits)

$K_s = 0,7$; (entre 6 et 9 circuits)

Ku: facteur d'utilisation

$K_u = 0,75$ (pour les moteurs) ;

$K_u = 1$ (autres).

b) Calcul de courant I_z :

- $I_z = \frac{In}{f}$

Avec :

$$f = f_0 * f_1 * f_4 * f_5$$

(Réf : Guide de conception des réseaux électriques industriels de Schneider Electric).

- Mode de pose : Câbles monoconducteurs dans des caniveaux fermés, en parcours horizontal ou vertical (Lettre B).
 - $f_0 = 0,95$
- facteurs de correction pour des températures ambiantes différentes de 30 °C (canalisations non enterrées) : f_1
 - $f_1 = 0,71$ pour PVC
 - $f_1 = 0,82$ pour PR
- câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs jointifs : f_4
 - $f_4 = 0,4$
- Câbles multiconducteurs ou groupes de câbles monoconducteurs disposés en plusieurs couches : f_5
 - $f_5 = 0,8$

Donc $f = 0,39$ pour PVC

$f = 0,25$ pour PR

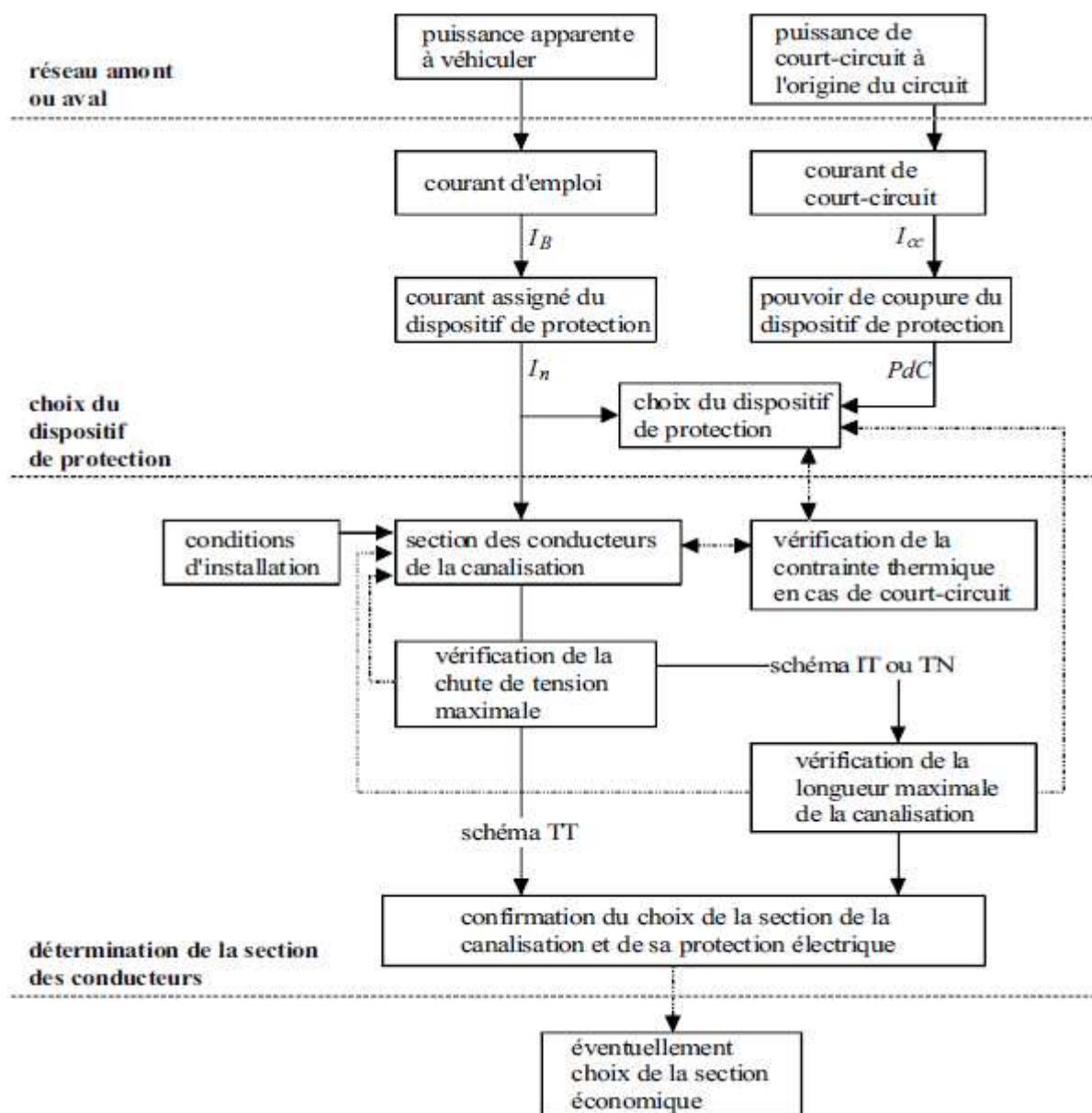


Figure 7 : logigramme du choix de la section des canalisations et du dispositif de protection

Bibliographies

- Guide conception des réseaux électriques industriels de Schneider.
- Norme CEI 60364-5-52.
- Norme NFC 13 200.
- Cahier technique N°194 de Schneider.
- Guide technique Merlin Gerin.
- Guide de conception MT de Schneider.
- Guide de protections des réseaux industriels.
- Plan de protection des réseaux HTA.
- Cours de réseaux électriques 2ème année GE à l'ENSEM de Mr. BELFQIH.
- Cours d'installations électriques 2ème année GE à l'ENSEM de Mr. ELMARIAMI.
- Guide de la distribution électrique basse tension et HTA Schneider– 2009.
- Techniques de l'ingénieur.
- Norme NFC 15-100.