

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

Spécialité: Electromécanique



Mémoire de Fin de Cycle

En vue d'obtention d'un diplôme Master en Electromécanique

Option: Electromécanique

Sous le thème

**Etude et dimensionnement électrique de la chaine d'AEP de
BOUZEGUENE à partir de barrage TICHY-HAF**

Réalisé par :

Mr TAHAR Yahia

Encadrés par:

- M^{me} REKIOUA. DJ

- Mr ATROUNE. S

- Mr BENDAOU. A

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

*N*ous remercions DIEU, le tout-puissant de nous avoir donné la foi qui nous a guidée jusqu'à la réalisation et l'aboutissement de ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur Mme REKIOUA.DJ et Mr REKIOUA ainsi Mr ATROUNE. S adjoint chef du département pour leurs aides précieuses, et le temps qu'il nous a accordé tout au long de notre travail, nous exprimons notre profond remerciement et respect.

Nous adressons aussi nos plus sincères remerciements à tout le personnel du « SEM MEHELAB Frères snc » et plus particulièrement notre encadrant Mr. BENDAOUD.A d'avoir accordé de leur temps pour l'aide et l'orientation pendant toute la période de stage.

Nos remerciements les plus sincères vont à tous les profs du département Génie électrique de l'université de Bejaia qui n'ont pas hésité un instant pour nous orienter, et d'être à notre disposition à tout moment pour la réussite et la réalisation de notre travail.

Dédicace

Avant tous, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste & humble travail :

A mes chers parents qui m'ont toujours soutenu et orienté vers le bon chemin. Je leurs dois

Un grand merci et je leurs éprouve un sentiment de gratitude et d'amour. Je prie Allah de garder le prestige de vivre avec eux une longue vie.

A mes cher(e)s frères et sœurs, à mes tantes, à tous les membres de ma grande famille.

A tous mes cousins.

A tous mes oncles

A toute ma grande famille.

A tous mes amis(es) que je ne vais pas nommer car ils sont nombreux & je ne sais pas qui choisir.

A tous les enseignants qui ont participé à ma formation durant toutes mes études.

A toute ma promotion de Master Electromécanique (2019).

A tous mes voisins & à tous les habitants de village
GROUNIA.

ET à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir ce travail.

Je vous remercie tous.

T. Yahia

Liste des abréviations

TGBT: Tableau général basse tension

MT: Haute tension

BT: Moyenne tension

HTA : Haute tension classe A

HTB: Haute tension classe B

D: Disjoncteur

T: Tableau divisionnaire

GEP : Groupe électropompe

AGEP : Armoire Groupe électropompe

Pdc : Pouvoir de coupure

Jbd: Jeu de barre

IP: Indice de protection

SLT: Schéma de liaison à la terre

NFC: Norme française

CEI: Comité international d'électrotechnique

PEN: Conducteur de protection

AEP : Alimentation en eau potable

HMT : Hauteur manométrique totale

SP : Station de pompage

l/s : Litre / seconde

Q : Débit à refouler

η : Rendement

Symboles

K_u : Facteur d'utilisation

K_s : Facteur de simultanéité

K_e : Facteur tenant compte des prévisions d'extension

K : Facteur de correction globale

P_n : Puissance installé

P_a : Puissance absorbée

P_u : Puissance d'utilisation

S_n : Puissance apparente

I_b : Courant d'emploi, en Ampère

I_z : Courant admissible

I_n : Courant nominale
 $\cos \phi$: Facteur de puissance
 U_n : Tension composé
 U_0 : Tension nominale phase-neutre
 U_{cc} : Tension de court-circuit de transformateur
 U_{20} : Tension assignée secondaire (à vide) du transformateur
R : Résistance linéique par unité de longueur des câbles (Ω/km)
X : Réactance linéique par unité de longueur des câbles (Ω/km)
L : Longueur de la canalisation
S : Section des conducteurs
H : Hauteur
 ρ : Masse volumique de l'eau
g : gravité
V : Volume
 ΔV : Chute de tension
 I_{cc} : Courant de court-circuit
 P_{cc} : Puissance en amont du transformateur
 P_{cu} : Pertes cuivre du transformateur

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation 3

Figure I.2 : alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage 4

Figure I.3 : alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage 5

Figure I.4 : câble U – 1000 R2 8

Figure I.5 : Câble unipolaire 9

Figure I.6 : câble multipolaire 9

Figure I.7 : Logigramme de la détermination de la section des canalisations 11

Chapitre II

Figure II.1: Schéma Synoptique de l'AEP de BOUZEGUENE à partir de barrage
TICHI-HAF 24

Figure II.2 : Schéma d'une adduction mixte 25

Figure II.3 : Vanne opercule 26

Figure II.4 : Vanne papillon automatisée 27

Figure II.5 : ventouse 27

Figure II.6 : clapet anti retour 28

Figure II.7: Chambre de visite du réservoir 29

Figure II.8 : Principe de fonctionnement d'une boîte à boue. 31

Figure II.9 : Vue des armoires de commande 34

Figure II.10 : Vue de pupitre de commande 34

Figure II.11 : Vanne avec bras 36

Figure II.12 : Vanne pneumatique 36

Figure II.13 : Vannes anti-retour 36

Figure II.14 : Débitmètre 37

Figure II.15 : Indicateur de pression 37

Figure II.17 : Transmetteur de pression 38

Chapitre III

Figure III.1 : Schéma unifilaire d'une station de pompage 40

Chapitre IV

Figure IV.1 : courbes de déclenchement Temps/Courant 69

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : facteur d'utilisation pour les différentes charges	7
Tableau I.2 : Facteur de simultanéité en fonction du nombre de circuits.....	8
Tableau I.3 : Les différents coefficients de k	13
Tableau I.4 : Formule des calcule des chute de tension	15
Tableau I.5 : la chute de tension de basse tension	15
Tableau I.6 : Les éléments de chaque partie de l'installation	19

Chapitre III

Tableau III.1 : Calculs de puissance électrique nécessaire pour SP01	41
Tableau III.2 : Calculs de puissance électrique nécessaire pour SP02.....	41
Tableau III.3 : Calculs de puissance électrique nécessaire pour SP03.....	42
Tableau III.4 : Calculs de puissance électrique nécessaire pour SP04.....	42
Tableau III.5 : Le bilan de puissance de la 1 ^{ère} station	43
Tableau III.6 : Le bilan de puissance de la 2 ^{ème} station	44
Tableau III.7 : Le bilan de puissance de la 3 ^{ème} station	45
Tableau III.8 : Le bilan de puissance de la 4 ^{ème} station	46
Tableau III.9 : Facteurs de puissance globale pour chaque station	47
Tableau III.10 : Caractéristique du chaque transformateur	49

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Choix des sections des câbles	53
Tableau IV.2 : Calculs des chutes de tension SP 01.....	55
Tableau IV.3 : Calculs des chutes de tension SP 02 et SP 04.....	56
Tableau IV.4 : Impédances du réseau amont ramenées au secondaire de transformateur....	58
Tableau IV.5 : Les caractéristiques du jeu de barre.	61
Tableau IV.6 . Coefficient K6 en fonction du nombre de barre par phase (n)	62
Tableau IV.7 : Résulta de vérification de la chute de tension de jeu de barre	63
Tableau IV.8 : Résultat de calcul de section de jeu de barre	63
Tableau II.9 : La méthode de calculer R, X, et Z pour chaque partie	64
Tableau IV.10 : Calculs des courants de courts-circuits des stations SP02 et SP04.....	65
Tableau IV.11 : Résultat des choix des disjoncteurs pour les différent départs SP02 et SP04	67
Tableau IV.12 : Caractéristiques des courbes de déclenchement	68
Tableau IV.13 Détermination de courant de maintien et déclanchement	69

Table des matières

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE 01 : GENERALITE SUR LES RESEAUX ELECTRIQUE

Introduction.....	02
I.1 Critères de choix d'une source électrique.....	02
I.1.2 Source basse tension.....	02
I.1.2.1 Caractéristiques d'une source BT.....	02
I.1.2.2 Modes d'alimentation des tableaux BT.....	03
I.1.2.2.a L'alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation.....	03
I.1.2.2.b L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage.....	04
I.1.2.2.c L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage.....	05
I.2 Méthodologie de calcul et de conception d'une installation électrique industriel.....	05
I.2.1 Bilan de puissance.....	06
I.2.1.1 Puissance installée (kW).....	06
I.2.1.2 Puissance absorbée Pa (kVA).....	06
I.2.1.3 La puissance d'utilisation Pu (kVA).....	07
I.2.2 Calcul et choix de la section des câbles.....	08
I.2.2.1 Définition des câbles.....	08
I.2.2.2 Types des câbles.....	09
I.2.2.3 Caractéristique des câbles.....	09
I.2.2.4 Principe de la méthode de calcul.....	10
I.2.2.4.a Courant d'emploi.....	12
I.2.2.4.b Courant admissible I'z.....	12
I.2.2.4.c Contrainte thermique en cas de court-circuit et détermination de la section S ₂	13
I.2.2.4.d Vérification de la Chute de tension.....	14
I.2.2.4.e Calcul par les formules.....	14
I.2.2.4.f Méthodes des tableaux simplifiés.....	15
I.2.2.4.g Choix de la section technique.....	15
I.2.3 Calculs des courants de court-circuit.....	16
I.2.3.1 Définition du courant de court-circuit.....	16
I.2.3.2 Causes d'un court-circuit.....	16
I.2.3.3 Conséquences du défaut de court-circuit.....	16
I.2.3.4 Nécessité de calcul des courants de court-circuit.....	16
I.2.3.5 Caractéristique des courts-circuits.....	17

Table des matières

I.2.3.6	Les différents schémas électriques d'un court-circuit.....	17
I.2.3.7	Méthodes de calcul des courants de courts-circuits.....	18
I.2.3.7.a	Méthode des impédances.....	18
I.2.3.7.b	Tableau qui détermine les Resistances et les réactances de chaque partie de l'installation.....	19
I.2.3	Choix des dispositifs de protection.....	19
I.2.4.1	Protection par disjoncteur.....	19
I.2.4.1.a	Définition de disjoncteur.....	19
I.2.4.1.b	Caractéristiques de disjoncteur.....	20
I.2.4.1.c	Règles de choix.....	20
I.2.4.2	Protection par fusible.....	21
I.2.4.2.a	Définition de fusible.....	21
I.2.4.2.b	Caractéristique de fusible.....	21
I.2.4.2.c	Choix du fusible industriel.....	21
Conclusion.....		22

CHAPITRE 02 : PRESENTATION DE PROJET

Introduction.....		23
II.1 Description Et Constitution De La Chaine De Refoulement De L'AEP De BOUZEGUENE A Partir De Barrage TICHY-HAF.....		23
II.1.1 Description du schéma d'adduction.....		23
II.1.2 Description des principaux composants de la chaine d'AEP.....		25
II.2.1.1 Adduction.....		25
II.2.1.2 Type d'adduction.....		25
II.1.3 Equipements de l'adduction.....		26
II.1.4 Réservoirs.....		28
II.1.4.1 Réservoir de stockage.....		28
II.1.4.1.a Station de pompage (SP01).....		28
II.1.4.1.b Station de pompage (SP02).....		28
II.1.4.1.c Station de pompage (SP03).....		29
II.1.4.1.d Station de pompage (SP04).....		29
II.1.4.2 Equipement du réservoir.....		29
II.1.5 Station de pompage.....		33
II.1.5.1 Identification des éléments de la station.....		33
II.1.5.1.a Armoires de commande électrique.....		33
II.1.5.1.b Pupitre de commande.....		34
II.1.5.2 Identification des actionneurs d'une station.....		34
II.1.5.2.a Moteurs électriques.....		34
II.1.5.2.b Pompes.....		35
II.1.5.2.c Vannes.....		35
II.1.5.2.d Les événements.....		37
II.1.5.3 Identification des instruments de la station.....		37

Table des matières

Conclusion.....	38
-----------------	----

CHAPITRE 03 : BILAN DE PUISSANCE

Introduction.....	39
III.1 Schéma unifilaire d'une station de pompage.....	39
III.2 Dimensionnement des différents éléments de chaque station de pompage.....	41
III.2.1 Bilan de puissance de chaque station de pompage.....	43
III.2.2 Détermination du facteur de puissance totale de l'installation pour chaque station.....	47
III.2.3 Dimensionnement du transformateur de chaque station.....	47
III.2.3.1 Choix de transformateur.....	47
III.2.3.2 Calcul du rapport de transformation.....	48
III.2.3.3 Calcul du courant secondaire.....	49
III.2.3.4 Calcul du courant primaire.....	49
III.2.4 Choix de la source de secours.....	49
III.2.4.1 Choix de groupe électrogène.....	50
Conclusion.....	50

CHAPITRE 04 : DIMENSIONNEMENT ET CHOIX DES EQUIPEMENTS

Introduction.....	51
IV.1 Calcul et choix de la section des câbles.....	51
IV.1.1 Caractéristique des câbles utilisés.....	51
IV.1.2 Détermination des facteurs de correction.....	52
IV.1.3 Résultat de calcul des canalisations.....	53
IV.2 Chute de tension.....	55
IV.2.1 Détermination de la chute de tension avec la méthode analytique.....	55
IV.3 Courants de court-circuit.....	56
IV.3.1 Méthode générale de Calcul du courant des courts-circuits.....	56
IV.4 Dimensionnement du jeu de barre.....	60
IV.4.1 Courant nominal.....	60
IV.4.2 Courant admissible.....	60
IV.4.3 Calcul de la section de jeu de barre.....	60
IV.4.4 Vérification de la chute de tension du jeu de barre.....	61
IV.4.4.1 Au passage de courant assigné.....	61
IV.5 Calcul des courants de court-circuit (I_{cc}), et vérification des pouvoirs de coupure (PDC) des dispositifs de protections.....	64
IV.5.1 Calcul des courants de courts-circuits des éléments principaux d'une station de pompage.....	64
IV.5.2 Dimensionnement des dispositifs de protection.....	66
IV.5.2.1 L'échauffement du au courant de court-circuit.....	66

Table des matières

IV.5.2.1.1	Définition et rôle de la protection.....	66
IV.5.2.1.2	Problème de la protection.....	67
IV.5.3	Choix des protections de SP02.....	67
IV.5.3.1	Caractéristiques des courbes de déclenchement.....	68
IV.5.3.2	Détermination de courant de maintien (I_4) et déclenchement (I_5).....	69
IV.5.4	Vérification de la protection des personnes (régimes du neutre).....	70
IV.5.4.1	Régimes du neutre.....	70
IV.5.4.2	Critères de choix du régime du neutre.....	70
IV.5.4.3	Schémas de liaison à la terre	71
IV.5.4.4	Choix du schéma de liaison à la terre.....	71
	Conclusion.....	72
	Conclusion générale.....	73

*Introduction
générale*

La moitié de la population des pays en voie de développement n'ont pas l'eau potable. Ce manque est à l'origine de 80 % des maladies et la pauvreté dans ces pays. Les efforts pour surmonter ce problème ont donné une priorité importante à des programmes tels que le pompage de l'eau. Dans beaucoup de régions, ce but peut être réalisé seulement par l'utilisation des nappes souterraines. Dans les régions éloignées des réseaux électriques, il y a diverses possibilités pour se servir de ces nappes : pompes à main, pompes diesel, pompes solaires, Pompes volumétriques et les pompes centrifuges etc [1].

Dans ce cadre s'inscrit notre projet de fin d'études qui consiste à l'étude électrique de la chaîne de l'AEP de la commune de BOUZEGUENE à partir du barrage de TICHY-HAF.

L'objectif de notre travail qui constitue notre problématique est d'étudier et dimensionner quatre stations de pompage équipée de 3 groupes électropompes à vitesse fixe avec un débit 60 l/s pour chaque GEP, une hauteur manométrique différente d'une station à une autre. En établissant une méthodologie bien ordonnée, commençant du schéma unifilaire jusqu'au choix correct de dimensionnement et protections.

La réalisation de notre projet exige un savoir-faire, des connaissances aussi bien théoriques que pratiques respectant les lois et les réglementations qui régissent sur une installation électrique industrielle BT. En respectant les contraintes exigées par la sécurité, et en satisfaisant des exigences de disponibilité, fiabilité, qualité.

Ce travail est organisé de la manière suivante :

Le chapitre 1 sera consacré en premier lieu aux généralités sur les réseaux électriques industriels, ainsi que l'organisation et la méthodologie utilisée pour le dimensionnement.

Le chapitre 2 décrit d'une façon globale la constitution de la chaîne de refoulement de l'AEP de BOUZEGUENE à partir du barrage de TICHY-HAF.

Le chapitre 3 traite l'étude technique de l'installation BT de 4 stations en passant d'abord, par un bilan de puissance, puis le choix du transformateur, ensuite la source de secours.

Le chapitre 4 présente le dimensionnement des câbles pour les différents récepteurs et départs de chaque station, Le dimensionnement des jeux de barres, des vérifications des chutes de tensions. Ensuite le choix des appareils de protection et des régimes de neutre.

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre 1

*Généralités sur les réseaux électriques
industriels*

Introduction

Avant d'étudier et de réaliser un projet d'installation électrique, il est important d'avoir à l'esprit un certain nombre de caractéristiques générales dont dépend la conception de l'étude. Dans ce Chapitre nous illustrerons les différentes étapes à suivre pour dimensionner une installation électrique, qui nécessite

1. Un choix d'une source électrique ;
2. L'élaboration du bilan de puissance précise ;
3. Dimensionnement de transformateur, des canalisations et leurs protections électriques.

En outre la protection des biens et des personnes.

I.1 Critères de choix d'une source électrique

Pour étudier une installation, la connaissance de la réglementation est un préalable. Le mode de fonctionnement des récepteurs (régime normal, démarrage, simultanéité, etc.), et la localisation, sur le plan des puissances utilisées permettent de réaliser un bilan des puissances à installées et à utilisées et, ainsi, d'en déduire la puissance et le nombre des sources nécessaires au fonctionnement de l'installation.

Des informations concernant la structure tarifaire sont aussi nécessaires pour faire le meilleur choix du raccordement de l'installation au réseau au niveau de la moyenne tension ou de la basse tension [2].

I.1.2 Source basse tension [2]**I.1.2.1 Caractéristiques d'une source BT**

Ce type des postes HTA/BT sont caractérisé par :

- Les tensions d'entrées sont : 10 ou 30 kV
- Les tensions de sortie (utilisation) sont : 230/ 400 V
- Section du câble d'alimentation est 120 mm²
- Puissance : $S > 630$ kVA
- Mode d'alimentation :

- Souterrain : Coupure d'artère

- Aérien : Dérivation.

- Une cellule de protection générale par disjoncteur HTA,
- Une cellule de comptage de l'énergie (tension et courant),
- Protection des transformateurs par fusible HTA,
- Tableau générale basse tension (TGBT)

I.1.2.2 Modes d'alimentation des tableaux BT [2]

Nous allons identifier les principales solutions d'alimentation d'un tableau BT, indépendamment de son emplacement dans le réseau. Le nombre de sources d'alimentation possibles et la complexité du tableau diffèrent suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré.

I.1.2.2.a L'alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

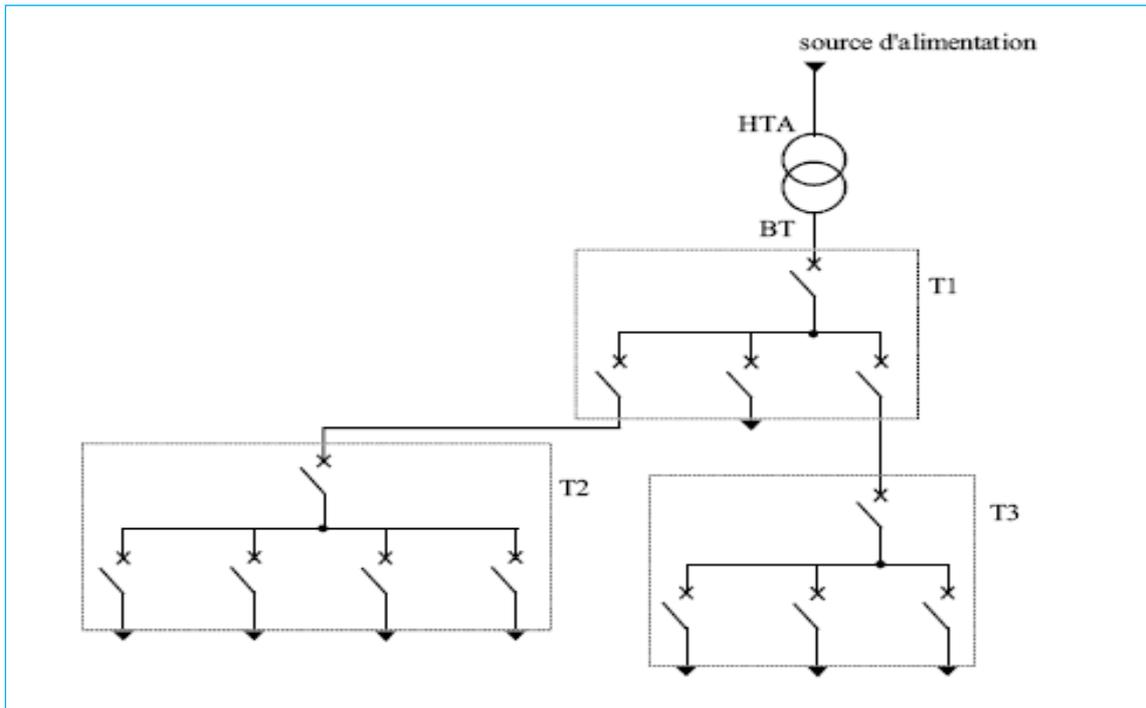


Figure I.1 : alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

Description de fonctionnement

- Les tableaux T1, T2, T3 bénéficient d'une seule source d'alimentation. Le réseau est dit de type radial arborescent.
- En cas de perte de la source d'alimentation d'un tableau, celui-ci est hors service jusqu'à l'opération de réparation.

I.1.2.2.b L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage

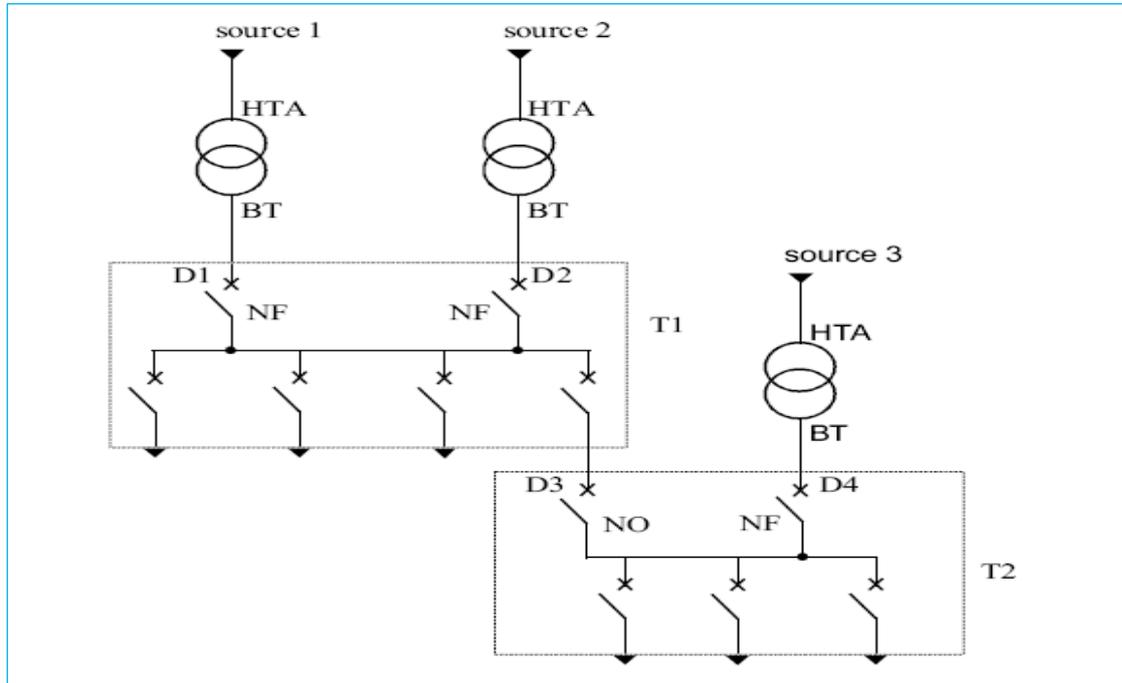


Figure I.2 : alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage

Description du mode de fonctionnement

Le tableau T1 bénéficie d'une double alimentation sans couplage par 2 transformateurs HTA/BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T1 :

- les deux sources alimentent T1 en parallèle
- en fonctionnement normal, les deux disjoncteurs sont fermés (D1 et D2).

Le tableau T2 bénéficie d'une double alimentation sans couplage par un transformateur HTA/BT et par un départ issu d'un autre tableau BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T2 :

- une source alimente le tableau T2, la seconde assure le secours.
- en fonctionnement normal, un seul disjoncteur est fermé (D3 ou D4).

I.1.2.2.c L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage

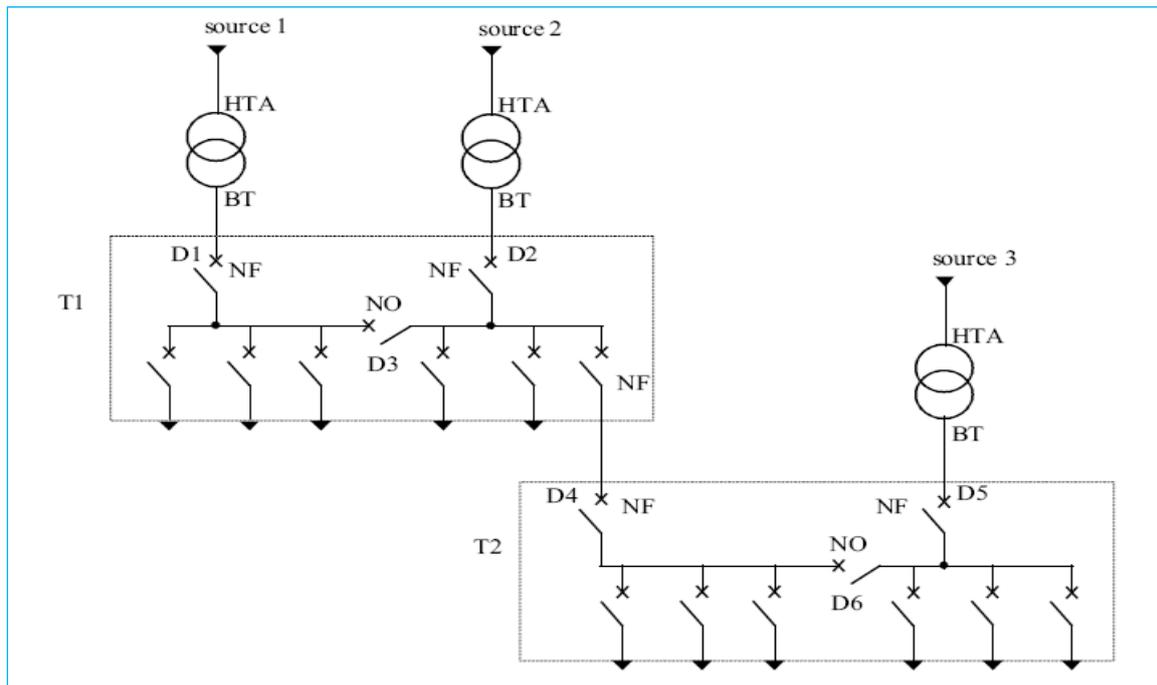


Figure I.3 : alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage

Le tableau T1 bénéficie d'une double alimentation avec couplage par 2 transformateurs HTA/BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T1 : en fonctionnement normal, le disjoncteur de couplage D3 est ouvert. Chaque transformateur alimente une partie de T1. En cas de perte d'une source d'alimentation, le disjoncteur de couplage D3 est fermé et un seul transformateur alimente la totalité de T1.

Le tableau T2 bénéficie d'une double alimentation avec couplage par un transformateur HTA/BT et par un départ issu d'un autre tableau BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T2 : en fonctionnement normal, le disjoncteur de couplage D6 est ouvert. Chaque source alimente une partie de T2. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage D6 est fermé et l'autre source alimente la totalité de T2.

I.2 Méthodologie de calcul et de conception d'une installation électrique industriel

Afin de concevoir une installation, il est nécessaire d'estimer le plus justement possible la puissance maximale (puissance d'utilisation) que devra fournir le distributeur d'énergie.

I.2.1 Bilan de puissance

C'est la première étape essentielle de l'étude de la conception d'un réseau. Elle doit cerner et localiser géographiquement les valeurs des puissances. Il faut :

- ❖ Renseigner pour chaque station (groupe GEP, compresseur, pont roulant, éclairage) les différents types d'appareillages du projet.
- ❖ Calculer les quantités et les puissances unitaires de chaque appareillage.
- ❖ Calculer la puissance totale de chaque appareillage.
- ❖ Renseigner les coefficients normés pour chaque appareillage.
- ❖ Déterminer le niveau de réserve de puissance de l'installation.
- ❖ Calculer la somme totale de l'installation en kW.
- ❖ Convertir la puissance totale de l'installation en kVA à partir du facteur de puissance.
- ❖ En déduire le niveau de tarification à souscrire [3].

I.2.1.1 Puissance installée (kW)

La puissance installée (kW) est la somme des puissances nominales de tous les récepteurs de l'installation.

L'indication de la puissance nominale (P_n) est marquée sur la plupart des appareils et équipements électriques [3].

I.2.1.2 Puissance absorbée P_a (kW)

La puissance absorbée P_a par une charge (qui peut être un simple appareil) est obtenue à partir de sa puissance nominale (corrigée si nécessaire, comme indiqué ci-dessus pour les appareils d'éclairage, etc...).

La puissance absorbée P_{abs} d'un récepteur est donnée par la puissance nominale P_{nom} , le rendement unitaire ρ et le facteur de puissance $\cos\phi$.

$$P_{abs} = \frac{P_n (\text{récepteur})}{\eta * \cos(\phi)} \quad (\text{I-1})$$

La puissance absorbée est souvent supposée être la somme arithmétique des puissances apparentes de chaque récepteur (cette sommation est exacte si toutes les charges ont le même facteur de puissance) pour des raisons de (confort de calcul).

Par conséquent, la valeur de la puissance apparente est supérieure à la valeur de la puissance absorbée, la différence représente une marge d'erreur acceptable lors de la phase de conception [3].

I.2.1.3 La puissance d'utilisation Pu (kW)

La puissance d'utilisation Pu est la donnée significative pour la souscription d'un contrat de fourniture en énergie électrique a partir d'un réseau public BT ou MT (et dans ce cas, pour dimensionner le transformateur MT/BT).

La puissance d'utilisation Pu est égale à la somme des puissances absorbées et valorisées par le facteur suivant:

$$P_u = K_u * P_a \tag{I-2}$$

K_u : facteur d'utilisation maximum, selon NF C 14-100 est une norme française, elle traite de la conception et de la réalisation des installations de branchement du domaine basse tension.

Il traduit le fait que le régime de fonctionnement d'un récepteur peut être inférieur à la puissance nominale. Il s'applique individuellement à chaque récepteur (circuits terminaux) [3].

Tableau I.1 : facteur d'utilisation pour les différentes charges

Utilisation		K _u
Force motrice	Pour le moteur de grandes puissances	1
	Pour le moteur moyen	0.75
	Pour les autres	0.6
Eclairage		1
Chauffage		1
Ventilation		1
PC		1

K_s : facteur de simultanéité, selon la norme NF C 63-400 et CEI 60439.

- ✓ Il traduit le fait qu'un ensemble de récepteurs ne soit pas utilisé en même temps.
- ✓ Il s'applique à chaque regroupement de récepteurs (distributions ou tableaux divisionnaires).

Tableau I.2 : Facteur de simultanéité en fonction du nombre de circuits [2].

Nombre de circuits	K_s
2 à 3	0.9
4 à 5	0.8
6 à 9	0.7
≥ 10	0.6

I.2.2 Calcul et choix de la section des câbles

I.2.2.1 Définition des câbles [4]

❖ **Conducteur isolé :** un conducteur isolé est un ensemble constitué :

- Une âme conductrice
- Une enveloppe insolente
- Ses écrans éventuels

Et chaque conducteur isolé est repéré par un code de couleur :

- La Phase ● ● ● ● ●
- Le neutre ●
- La terre ●



❖ **Câble :** un câble électrique est un ensemble constitué :

- Des conducteurs isolés
- Une protection d'assemblage
- Un ou plusieurs revêtements ou gains de protection

Exemple :

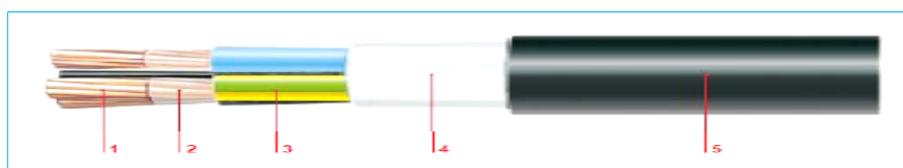


Figure I.4 : Câble U – 1000 R2 [4]

(1) âme en Cu nu massif – (2) Ruban séparateur- (3) Enveloppe isolante (Polyéthylène Réticulé)- (4).gaine de bourrage-(5) Gaine de protection

I.2.2.2 Types des câbles

❖ Câble unipolaire

Un câble unipolaire est un conducteur isolé comporte en plus une ou plusieurs gaines de protection, la différence avec un conducteur c'est que il assure une protection contre les agressions externe au câble (écrasement, choc, produit chimique) et aussi le refroidissement des câbles unipolaire est meilleur.

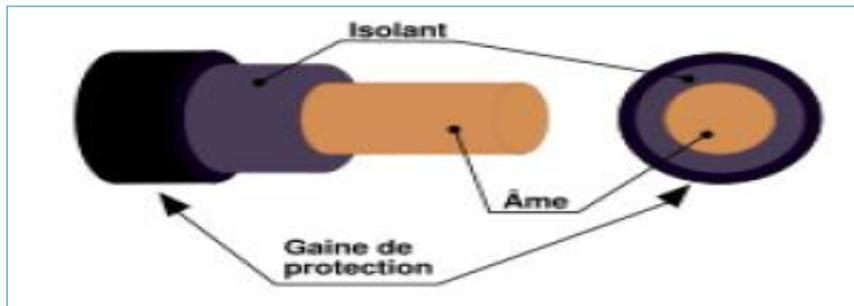


Figure 5 : Câble unipolaire [4]

❖ Câble multipolaire

C'est un ensemble de conducteurs électriquement différents mais comportant une protection commune

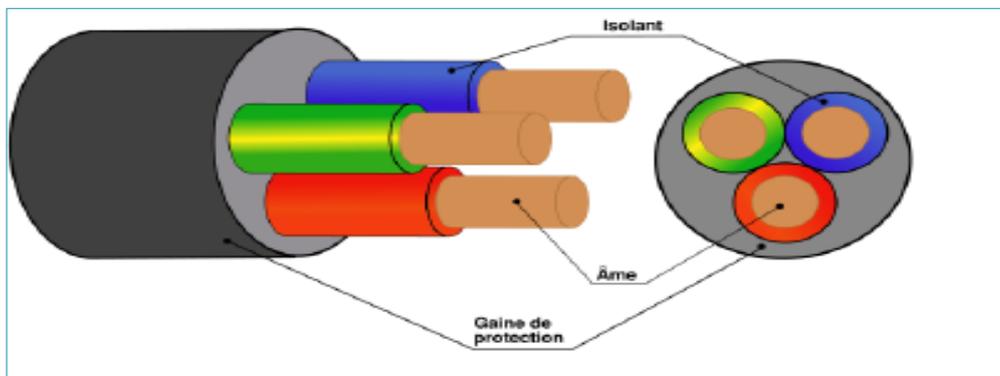


Figure I.6 : câble multipolaire [4]

I.2.2.3 Caractéristique des câbles [4]

➤ L'âme

❖ Caractéristique électrique

L'âme doit présenter une résistivité très faible pour éviter les pertes par effet joule.

La résistance du conducteur a une température différente de 20° C est donnée par la

norme CEI 60909-0 : $R_0 = [1 + 0.004(O - 20^\circ\text{C})] + R_{20^\circ\text{C}}$

❖ Caractéristique mécaniques

Elle doit être assez souple pour suivre les traces des canalisations.

Elle est dite massive lorsqu'elle est constituée d'un seul conducteur ;

Elle est dite câblée quand elle est formée de plusieurs brins en torons.

Les classes de souplesse :

La souplesse d'un câble dépend du nombre de brin pour une même section de conduction elle est définie en 6 classes.

Les âmes les plus rigides : classe 1, les âmes les plus souples : classe 6)

➤ L'enveloppe isolante

Matériau entourant l'âme destinée à assurer son isolation elle doit comporter des propriétés bien précises :

- Électrique : forte résistivité, rigidité diélectrique élevée
- Physique, chimique : bonne résistance à la corrosion et au feu
- Mécaniques : bonne résistance à la traction
- Au vieillissement, résistance à l'humidité, à la corrosion et au feu

Matériaux utilisés :

- PVC : polychlorure de vinyle
- PRC : polyéthylène réticulé
- RC : caoutchouc vulcanisé

➤ Gaine extérieure de protection

On emploie comme matériaux de gainage soit des matériaux isolants comme précédemment soit des matériaux métalliques tels que le plomb, l'aluminium ou encore le feuillard d'acier.

I.2.2.4 Principe de la méthode de calcul

En conformité avec les recommandations de la norme NF C 15-100, le choix de la section des canalisations et du dispositif de protection doit satisfaire plusieurs conditions nécessaires à la sécurité de l'installation.

La canalisation doit :

- Véhiculer le courant maximal d'emploi et ses pointes transitoires normales.
- Ne pas générer des chutes de tension supérieures aux valeurs admissibles.

Afin de pouvoir arriver à calculer la section des canalisations on doit suivre les étapes suivantes :

- ❖ Détermination de courant d'emploi maximal (I_b) et le normalisé
- ❖ Détermination du courant admissible dans des canalisations (courant fictif)
- ❖ Déduire la section de conducteur
- ❖ Valider cette section par un calcul de la chute de tension

Et pour simplifier la méthode de détermination de la section des conducteurs on doit suivre le logigramme suivant :

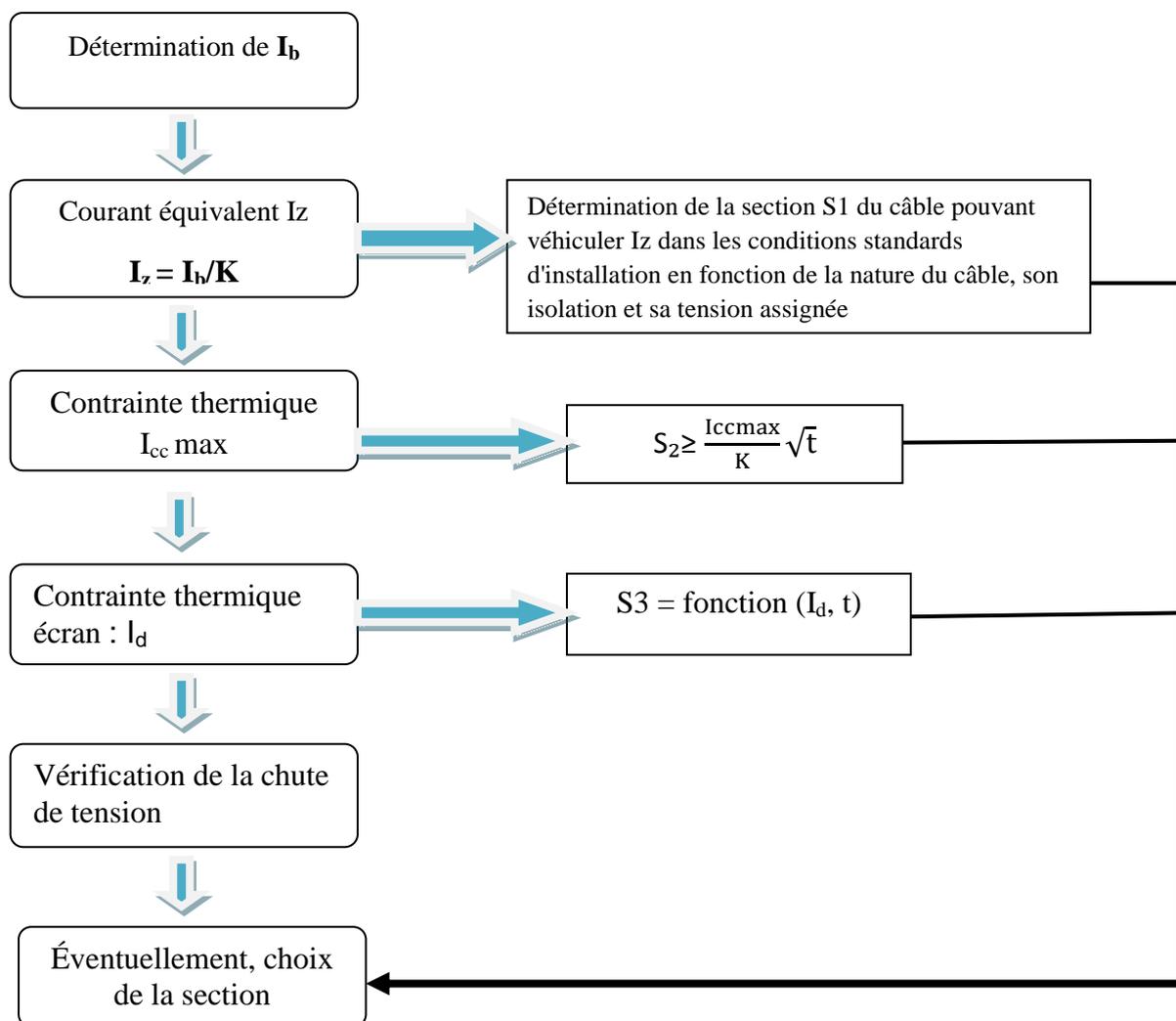


Figure 1.7 : Logigramme de la détermination de la section des canalisations [2]

I.2.2.4.a Courant d'emploi [5]

Courant destiné à être transporté dans un circuit en service normal, qui est en fonction de la charge, le calcul de courant d'emploi est donné par les formules suivantes :

- En courant continu : $I_b = \frac{P}{U}$ (I-3)

- En courant alternatif : $I_b = \frac{S}{U}$ (En monophasé) ; (I-4)

$$I_b = \frac{S}{U\sqrt{3}} \text{ (triphasé)} \quad \text{(I-5)}$$

P : puissance absorbée

S : puissance apparente absorbée (VA)

U : -tension entre les deux conducteurs pour une alimentation monophasée.

- tension entre phases pour une alimentation triphasée.

I.2.2.4.b Courant admissible I'z [5]

Valeur maximale du courant qui peut parcourir en permanence, dans des conditions données, un conducteur, sans que sa température de régime permanent soit supérieure à la valeur spécifiée.

$$I'_z = \frac{I_z}{K} \quad \text{(I-6)}$$

- K : facteur de correction global qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation qui égale au produit des facteurs de correction :

$$K = K_0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6 \quad \text{(I-7)}$$

- I_z : la valeur normalisée du courant nominal I_n que le conducteur peut véhiculer,

(Choisir $I_z \geq I_n$), pour notre cas on prend ($I_n = I_b$)

$$I_n = \frac{S_n}{U_n\sqrt{3}} \quad \text{(I-8)}$$

- I_n : courant nominal de dispositif de protection

Tableau qui représente les différents coefficients de k (page suivante) :

Tableau I.3 : Les différents coefficients de k [2]

K_0	Prendent en compte le mode de pose
K_1	Des températures différentes de 30°C (câble posée à l'aire libre)
K_2	Pour des températures de sole différentes de 20°C (câble enterrés)
K_3	Pour des résistivités thermiques de sole différent 1 Km/W
K_4	Pour groupement de plusieurs canalisations
$K_5^* K_6$	Pour groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles

Connaissant le courant admissible $I'z$ et k ($I'z$ est le courant équivalent au courant véhiculé par la Canalisation : $I'z = Iz/K$) nous allons directement déduire la section S_1 des câble d'un tableau qui regroupe toutes les sections possible pour les différents courants possible ($I'z$). (Tableau 05)

Enfin, pour retenir une section valable, il faut qu'elle assure les conditions suivantes :

- vérification de la tenue des conducteurs à la contrainte thermique en cas de court-circuit et détermination de la section S_2
- Vérification de la contrainte thermique (détermination de la section S_3)
- vérification de la chute de tension maximale (détermination de la section S_4)

I.2.2.4.c Contrainte thermique en cas de court-circuit et détermination de la section S_2

La contrainte thermique des conducteurs actifs doit être vérifiée pour le courant de court-circuit maximal à l'origine du câble, et de prendre en compte les courants de défaut a la terre.

Et pour calculer la contrainte thermique on utilise la méthode des impédances en tenant compte de la participation de l'ensemble des éléments de réseau.

Et pour simplifier la méthode de calcul on suppose que la température de câble avant le court-circuit égale a la température admissible en régime permanent.

Dans ce cas la section de conducteur doit satisfaire la condition suivante :

$$S_2 \geq \frac{I_{cc \max}}{K} \sqrt{t} \quad (I-9)$$

$$I_{cc \max} = \frac{m \cdot c \cdot U_n}{Z_{cc} \sqrt{3}} \quad (I-10)$$

- $I_{cc \max}$: courant de court-circuit maximal

- t : durée du court-circuit
- k : coefficient dont la valeur est donnée dans le tableau
- m : facteur de tension (m = 1,05)
- c : facteur de charge (c = 1,05)

I.2.2.4.d Vérification de la Chute de tension [6]

I.2.2.4.e Calcul par les formules

Le tableau 04 ci-après donne les formules usuelles qui permettent de calculer la chute de tension dans un circuit donné par km de longueur.

Si :

- I_b : courant d'emploi en ampère
- L : longueur du câble en km
- R : résistance linéique d'un conducteur en Ω/km
- S : section en mm^2

$$\text{Pour le cuivre} \quad R = \frac{22.5 * L}{S} \quad (\text{I-11})$$

$$\text{Pour l'aluminium} \quad R = \frac{36 * L}{S} \quad (\text{I-12})$$

La résistivité des conducteurs est prise à température normale de fonctionnement :

Cuivre : $\rho = 22.5 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$;

Aluminium : $\rho = 36 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$;

Remarque :

- φ : déphasage du courant sur la tension dans le circuit considéré ;
généralement :
 - Éclairage : $\cos \varphi = 1$
 - Force motrice :
 - au démarrage : $\cos \varphi = 0,35$
 - en service normal : $\cos \varphi = 0,8$

U_n : tension nominale entre phases

V_n : tension nominale entre phase et neutre

Pour les canalisations préfabriquées, la résistance R et la réactance X sont indiquées par le constructeur.

Tableau I.4: Formule des calcule des chute de tension [6]

Circuit	Chute de tension (ΔU)	
	En volt	en%
Monophasé : phase et neutre	$\Delta U = 2 * I_b (R * \cos \varphi + X * \sin \varphi)$	$\frac{100 \Delta U}{V_n}$
biphasé : deux phases	$\Delta U = 2 * I_b (R * \cos \varphi + X * \sin \varphi)$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
Triphasé équilibré : trois phases (avec ou sans neutre)	$\Delta U = \sqrt{3} * I_b (R * \cos \varphi + X * \sin \varphi)$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$

I.2.2.4.f Méthodes des tableaux simplifiés

Plus simplement, cette méthode donne, avec une bonne approximation, la chute de tension par km de câble en fonction :

- du type d'utilisation: force motrice avec $\cos \phi$ voisin de 0,93 ou éclairage avec $\cos \phi$ voisin de 1,
- du type de câble monophasé ou triphasé.

La chute de tension dans un circuit s'écrit alors :

$$\Delta U = K * I_b * L \tag{I-13}$$

K : donné par le tableau 14 dans l'annexe 1

I_b : Courant d'emploi en ampères,

L : longueur du câble en km.

- La norme française NFC15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs suivant :

Type de l'alimentation	Eclairage	Autre usage (force motrice)
Alimentation par le réseau BT de distribution publique	03%	05%
Alimentation par poste privé HT/BT	06%	08%

Tableau I.5 la chute de tension de basse tension [7]

I.2.2.4.g Choix de la section technique

Après avoir calculé les trois sections (S_1, S_2, S_3) on fait le choix de section maximal entre les trois soit : $S = \max (S_1, S_2, S_3)$

I.2.3 Calculs des courants de court-circuit [8]**I.2.3.1 Définition du courant de court-circuit**

Un court-circuit est un phénomène électrique qui se produit notamment lorsque deux fils électrique sont mis en contact direct, le plus souvent suite à un défaut d'isolation. Il se traduit par une augmentation brusque de l'intensité du Courant qui peut aller jusqu'à provoquer un incendie, en général sa valeur varie de $2I_n$ à $20I_n$

I.2.3.2 Causes d'un court-circuit

- Deux conducteurs de polarités différentes entre en contact
- Il peut être d'origine climatique : absence de parafoudre ou de paratonnerre (surtension atmosphérique)
- Surtension interne appelée aussi surtension de manœuvre
- La tenue de l'isolant, isolants en mauvais état notamment si le système électrique est corrodé, trop vieux ou trop humide

I.2.3.3 Conséquences du défaut de court-circuit

Ils génèrent des dégradations irréversibles du matériel ou des circuits électriques

- ❖ L'apparition des arcs électriques
- ❖ La provocation des électrocutions et des incendies
- ❖ Les efforts électrodynamiques qui mènent à la déformation des jeux de barre et l'arrachement des câbles.

I.2.3.4 Nécessité de calcul des courants de court-circuit

Il existe deux types de courant de court-circuit et la détermination de chaque un d'eux a pour but bien défini :

- a) Le courant maximal de court-circuit qui détermine :
 - ❖ le pouvoir de coupure (PDC) des disjoncteurs,
 - ❖ le pouvoir de fermeture des appareils,
 - ❖ la tenue électrodynamique des canalisations et de l'appareillage.
- b) Le courant minimal de court-circuit correspond à un défaut de court-circuit l'extrémité de la liaison protégée lors d'un défaut biphasé et dans les conditions d'exploitation les moins sévères. Il est indispensable au choix de la courbe de déclenchement des disjoncteurs et des fusibles, en particulier quand :
 - ❖ La longueur des câbles est importante et/ou que la source est relativement impédante (générateurs-onduleurs)

- ❖ La protection des personnes repose sur le fonctionnement des disjoncteurs ou des fusibles, c'est essentiellement le cas avec les schémas de liaison à la terre du neutre TN ou IT.

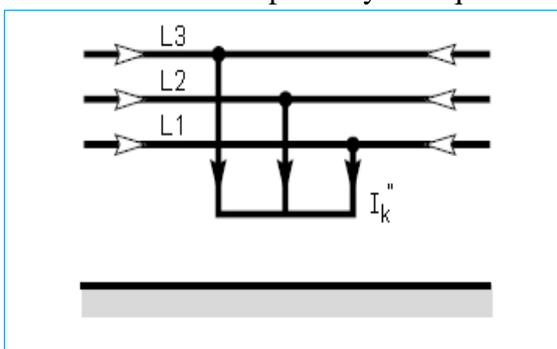
I.2.3.5 Caractéristique des courts-circuits

Ils sont principalement caractérisés par :

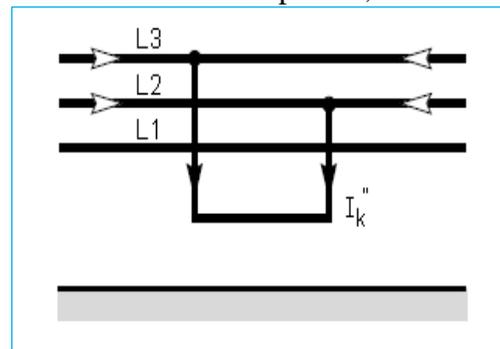
- leurs durées : auto-extincteur, fugitif ou permanent
- leurs origines :
 - ❖ mécaniques (rupture de conducteurs, liaison électrique accidentelle entre deux conducteurs par un corps étranger conducteur tel que outils ou animaux),
 - ❖ surtensions électriques d'origine interne ou atmosphérique,
 - ❖ ou à la suite d'une dégradation de l'isolement, consécutive à la chaleur, l'humidité ou une ambiance corrosive
- leurs localisations : interne ou externe à une machine ou à un tableau électrique.
- Outre ces caractéristiques, les courts-circuits peuvent être :
 - ❖ monophasés : 80 % des cas
 - ❖ biphasés : 15 % des cas. Ces défauts dégènèrent souvent en défauts triphasés
 - ❖ triphasés : 5 % seulement dès l'origine.

I.2.3.6 Les différents schémas électriques d'un court-circuit [9]

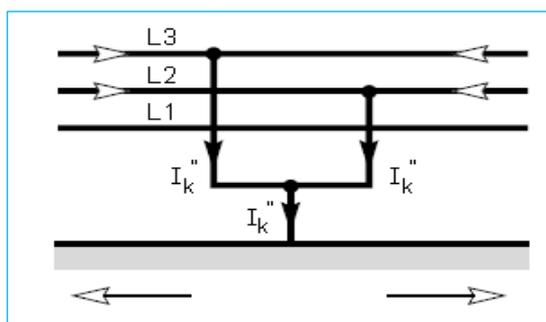
Court-circuit triphasé symétrique



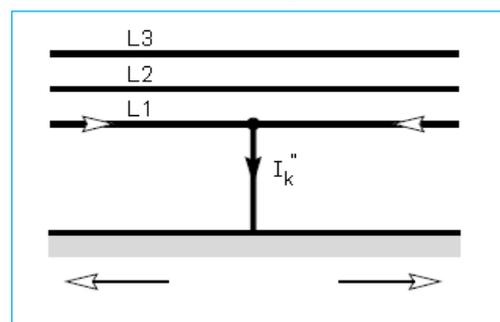
Court-circuit entre phases, isolé



Court-circuit entre phases, avec mise à la terre



Court-circuit phase-terre





Courant de court-circuit,



Courants de court-circuit partiels dans les conducteurs et la terre.

I.2.3.7 Méthodes de calcul des courants de courts-circuits

On ne peut pas étudier ou dimensionner une installation électrique sans passer par le calcul des courants de court-circuit de chaque élément de réseau électrique que ce soit le courant de court-circuit minimal qui se situe à l'extrémité du circuit ou le courant de court-circuit maximal qui est dans l'origine du circuit.

Et pour calculer le courant de court-circuit il existe plusieurs méthodes, celle-ci est de plus en plus précise.

I.2.3.7.a Méthode des impédances

Le calcul de l'intensité de court-circuit se résume alors au calcul de l'impédance Z_{cc} , impédance équivalente à toutes les impédances parcourues par l' I_{cc} du générateur jusqu'au point de défaut de la source et des lignes. C'est en fait l'impédance «directe» par phase :

Pour calculer le courant de court-circuit I_{cc} on applique la formule générale de la méthode des impédances qui est :

$$I_{cc} = \frac{m \cdot c \cdot U_n}{Z_{cc}} \quad (\text{I-14})$$

$$Z_{cc} = \sqrt{R_t^2 + X_t^2} \quad (\text{I-15})$$

$$R_t = \sum_{i=1}^n R_i \quad (\text{I-16})$$

$$X_t = \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{I-17})$$

I_{CC} : Courant maximale de court-circuit

U_n : Tension nominale

Z_{cc} : Impédances parcourues par I_{cc} du générateur jusqu'au point de défaut

R_t : La somme des résistances situées en amont de ce point

X_t : La somme des réactances situées en amont de ce point

c : facteur de charge à vide : - $C_{mac}= 1.05$ (pour les courants maximaux)

- $C_{min}=0.95$ (pour les courants minimaux)

m : facteur de tension = 1,05 selon la norme NF C 15-500

I.2.3.7.b Tableau qui détermine les Résistances et les réactances de chaque partie de l'installation

Tableau I.6. Les éléments de chaque partie de l'installation [7]

Partie de l'installation	Valeurs des résistances	Valeurs des réactances	Valeurs des impédances
Réseau en amont	$R_A = 0.1 * Z_A$	$X_A = 0.995 * Z_A$	$Z_A = \frac{(m * U_n)^2}{S_{cc}}$
Transformateur	$R = \frac{P_{cu} * U_n^2 * 10^{-3}}{S^2}$	$X = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$	$Z_A = \frac{U_{CC} * U_0^2}{100 * S_n}$
Les câbles	$R = \rho * \frac{L}{S}$	$X = 0.08 * L$	$Z_A = \sqrt{R^2 + X^2}$
Jeu de barre	$R = \rho * \frac{L}{S}$	$X = 0.15 * L$	$Z_A = \sqrt{R^2 + X^2}$
Disjoncteurs	négligeable	$X = 0.15 \text{ m}\Omega$	$Z_A = 0.15 \text{ m}\Omega$

I.2.3 Choix des dispositifs de protection [6]

Le rôle de la protection électrique est d'éviter ou de limiter les conséquences destructives et dangereuses des surintensités ou des défauts d'isolement, et pour assurer cette protection on doit protéger l'installation contre :

- ✓ les courants de surcharge : cela correspond à un courant excessif circulant dans une installation saine (sans défaut).
- ✓ les courants de court-circuit, dus, par exemple, à la rupture d'un isolant entre phases ou entre phase et neutre

La protection dans ces deux cas est assurée par un disjoncteur ou un appareillage à fusible installé en amont dans le tableau de distribution.

I.2.4.1 Protection par disjoncteur

I.2.4.1.a Définition de disjoncteur

Un disjoncteur est un appareil de connexion électrique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, ainsi que d'établir, de supporter pendant une durée spécifiée et d'interrompre des courants dans des conditions anormales spécifiées telles que celles du court-circuit ou de la surcharge [10].

I.2.4.1.b Caractéristiques de disjoncteur

- ✓ Tension assignée d'emploi U_n : C'est la tension pour laquelle le disjoncteur a été conçu pour fonctionner dans des conditions normales de performances.
- ✓ Courant assigner I_b : C'est la valeur maximale de courant qu'un disjoncteur équipé d'un déclencheur de protection contre les surintensités spécifié peut conduire indéfiniment pour une température ambiante spécifiée par le constructeur, sans avoir un échauffement excessif (hors de limites spécifiées) des parties conductrices.
- ✓ les courants de réglage I_r : Les disjoncteurs de type industriel sont équipés de déclencheurs interchangeables. De plus, afin d'adapter un disjoncteur aux caractéristiques du circuit qu'il protège, et d'éviter le surdimensionnement des conducteurs, le déclencheur est généralement réglable.
- ✓ le courant de déclanchement I_m : Le rôle des déclencheurs de court-circuit (magnétique ou Court retard) est de provoquer l'ouverture rapide du disjoncteur pour les fortes surintensités. Leur seuil de fonctionnement [10].

I.2.4.1.c Règles de choix [11]

Pour assurer le fonctionnement de disjoncteur il faut vérifier les conditions suivantes :

$$\checkmark \quad I_b \leq I_r \leq I_z \quad (\text{I-18})$$

$$\checkmark \quad I_m \leq 1.45 \times I_z \quad (\text{I-19})$$

$$\checkmark \quad I_m \leq 1.30 \times I_r \quad (\text{I-20})$$

I_b : Courant d'emploi

I_z : Courant admissible

I_r : courant de réglage

I_m : courant de fonctionnement de disjoncteur

- Le pouvoir de coupure doit être supérieur à l'intensité de courant de court-circuit maximale triphasée (I_{cc3}) en son point d'installation.

$$P_{dc} \geq I_{cc3}$$

I.2.4.2 Protection par fusible

I.2.4.2.a Définition de fusible

Le fusible est un élément de faiblesse dans un circuit électrique. S'il y a surintensité c'est là que le circuit doit se couper. Actuellement les fusibles sont en cartouche. La fonction du fusible est d'assurer la protection des circuits électriques contre les courts-circuits et les surcharges par la fusion d'un élément calibré lorsque le courant qui le traverse dépasse la valeur de son calibre [10].

I.2.4.2.b Caractéristique de fusible

- ✓ Courant nominal ou calibre d'une cartouche fusible I_n : C'est le calibre du fusible. Il peut donc traverser le fusible en permanence sans provoquer la fusion ni d'échauffement anormal.
- ✓ Tension nominale d'une cartouche fusible U_n : C'est la tension maximale pour laquelle le fusible peut être utilisé (250, 400, 500 ou 600V). Il existe des fusibles pour la haute tension.
- ✓ Courant de fusion I_f : C'est la valeur spécifiée du courant qui provoque la fusion de la cartouche avant la fin du temps conventionnel.
- ✓ Courant de non fusion I_{nf} : C'est la valeur du courant qui peut être supporté par le fusible pendant un temps conventionnel sans fondre.
- ✓ Pouvoir de coupure d'une cartouche fusible P_{dc} : C'est le courant maximal qu'un fusible peut couper sans que la tension de rétablissement ne provoque un réamorçage de l'arc. Les fusibles possèdent de très hauts pouvoirs de coupure (de 80 à 170 kA) [10].

I.2.4.2.c Choix du fusible industriel

Le choix du fusible s'effectue sur les points suivants :

- La classe : gG ou aM. (gG pour les circuits de distribution ; aM pour les circuits machines).
- Le calibre I .
- La tension d'emploi U (inférieure ou égale à nominale U_n).
- Le pouvoir de coupure P_{dc} .
- La forme du fusible (cylindrique ou à couteaux).
- La taille du fusible [11].

Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté un récapitulatif des étapes à suivre pour le dimensionnement d'une installation industrielle assurant un fonctionnement fiable par un choix judicieux des éléments de l'installation.

Les différentes étapes à suivre à fin d'aboutir à une installation assurant la protection des différentes parties :

- Le dimensionnement du transformateur de l'installation.
- Le choix de la section des câbles de l'installation.
- La vérification de la chute de tension de chaque circuit.
- Le calcul des courants des courts-circuits.
- Le choix des protections nécessaire.

Le prochain chapitre sera dédié pour la description de la chaine d'alimentation d'eau potable de BOUZEGUEN à partir du barrage de TICHY-HAF.

Chapitre 2

Présentation De Projet

Introduction

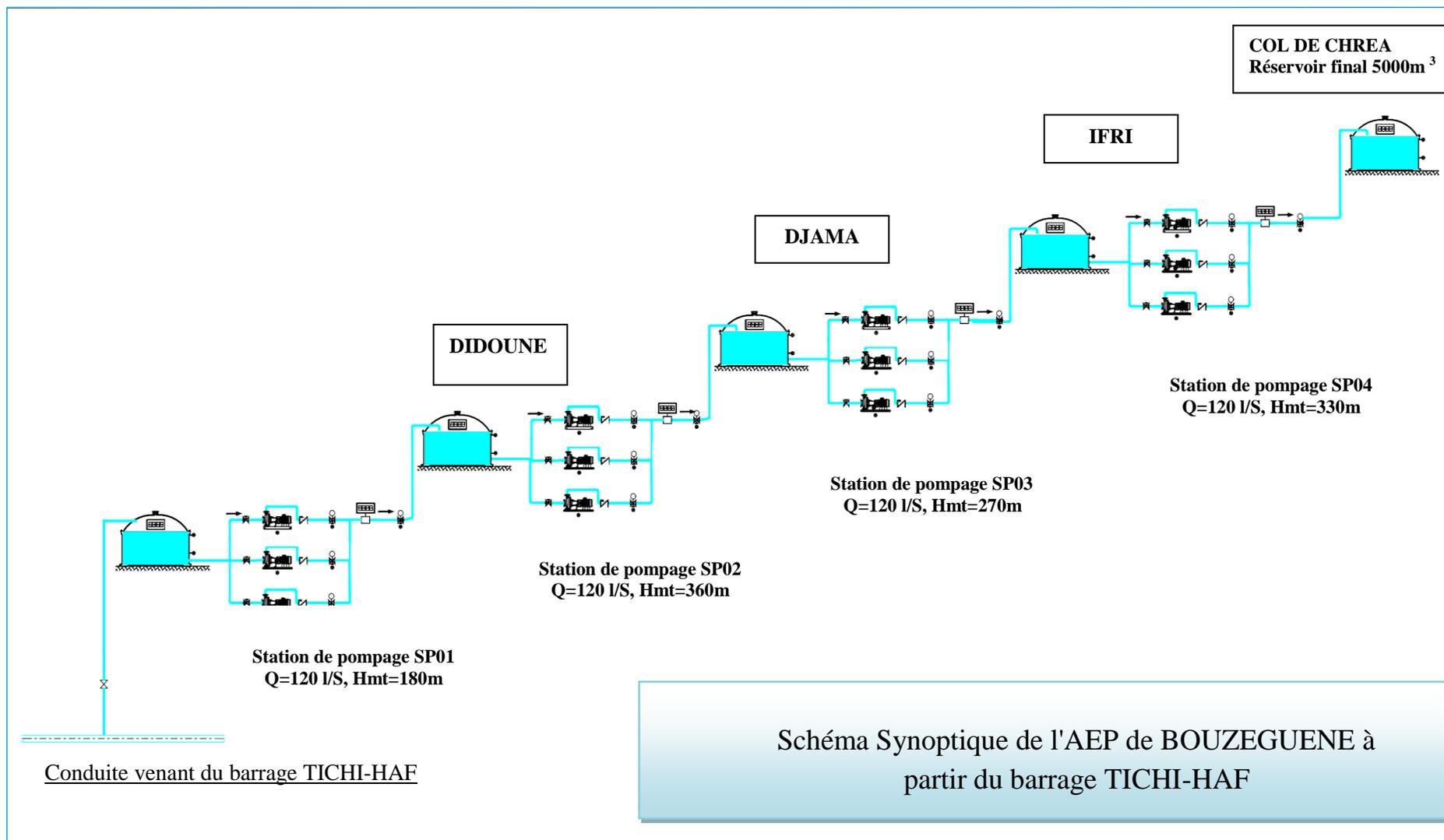
L'Alimentation en Eau Potable (AEP) est le dispositif permettant d'approvisionner les usagers en eau potable. L'AEP représente l'ensemble des équipements, des services et des actions qui permettent la collecte de l'eau brute, le traitement, le stockage, le transport et la livraison. Le réseau d'alimentation en eau potable est l'un des principaux réseaux en ce qui concerne l'importance de produire une eau conforme aux normes de potabilité en vigueur, distribuée ensuite aux consommateurs.

II.1 Description Et Constitution De La Chaîne De Refoulement De L'AEP De BOUZEGUENE A Partir De Barrage TICHY-HAF**II.1.1 Description du schéma d'adduction**

Le point de départ de la chaîne d'adduction de notre projet, est le point de piquage sur la conduite d'adduction principale venant de barrage TICHY HAF. L'eau s'écoulera par gravité avec un débit de 120 l/s jusqu'à la station de pompage SP01 situé à une hauteur manométrique de 180 mètres. Ensuite refoulé vers la deuxième station SP02 (DIDOUNE) situé à une Hmt de 360 m avec un débit 120 l/s.

L'eau est refoulée vers la station de pompage SP03 (DJAMA) situé à une Hmt de 270 m avec un débit de 120 l/s avant d'être dirigée vers la quatrième station SP04(IFRI) situé à une Hmt de 330 m, enfin vers le réservoir final (COL DE CHREA) avec une capacité de 5000 m³.

Le schéma synoptique suivant représente l'AEP de BOUZEGUENE à partir du barrage TICHY-HAF



II.1.2 Description des principaux composants de la chaîne d'AEP

La chaîne d'A.E.P se compose principalement d'adduction de l'eau, de réservoirs, et de station de pompage [12].

II.2.1.1 Adduction

L'adduction regroupe les techniques permettant d'amener l'eau depuis sa source à travers un système de conduites, d'ouvrages architecturaux ou d'aqueduc vers les réservoirs de stockage ou de distribution.

II.2.1.2 Type d'adduction

a) Adduction gravitaire

L'écoulement de l'eau à des pressions importantes est causé par la différence des niveaux hydrauliques. L'altitude de la source est supérieure à l'altitude du point de consommation et se déplace grâce à la force de gravitation, d'où son nom [12].

b) Adduction par refoulement

Contrairement au premier type, l'adduction est dite par refoulement si le point de captage se situe à un niveau inférieur de celui du réservoir d'accueil. Dans ce cas, le transfert est assuré par des pompes jusqu'au réservoir.

c) Adduction mixte

Lorsqu'un réservoir d'accumulation intermédiaire reçoit en premier temps une eau par refoulement et que dans un deuxième temps, cette eau est évacuée par gravité jusqu'à un réservoir situé plus bas, on parle ici d'adduction mixte.

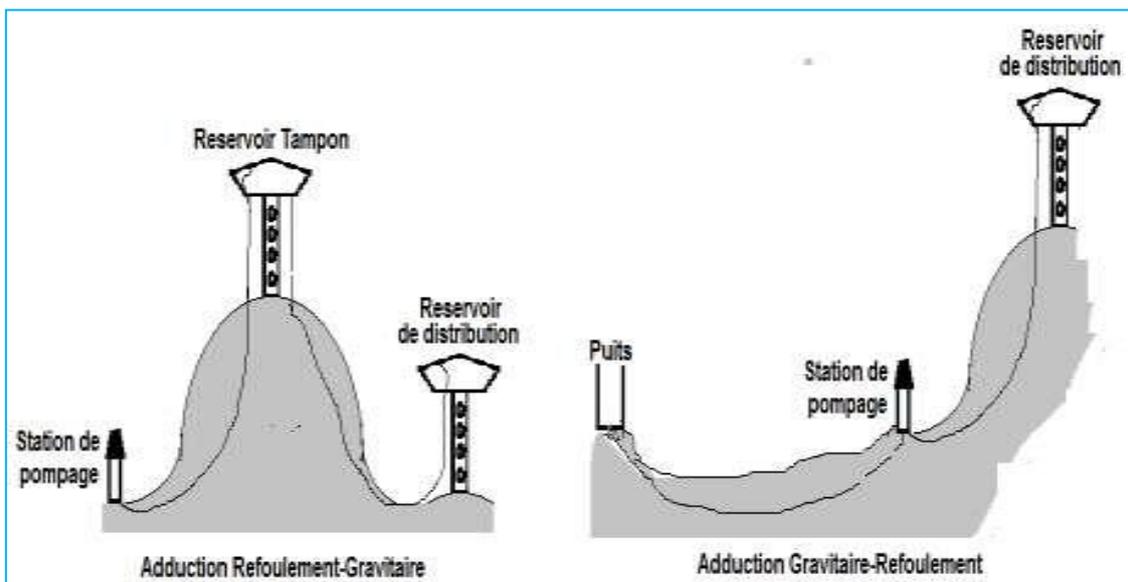


Figure II.2 : Schéma d'une adduction mixte.

Pour l'alimentation en eau potable de la commune de BOUZEGUENE à partir du barrage de TICHY-HAF, nous allons avoir recours à une adduction gravitaire et une adduction par refoulement. Il est nécessaire de combiner les systèmes d'adduction d'une façon à avoir un système performant et peu coûteux.

On distingue deux types différents : Description de la chaîne d'AEP

❖ **Adduction refoulement-gravitaire**

La station de pompage refoule vers le réservoir tampon et l'écoulement se fait par gravitation vers le réservoir de distribution.

❖ **Adduction gravitaire-refoulement**

L'écoulement se fait par gravité vers la station de pompage et par refoulement vers le réservoir de distribution.

II.1.3 Equipements de l'adduction [13]

➤ **Robinet vanne**

Ce sont des appareils de sectionnement, fonctionnant soit en ouverture totale ou en fermeture totale, permettant l'isolement d'une partie d'adduction en cas de travaux de répartition ou autres. Parmi les vannes existantes, on distingue :

➤ **Robinets-vanne à opercule**

Pour des diamètres allant de 40 à 300 mm, La vanne à opercule se compose d'une sorte de lentille épaisse qui s'abaisse ou s'élève verticalement à l'aide d'une vis tournant dans un écrou fixé à la vanne.



Figure II.3 : Vanne opercule

➤ **Vannes papillons**

Les vannes papillons sont des composants utilisées soit pour le réglage de débit, soit comme sectionneur. L'encombrement de ce genre de vanne est faible.

Il s'agit d'un élément de conduite traversé par un axe déporté, entraînant en rotation un disque obturateur appelé papillon. Les diamètres les plus importants sont de 100mm à 2500 mm parfois plus.



Figure II.4 : Vanne papillon automatisée

➤ **Robinet de vidange**

L'eau qui émerge de terre, parfois avec une certaine vitesse, entraîne dans ses turbulences des corps inertes de poussière, de sable ou de petits cailloux qui vont venir se déposer dans les points bas des adductions. Ces robinets placés aux points le plus bas de la canalisation permettent la vidange de temps à autre de la conduite, permettra de vider l'adduction en entraînant ainsi l'ensemble des dépôts qui obstrue les tuyaux. Ces robinets doivent être facilement accessibles.

➤ **Ventouse**

Un phénomène de turbulence allié à celui des augmentations et des baisses de pressions que subit l'eau dans les tuyaux va, par moments, charger l'eau en gaz et à d'autre moment va libérer ce gaz du liquide. Ce gaz, en s'accumulant dans les points hauts de l'adduction où il va rester captif malgré lui, provoquera des bouchons qui vont réduire ou même stopper la circulation de l'eau.



Figure II.5 : Ventouse

La purge ou la ventouse placée aux points hauts de la canalisation permettent l'évacuation de ces gaz vers l'extérieur pour rétablir un débit normal. Les points hauts sont donc nécessaires sur une adduction. Il est recommandé de les marquer, de les renforcer parfois quand la pente est trop peu prononcée. Les sous-pressions sont souvent plus dévastatrices que les surpressions.

Si l'on ne prévoit pas d'entrée d'air lorsque l'on vide les tuyaux, cela engendre le phénomène de vacuum qui engendre des déformations et dégradations importantes des tuyaux.

➤ **Clapets anti-retour**

Ils sont destinés à empêcher le retour du fluide dans la direction inverse de l'écoulement. Ils sont surtout utilisés dans les stations de pompage au point bas des canalisations d'aspiration (désamorçage) ou sur la conduite de refoulement (arrêt de la colonne d'eau).



Figure II.6 : Clapet anti retour

➤ **Les crépines**

Ce sont des appareils en forme de panier percé de trous, placés à l'extrémité des canalisations d'aspiration, afin d'empêcher l'introduction de corps étrangers dans la pompe.

II.1.4 Réservoirs

Avant d'être distribuée, l'eau est stockée dans des réservoirs aux châteaux d'eau. Ces derniers contribuent à améliorer les conditions de distribution de l'eau et à en sécuriser l'alimentation. Ce sont des ouvrages hydrotechniques très importants qui doivent présenter certains impératifs, à savoir, la résistance, l'étanchéité et la durabilité. C'est aussi une réserve qui garantit l'autonomie en cas d'incident sur le réseau d'eau potable.

II.1.4.1 Réservoir de stockage

Des divers réservoirs sont prévus pour chaque station de pompage.

II.1.4.1.a Station de pompage (SP01)

La station de pompage(SP1) est munie d'un réservoir semi enterré standard de capacité de 1000 m³ en béton armé équipé d'une chambre de vannes.

II.1.4.1.b Station de pompage (SP02)

La station de pompage(SP2) situé à DIDOUNE, est munie d'un réservoir semi enterré standard de capacité de 1000 m³ en béton armé équipé d'une chambre de vannes.

II.1.4.1.c Station de pompage (SP03)

La station de pompage(SP3) situé à DJAMA, est munie d'un réservoir semi enterré standard de capacité de 1000 m³ en béton armé équipé d'une chambre de vannes.

II.1.4.1.d Station de pompage (SP04)

La station de pompage(SP4) situé à IRFI, est munie d'un réservoir semi enterré standard de capacité de 1000 m³ en béton armé équipé d'une chambre de vannes.

II.1.4.2 Equipement du réservoir [14]

Tous les réservoirs semi enterrés sont à peu près constitués des mêmes éléments qui sont :

❖ Chambre de visite

Appelée également chambre sèche ou chambre de vannes, c'est la partie du réservoir où les agents peuvent faire des prélèvements d'eau, contrôler les compteurs généraux ou inspecter le niveau du réservoir. Pour des raisons d'hygiène et de sécurité, il est impératif de rester dans cette partie du réservoir pour ne pas contaminer l'eau stockée. La chambre de visite contient tous les appareils hydrauliques nécessaires au bon fonctionnement du réservoir à savoir le compteur d'eau, les vannes de sectionnement, la ventouse automatique, le réducteur de pression, etc....

La vidange de la réserve se fait également au niveau de la chambre de visite dans un puisard prévu à cet effet. Ce puisard permet aussi d'évacuer l'eau nécessaire au nettoyage de la chambre de visite. C'est aussi dans la chambre de visite qu'arrive et parte les conduites d'arrivée et de départ d'eau.

C'est également en haut de la chambre de visite que se trouvent les aérations permettant d'assécher l'air du réservoir et d'éviter ainsi la condensation sur les murs.



Figure II.7: Chambre de visite du réservoir

❖ Conduite d'arrivée d'eau

Cette conduite provient soit d'un captage, on dit alors qu'il s'agit d'une conduite d'adduction d'eau, soit d'un autre réservoir. Elle est généralement d'un plus gros diamètre que la conduite de départ d'eau et monte jusqu'au sommet de la réserve pour l'alimenter en eau.

Dans un réservoir, la réserve est toujours remplie par le haut, l'eau tombe dans le réservoir. Cette canalisation est facile à reconnaître car elle est le plus souvent équipée d'une boîte à boue, d'un réducteur de pression et d'une vanne de sectionnement. Il n'y a généralement pas de compteur sur la conduite d'arrivée d'eau. Il peut y avoir plusieurs conduites d'arrivée d'eau dans un réservoir.

❖ Conduite de départ d'eau

L'eau part en distribution par cette conduite, contrairement à la conduite d'arrivée d'eau qui monte au sommet de la réserve, la conduite de départ d'eau part du fond de la réserve. Elle est toujours équipée d'un compteur divisionnaire afin de connaître la consommation des abonnés. La plupart du temps, elle est également équipée d'une ventouse automatique pour faire échapper l'air emprisonné dans la canalisation. Elle est évidemment équipée d'une vanne de sectionnement pour interrompre la distribution d'eau en cas de problème. A noter qu'il existe une conduite, appelée conduite de by-pass, entre la conduite d'arrivée et la conduite de départ d'eau, équipée généralement de deux vannes et d'un réducteur de pression, qui permet d'alimenter la conduite de départ d'eau par la conduite d'arrivée sans passer par la réserve, ce qui est très utile lors du nettoyage de la réserve pour vider cette dernière sans interrompre la distribution d'eau. Il peut y avoir plusieurs conduites de départ d'eau dans un réservoir suivant les besoins.

❖ Compteur

Il y a systématiquement un compteur divisionnaire, appelé également compteur général ou compteur de sectorisation sur la conduite de départ d'eau pour connaître la consommation des abonnés. Avec les techniques actuelles, ce compteur est généralement équipé de la télégestion ce qui permet d'en lire l'index depuis un ordinateur situé dans les locaux administratifs. En revanche, il n'y a pas obligatoirement un compteur sur la canalisation d'arrivée d'eau.

❖ Plusieurs vannes

Ces vannes permettent d'interrompre l'arrivée de l'eau dans le réservoir ou le départ de l'eau en distribution. S'il y a une conduite de by-pass, d'autres vannes s'ajoutent pour ouvrir ou

fermer le by-pass. En général, on ajoute également des vannes de part et d'autre des appareils hydrauliques.

Enfin, il y a une vanne permettant de vidanger le réservoir située au-dessus du puisard.

❖ **Boîte à boue**

Appelé aussi filtre horizontal, cet appareil hydraulique est utilisé dans le cas où l'eau d'arrivée provient d'un captage (on parle alors d'adduction d'eau). Il s'agit en fait d'un filtre en inox dans un corps en fonte. La boîte à boue est toujours placée avant le compteur divisionnaire et les appareils de régulation ou de pompage. Elle permet de retenir d'éventuels débris qui seraient restés dans l'eau captée et ainsi de protéger le compteur situé en aval. Il s'agit d'un dégrillage sommaire de l'eau. La cartouche filtrante de la boîte à boue doit être régulièrement nettoyée. Le schéma suivant vous explique comment est construite une boîte à boue.

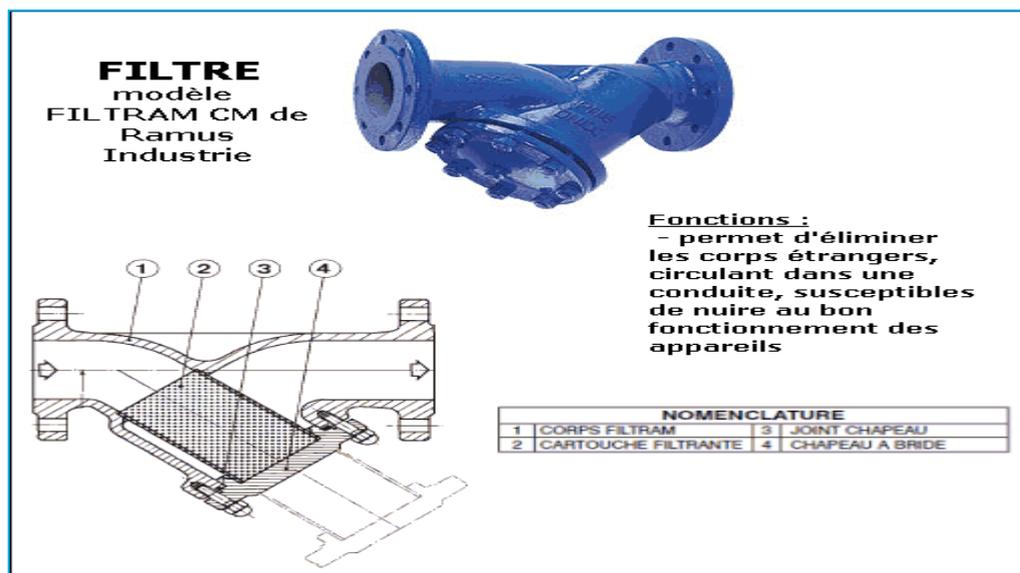


Figure II.8 : Principe de fonctionnement d'une boîte à boue

❖ **Régulateur de pression**

En arrivant dans le réservoir, l'eau peut provenir soit d'un captage soit d'un autre réservoir situé plusieurs dizaines de mètres au-dessus de l'ouvrage. Cette eau acquiert donc une pression telle qu'elle peut endommager les différents appareils hydrauliques comme les compteurs ou les boîtes à boue. Il faut donc pour cela atténuer la "force" de l'eau en réduisant sa pression. Pour cela, un régulateur de pression (appelé aussi réducteur ou stabilisateur de pression) est composé d'une membrane et d'un gros ressort qui vont "appuyer" sur l'eau pour la freiner. Ce genre d'appareil est réglable et permet de maîtriser la pression de l'eau en amont et en aval du réducteur de pression.

❖ **Réserve d'eau**

Que serait un réservoir sans sa réserve! La réserve est l'autre partie du réservoir bien distincte de la chambre de visite, c'est elle qui contient l'eau. Cette dernière arrive par le haut de la réserve, apportée par la conduite d'arrivée. Elle passe par un robinet fermé par un flotteur. Au fond de la réserve se trouve la vidange et la canalisation de départ en distribution dont l'extrémité est équipée d'une crépine. La majorité des réservoirs de plus de 100 m³ de capacité sont équipés d'une cheminée d'aération à leur sommet afin d'éviter tout phénomène de condensat.

❖ **Aération**

Pour éviter la condensation de l'eau sur les parois du réservoir, ce qui aurait pour conséquence la dégradation du béton, les réservoirs sont équipés d'aération. Ils sont d'abord équipés de grilles d'aération situées en haut de la chambre de visite. Ces trous dans les murs sont protégés par des grilles moustiquaires à mailles très fines pour éviter la pénétration des petits insectes. Enfin, les plus gros réservoirs sont dotés d'une cheminée d'aération au sommet de leur réserve afin d'assécher l'air ambiant de l'ouvrage.

❖ **Accès**

L'accès est garanti soit par un capot en fonte pour les plus petits réservoirs, soit par une porte métallique pour les plus grands ouvrages. Ces deux éléments doivent être étanchéifiés par des joints pour éviter toutes intrusions d'insectes.

❖ **Vidange**

Pour nettoyer le réservoir et sa réserve il faut au préalable vider le contenu de l'ouvrage. Pour cela, une vanne située dans la chambre de visite et au pied de la réserve permet de vider cette dernière. Comme un siphon au fond d'un évier, un trou au fond de la réserve permet d'évacuer cette eau. Le sol de la réserve est fait de telle manière que l'eau s'écoule naturellement vers cette vidange.

❖ **Trop-plein**

Il peut arriver que le réservoir déborde lorsque ce dernier reçoit plus d'eau qu'il n'en distribue ou que le robinet de fermeture ne soit pas assez obturé. Pour éviter que l'eau ne passe par dessus le mur de la réserve et ne se retrouve dans la chambre de visite, l'ouvrage est muni d'un trop-plein. Il s'agit d'un tuyau en fonte d'assez large section qui longe la paroi interne de la réserve. La hauteur de ce tuyau est légèrement inférieur de quelques centimètres à la hauteur de la réserve ce qui fait que lorsque l'eau monte trop haut dans l'ouvrage elle se verse dans le tuyau de trop-plein. L'eau est ensuite dégagée par le puisard de la chambre de visite et évacuée en dehors du captage.

❖ **Crépine**

La crépine est fixée à l'entrée de la canalisation qui part de la réserve pour alimenter les consommateurs. Elle est installée à l'intérieur de la réserve. Il s'agit d'une pièce en plastique, parfois en aluminium, qui a pour but d'arrêter d'éventuels débris, comme des brindilles par exemple, avant qu'ils n'entrent dans la canalisation. La crépine est une sorte de gros filtre qui effectue un dégrillage sommaire sur l'eau.

❖ **Clapet anti-retour en sortie de vidange**

Toujours pour empêcher l'intrusion d'insectes ou de petits animaux dans le réservoir, la sortie de la vidange située à l'extérieur du réservoir doit être équipée d'un clapet anti-retour muni d'un joint en caoutchouc. Cette sortie permet d'évacuer l'eau du réservoir lorsque celui-ci est vidangé ou lorsque l'eau déborde par le trop-plein ou lorsque l'on nettoie la chambre de visite et que l'eau s'évacue par le puisard. Ces petits clapets sont malheureusement difficiles à trouver dans le commerce.

II.1.5 Station de pompage

Une station de pompage est un système hydromécanique destiné à pomper l'eau potable d'un niveau géographique bas à un niveau plus haut. On distingue dans une station de pompage :

Un poste de transformation, une salle des machines abritant, les trois (03) groupes de pompage, une armoire qui abrite la partie puissance et commande ainsi que l'automate, qui assure le fonctionnement automatique & la télégestion du site, un conduit de raccordement de protection, un réservoir, des accessoires divers (vanne, clapets, ...) [14].

II.1.5.1 Identification des éléments de la station

Les quatre (04) stations équipent des mêmes éléments :

II.1.5.1.a Armoires de commande électrique

La station comprend :

Trois armoires de commande et de protection où chaque groupe électropompe est raccordé à une armoire de commande et de protection.



Figure II.9 : Vue des armoires de commande

II.1.5.1.b Pupitre de commande

Il contient des voyants (marche / arrêt / défaut, etc.) et des boutons (marche /arrêt / arrêt d'urgence) et les commutateurs de mode (automatique /manuel).



Figure II.10 : Vue de pupitre de commande

II.1.5.2 Identification des actionneurs d'une station

II.1.5.2.a Moteurs électriques

Les moteurs électriques assurent la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique, ils se trouvent de nos jours, à l'exception des dispositifs d'éclairage, les récepteurs les plus utilisés dans les industries et les installations tertiaires.

Les trois moteurs existants dans la station assurent l'entraînement des pompes.

II.1.5.2.b Pompes

Evidemment, les pompes sont les principaux éléments dans une station de pompage, leurs rôles consistent à refouler une quantité d'eau d'un niveau bas à un niveau haut. C'est pour cela qu'une pompe se compose d'une partie aspiration et d'une partie refoulement.

Le débit, la pression, la hauteur, le rendement et la puissance sont des caractéristiques qui font la différence entre les pompes [15].

a) Différents types des pompes

Les pompes sont divisées en deux classes principales selon le mode de fonctionnement où on distingue [16] :

❖ Pompes volumétriques

Le déplacement du fluide à l'intérieur de la pompe se fait par variation de volume. On peut distinguer les pompes alternatives et les pompes rotatives (vis d'Archimède) [16].

❖ Turbos pompes

Elles sont les plus utilisées dans les projets d'alimentation en eau potable, on peut citer les pompes centrifuges (monocellulaire et multicellulaire), les pompes à hélice et les pompes hélico-centrifuges [16].

b) Choix du type de la pompe

Le choix du type de pompe à installer se base sur la connaissance de deux éléments à savoir, le débit à refouler (Q) et la hauteur manométrique totale (HMT).

Pour assurer un rendement maximum (η), les pompes centrifuges a axe horizontal sont les mieux adapté, et ce pour les avantages suivants : [17]

- ❖ Elles constituent des groupes légers peu encombrants ;
- ❖ Elles assurent le refoulement des débits importants à des hauteurs considérables ;
- ❖ Elles sont susceptibles de travailler dans des conditions maximum de rendement élevé.

II.1.5.2.c Vannes

Une vanne est un dispositif destiné à contrôler le débit d'un fluide liquide, gazeux, pulvérulent ou multiphasique, en milieu libre (canal) ou en milieu fermé (canalisation) [18].

a) Choix de la vanne

Le choix de la technologie de la vanne est effectué selon de nombreux critères à savoir, la nature du fluide traité, l'agressivité mécanique et/ou chimique du fluide, la température de fonctionnement, la pression du fluide en amont et en aval, les dispositifs anti cavitation d'une part, et d'autre part en tenant compte des dispositifs limitant le bruit, du niveau d'étanchéité souhaité entre siège et clapet.

D'autres paramètres encore entre en jeu tel que le sens de circulation du fluide c'est à dire en un seul sens ou deux, ainsi que la force ou le moment à développer pour mouvoir le clapet, le poids, l'encombrement, la manière de les raccorder aux conduites et enfin la souplesse dans la maintenance et évidemment, le coût.

Trois types de vannes sont utilisés dans la station selon leurs fonctions à savoir:

➤ **Vannes manuelles**

On distingue des vannes avec bras et des vannes avec robinet où leur commande, est effectuée manuellement.



Figure II.11 : Vanne avec bras

➤ **Vannes pneumatiques Tout Ou Rien (TOR)**

Ces vannes sont utilisées pour contrôler le débit des fluides en tout ou rien. Elle exécute une action discontinue qui prend deux positions ou deux états 0 et 1 (ou 0 et 100%), c'est-à-dire ouverte ou fermée [18].



Figure II.12 : Vanne pneumatique

➤ **Vanne anti-retour**

La vanne anti-retour est un dispositif qui permet le contrôle du sens de circulation d'un fluide quelconque, c'est-à-dire il permet le passage d'un liquide, d'un gaz, d'air comprimé, ... dans un sens et bloque le flux si celui-ci venait à s'inverser.



Figure II.13 : Vannes anti-retour

II.1.5.2.d Les événements

L'évent est une soupape d'échappement située à la partie supérieure du filtre pour l'évacuation de secours.

II.1.5.3 Identification des instruments de la station [20, 21].

L'installation est équipée d'un ensemble d'instruments qui jouent un rôle très important dans le fonctionnement, on trouve entre autre :

➤ **Débitmètre**

De manière générale les débitmètres sont utilisés pour la mesure du débit de vapeur, de gaz ou de liquide. Mais aussi dans la régulation et le dosage.



Figure II.14 : Débitmètre

➤ **Indicateur de pression**

Les indicateurs de pression sont employés pour la mesure de pression des liquides et de gaz dans le cas où ces derniers ne sont pas fortement visqueux ou cristallisés.



Figure II.15 : Indicateur de pression

➤ **Indicateur et transmetteur de pression**

Ces capteurs sont employés pour la mesure et la transmission de pression. L'élément de bourdon rétréci sous pression, son mouvement est converti par un capteur inductif en signal électrique. Les transmetteurs de pression conviennent à tous les liquides et les gaz qui ne sont pas fortement visqueux, et sont appropriés aux médias et en atmosphères corrosives.

➤ **Transmetteur de pression**

Les transmetteurs de pression sont employés pour mesurer la pression d'un liquide ou d'un gaz, elles incorporent une jauge de contrainte d'une couche épaisse comme moyen de mesure. La pression est convertit en un signal électrique.



Figure II.17 : Transmetteur de pression

Conclusion

La présentation du site géographique de ces stations d'AEP de BOUZEGUENE permet de se placer dans le contexte de ce projet pour faciliter l'étude et la compréhension du schéma d'adduction de cette chaine de refoulement.

La connaissance du fonctionnement du matériel utilisé dans cette chaine est indispensable pour pouvoir effectuer les dimensionnements nécessaires pour les différents éléments.

Après avoir présenté notre projet et décrire la constitution de cette chaine d'AEP, maintenant nous allons passer au l'élaboration/ proposition d'une structure générale au réseau électrique d'installation de ces stations, c'est ce qui fera l'objet du prochain chapitre.

Chapitre 3

Bilan de puissance

Introduction

Dans ce chapitre nous allons dimensionner chaque une des quatre stations de pompage, et cela ne peut pas se faire seulement qu'après avoir proposé une structure générale au réseau électrique concerné de cette étude (schéma unifilaire).

Après avoir proposée un schéma unifilaire à notre installation en peut commencer le dimensionnement de TGBT (tableau général basse tension) et pour cela en doit suivre les étapes suivantes :

- ❖ Faire un bilan de puissance, on calculant la puissance hydraulique, la puissance mécanique.
- ❖ On calculant la Puissance électrique nécessaire pour que le moteur fonctionne.
- ❖ On déduire la valeur normalisée de moteur électrique.
- ❖ On calculant la puissance consommé par chaque charge alimenté par le TGBT.
- ❖ Après avoir faire le bilan de puissance on peu choisir le transformateur qui alimente chaque station.
- ❖ Calculer les courants d'emploi.

III.1 Schéma unifilaire d'une station de pompage

Le schéma électrique résume le réseau d'alimentation, la représentation par un seul fil avec l'inscription du nom de différents instruments exploités, facilite la lecture et la compréhension du schéma.

Le schéma unifilaire de l'installation est représenté dans la figure III .1 dans la page suivante.

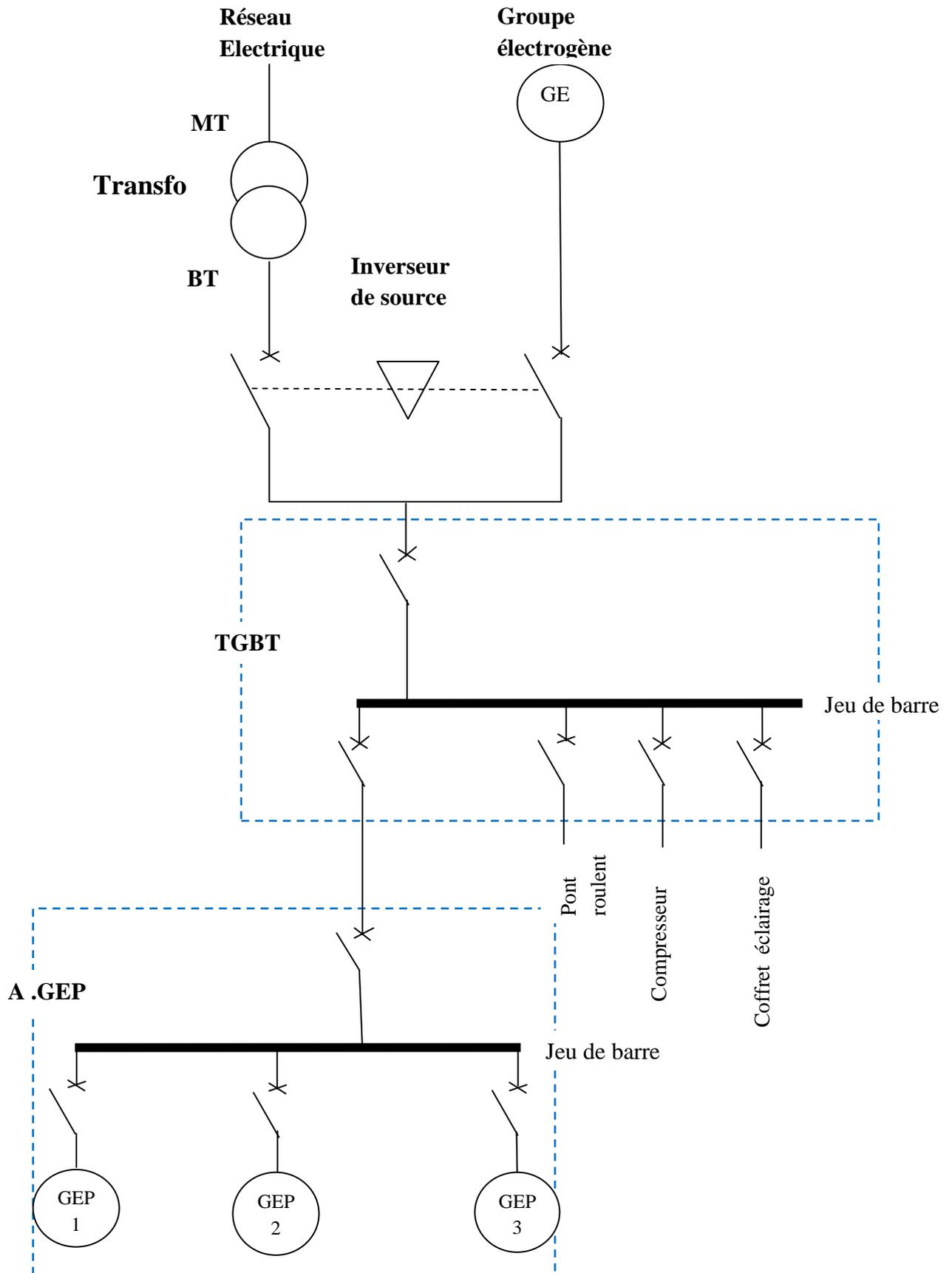


Figure III.1 : Schéma unifilaire d'une station de pompage

III.2 Dimensionnement des différents éléments de chaque station de pompage

Nous allons dimensionner les différents éléments de chaque station de pompage de notre chaîne d'alimentation d'eau potable, comme suit :

Sachant que la masse volumique d'eau $\rho = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$, la gravité $g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

1^{ère} station :

- Réservoir $V = 1000 \text{ [m}^3\text{]}$,
- Un débit de $Q = 60 \text{ [l/s]}$,
- Une hauteur manométrique de $H = 180 \text{ [m]}$,
- Rendements : $\eta_{\text{pompe}} = 0,75$ $\eta_{\text{moteur}} = 0,94$.

Tableau III.1 : Calculs de puissance électrique nécessaire pour SP01.

/	Expressions	Résultat
Puissance hydraulique	$P_{\text{hyd}} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$	105,948 kW
Puissance mécanique requise par la pompe	$P_{\text{mec}} = \frac{P_{\text{hyd}}}{\eta_{\text{pompe}}}$	141,264 kW
Puissance électrique nécessaire pour que le moteur fonctionne	$P_{\text{elec}} = \frac{P_{\text{mec}}}{\eta_{\text{moteur}}}$	150,280 kW

2^{ème} station :

- Réservoir $V = 1000 \text{ [m}^3\text{]}$,
- Un débit de $Q = 60 \text{ [l/s]}$,
- Une hauteur manométrique de $H = 360 \text{ [m]}$,
- Rendements : $\eta_{\text{pompe}} = 0,75$, $\eta_{\text{moteur}} = 0,95$.

Tableau III.2 : Calculs de puissance électrique nécessaire pour SP02.

/	Expressions	Résultat
Puissance hydraulique	$P_{\text{hyd}} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$	211,896 kW
Puissance mécanique requise par la pompe	$P_{\text{mec}} = \frac{P_{\text{hyd}}}{\eta_{\text{moteur}}}$	282,528 kW
Puissance électrique nécessaire pour que le moteur fonctionne	$P_{\text{elec}} = \frac{P_{\text{mec}}}{\eta_{\text{moteur}}}$	297,398 kW

3^{ème} station :

- Réservoir $V = 1000 \text{ [m}^3\text{]}$,
- Un débit de $Q = 60 \text{ [l/s]}$,
- Une hauteur manométrique de $H=270 \text{ [m]}$,
- Rendements : $\eta_{\text{pompe}} = 0,75$, $\eta_{\text{moteur}} = 0,95$.

Tableau III. 3 : Calculs de puissance électrique nécessaire pour SP03.

/	Expressions	Résultat
Puissance hydraulique	$P_{\text{hyd}} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$	158,922 kW
Puissance mécanique requise par la pompe	$P_{\text{mec}} = \frac{P_{\text{hyd}}}{\eta_{\text{pompe}}}$	211,896 kW
Puissance électrique nécessaire pour que le moteur fonctionne	$P_{\text{elec}} = \frac{P_{\text{mec}}}{\eta_{\text{moteur}}}$	223,048 kW

4^{ème} station :

- Réservoir $V=1000 \text{ [m}^3\text{]}$,
- Un débit de $Q= 60 \text{ [l/s]}$,
- Une hauteur manométrique de $H=330 \text{ [m]}$,
- Rendements : $\eta_{\text{pompe}}=0,75$, $\eta_{\text{moteur}}=0,95$.

Tableau III.4 : Calculs de puissance électrique nécessaire pour SP04.

/	Expressions	Résultat
Puissance hydraulique	$P_{\text{hyd}} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$	194,238 kW
Puissance mécanique requise par la pompe	$P_{\text{mec}} = \frac{P_{\text{hyd}}}{\eta_{\text{pompe}}}$	258,984 kW
Puissance électrique nécessaire pour que le moteur fonctionne	$P_{\text{elec}} = \frac{P_{\text{mec}}}{\eta_{\text{moteur}}}$	272,615 kW

III.2.1 Bilan de puissance de chaque station de pompage

Selon le théorème de Boucherot, un bilan des puissances est résumé comme suit :

Tableau III.5 : Le bilan de puissance de la 1^{ère} station

Equipement	Cos (φ)	P _n (kW)	U _n (V)	η	I (A)	Q _n (kVAR)	S _n (kVA)	P _{abs} (kW)	K _u	P _{utile} (kW)	Tng(φ)	Q _{utile} (kVAR)	S (kVA)	I _b (A)
Pompe 1	0.92	160	400	0.94	251,021	67,825	173,912	170,212	0,75	127,659	0,42	53,617	138,461	199,851
Pompe 2	0.92	160	400	0.94	251,021	67,825	173,912	170,212	0,75	127,659	0,42	53,617	138,461	199,851
Pompe 3	0.92	160	400	0.94	251,021	67,825	173,912	170,212	0,75	127,659	0,42	53,617	138,461	199,851
éclairage	0.85	20	400	1	33,961	12,235	23,528	20	1	20	0,61	12,2	23,427	33,814
compresseur	0.85	11	400	0,91	18,678	6,729	12,940	12,08	1	12,08	0,61	7,37	14,15	20,42
Pont roulant	0.85	5	400	0.90	8,490	3,058	5,582	5,55	1	5,55	0,61	3,05	5,856	8,452

Totaux

	P _{utile} (kW)	Q _{utile} (kVAR)	S (kVA)	I _b (A)	K _e	K _s
Total	420,6	183,471	458,874	662,327	1,2	0,9

La puissance apparente consommé : $S_{cons} = S * K_e * K_s = 495,584$ kVA

Courant d'emploi : 794,793 A

Tableau III.6 : Le bilan de puissance de la 2^{ème} station

Equipement	Cos (ϕ)	P _n (kW)	U _n (V)	η	I (A)	Q _n (kVAR)	S _n (kVA)	P _{abs} (kW)	K _u	P _{utile} (kW)	Tng(ϕ)	Q _{utile} (kVAR)	S (kVA)	I _b (A)
Pompe 1	0.89	315	400	0.95	510,857	159,269	353,932	331,579	0,75	248,684	0,51	126,829	279,158	448,68
Pompe 2	0.89	315	400	0.95	510,857	159,269	353,932	331,579	0,75	248,684	0,51	126,829	279,158	448,68
Pompe 3	0.89	315	400	0.95	510,857	159,269	353,932	331,579	0,75	248,684	0,51	126,829	279,158	448,68
éclairage	0.85	20	400	1	33,961	12,235	23,528	20	1	20	0,61	12,2	23,427	33,813
compresseur	0.85	11	400	0,91	18,901	6,809	13,094	12,08	1	12,08	0,61	7,37	14,15	20,42
Pont roulant	0.85	5	400	0.90	8,490	3,058	5,882	5,555	1	5,55	0,61	3,05	5,856	8,452

Totaux

	P _{utile} (kW)	Q _{utile} (kVAR)	S (kVA)	I _b (A)	K _e	K _s
Total	783,682	403,107	881,279	1 272	1,2	0,9

La puissance apparente consommé : $S_{\text{cons}} = S * K_e * K_s = 951,781 \text{ kVA}$

Courant d'emploi : 1 272 A

Tableau III.7 : Le bilan de puissance de la 3^{ème} station

Equipement	Cos (ϕ)	P_n (kW)	U_n (V)	η	I (A)	Q_n (kVAR)	S_n (kVA)	P_{abs} (kW)	K_u	P_{utile} (kW)	Tng(ϕ)	Q_{utile} (kVAR)	S (kVA)	I_b (A)
Pompe 1	0.92	250	400	0.95	392,221	105,978	271,738	263,158	0,75	197,368	0,42	82,894	214,069	308,98
Pompe 2	0.92	250	400	0.95	392,221	105,978	271,738	263,158	0,75	197,368	0,42	82,894	214,069	308,98
Pompe 3	0.92	250	400	0.95	392,221	105,978	271,738	263,158	0,75	197,368	0,42	82,894	214,069	308,98
éclairage	0.85	20	400	1	33,961	12,235	23,528	20	1	20	0,61	12,2	23,427	33,813
compresseur	0.85	11	400	0,91	18,901	6,809	13,094	12,08	1	12,08	0,61	7,37	14,15	20,42
Pont roulant	0.85	5	400	0.90	8,490	3,058	5,882	5,55	1	5,55	0,61	3,05	5,856	8,452

Totaux

	P_{utile} (kW)	Q_{utile} (kVAR)	S (kVA)	I_b (A)	K_e	K_s
Total	630,454	271,302	686,35	990,66	1,2	0,9

La puissance apparente consommé : $S_{cons} = S * K_e * K_s = 741,258$ kVA

Courant d'emploi : 990,66 A

Tableau III.8 : Le bilan de puissance de la 4^{ème} station

Equipement	Cos (ϕ)	P _n (kW)	U _n (V)	η	I (A)	Q _n (kVAR)	S _n (kVA)	P _{abs} (kW)	K _u	P _{utile} (kW)	Tng(ϕ)	Q _{utile} (kVAR)	S (kVA)	I _b (A)
Pompe 1	0.89	315	400	0.95	510,857	159,269	353,932	331,579	0,75	248,684	0,51	126,829	279,158	448,68
Pompe 2	0.89	315	400	0.95	510,857	159,269	353,932	331,579	0,75	248,684	0,51	126,829	279,158	448,68
Pompe 3	0.89	315	400	0.95	510,857	159,269	353,932	331,579	0,75	248,684	0,51	126,829	279,158	448,68
Eclairage	0.85	20	400	1	33,961	12,235	23,528	20	1	20	0,61	12,2	23,427	33,813
Compresseur	0.85	11	400	0,91	18,901	6,809	13,094	12,08	1	12,08	0,61	7,37	14,15	20,42
Pont roulant	0.85	5	400	0.90	8,490	3,058	5,882	5,55	1	5,55	0,61	3,05	5,856	8,452

Totaux

	P _{utile} (kW)	Q _{utile} (kVAR)	S (kVA)	I _b (A)	K _e	K _s
Total	783,682	403,107	881,279	1406,903	1,2	0,9

La puissance apparente consommé : $S_{\text{cons}} = S * K_e * K_s = 951,781$ kVA

Courant d'emploi : 1 272 A

III.2.2 Détermination du facteur de puissance totale de l'installation pour chaque station

Le facteur de puissance est un indicateur de la qualité de la conception et de la gestion d'une installation électrique. Il repose sur deux notions très basiques : les puissances active et apparente.

La puissance active P (kW) est la puissance réelle transmise à des charges telles que moteurs, éclairage, compresseur, pont roulant. La puissance active est transformée en énergie mécanique, chaleur ou lumière.

La puissance apparente est la base du dimensionnement de l'équipement électrique. Le facteur de puissance PF est le rapport de la puissance active P (kW) sur la puissance apparente S (kVA).

Tableau III.9 : Facteurs de puissance globale pour chaque station

/	Q_{util} [kVAR]	S [kVA]	Cos (ϕ)
SP 01	420,6	458,878	0,91
SP 02	783,682	881,279	0,88
SP 03	630,455	686,35	0,91
SP 04	783,682	881,279	0,88

III.2.3 Dimensionnement du transformateur de chaque station

Dans une station de pompage, il est nécessaire d'installer un transformateur d'énergie électrique, qui sera directement branché sur le réseau moyen tension de la SONELGAZ afin d'obtenir la tension et le courant pour un usage bien spécifique. L'estimation de la puissance du transformateur se fait à base du bilan de puissance établi.

Le réseau délivre une moyenne de tension de 30 kV, et au sein du projet la tension au niveau des récepteurs est de 400V.

III.2.3.1 Choix de transformateur

D'après le bilan de puissance effectué, il est nécessaire de choisir le transformateur adéquat à partir des valeurs normalisées dans le Tableau 06 annexes 1.

➤ 1^{ère} station :

Les caractéristiques de transformateur MT/BT :

Tension : 400 V.

Puissance : **495,584 kVA.**

Courant d'emploi : **794,793 A.**

La valeur de la puissance apparente est de 495 KVA proche de la valeur normalisée de **630 kVA.**

➤ 2^{ème} station

Les caractéristiques de transformateur MT/BT :

Tension : 400 V.

Puissance : **951,781 kVA.**

Courant d'emploi : **1272 A.**

La valeur de la puissance apparente est de 951 KVA proche de la valeur normalisée de **1000 kVA.**

➤ 3^{ème} station

Les caractéristiques de transformateur MT/BT :

Tension : 400 V.

Puissance : **741,258 kVA.**

Courant d'emploi : **990,66 A.**

La valeur de la puissance apparente est de 741 KVA proche de la valeur normalisée de **800 kVA.**

➤ 4^{ème} station

Les caractéristiques de transformateur MT/BT :

Tension : 400 V.

Puissance : **951,584 kVA.**

Courant d'emploi : **1272 A.**

La valeur de la puissance apparente est de 951 KVA proche de la valeur normalisée de **1000 kVA.**

III.2.3.2 Calcul du rapport de transformation

Pour le calcul du rapport de transformation, on utilise la formule suivante, tout en supposant que le primaire et le secondaire ont le même couplage :

$$M = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{III-1})$$

Avec : U_1, U_2 : Tension primaire et secondaire du transformateur.

I_1, I_2 : Courant primaire et secondaire du transformateur.

N_1, N_2 : Nombre de spires au primaire et au secondaire du transformateur.

$$M = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{400}{30000} = 0.01333 \quad (\text{III-2})$$

Donc, le rapport de transformation égal à, $M = 0.01333$

III.2.3.3 Calcul du courant secondaire

Le courant assigné du transformateur, côté BT, est déterminé par l'expression

$$I_n = \frac{S_n * 10^3}{\sqrt{3} * U_{20}} \quad (\text{III-3})$$

S_n = Puissance assignée du transformateur (kVA).

U_{20} = Tension assignée secondaire (à vide) du transformateur (V).

I_n = Courant assigné du transformateur, côté BT (valeur efficace) (A).

III.2.3.4 Calcul du courant primaire

$$M = \frac{I_1}{I_2} \Rightarrow I_1 = M * I_2 \quad (\text{III-4})$$

Après avoir effectué le bilan de puissance, les caractéristiques du transformateur nécessaire Pour notre installation sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.10 : Caractéristique de chaque transformateur.

Caractéristique de transformateur	Puissance apparente [kVA]	Tension primaire [kV]	Tension secondaire [V]	Courant primaire [A]	Courant secondaire [kA]	Rapport de transformation	Tension en court-circuit en %
1 ^{er} Transfo	630	30	400	12,120	0,9093	0,01333	4
2 ^{ème} Transfo	1000	30	400	19,235	1,443	0,01333	6
3 ^{ème} Transfo	800	30	400	15,382	1,154	0,01333	6
4 ^{ème} Transfo	1000	30	400	19,235	1,443	0,01333	6

III.2.4 Choix de la Source de secours

Pour faire face aux évolutions accélérées d'un marché de plus en plus concurrentiel et aux nouveaux enjeux en termes de gestion. Les entreprises ne cessent de chercher les moyens d'augmenter leur productivité. Une entreprise ne peut supporter les conséquences de coupures de courants répétitives, qui risquent de nuire à ses moyens de production et à sa productivité. Afin d'éviter toute coupure de courant, on utilise des sources de secours : les groupes électrogènes.

III.2.4 Choix de groupe électrogène

Un groupe électrogène est un dispositif autonome capable de produire de l'électricité. La plupart des groupes sont constitués d'un moteur thermique qui actionne un alternateur. Les groupes électrogènes sont utilisés dans les zones que le réseau de distribution électrique ne dessert pas ou comme source de secours lors d'une coupure d'alimentation électrique. Il représente pour l'installation une sorte de sécurité et source de remplacement en cas de défaillance.

Comme l'alimentation de tous les récepteurs de notre installation est assurée aussi par le groupe électrogène dans le cas de coupure d'électricité, on procède à un groupe de la même puissance par rapport à celle du transformateur [2].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons déterminé les différents types de puissances (énergies active réactive et apparente de chaque station de pompage), ainsi que les différents courants nominaux, et courant d'emplois des différents récepteurs (groupe électropompe (GEP), compresseur, éclairage et pont roulant) de chaque installation aux différents stations de pompage, ce qui nous a permis de dimensionner le transformateur et le groupe électrogène pour ses installations et nous permettra, dans le chapitre suivant, de dimensionner les sections des conducteurs et le choix des dispositifs de protection.

Chapitre 4

*Dimensionnement et choix des
équipements*

Introduction

Dans un projet de dimensionnement d'une installation électrique la détermination des sections des conducteurs s'avère nécessaire. Les conducteurs étant destinés à assurer la libre circulation des courants nécessaires au bon fonctionnement des différents récepteurs, il convient d'envisager un choix judicieux répondant aux différentes normes en vigueur.

Cependant ce choix prend en compte les conditions dans lesquelles sont installées les canalisations (mode de pose, type de câble, nature de l'isolant et de l'âme des conducteurs, regroupement des circuits et la température ambiante...).

Ainsi, la section de la canalisation destinée à véhiculer le courant d'emploi (I_B) d'un récepteur doit être choisie de telle sorte que le courant admissible (I_Z) de celle-ci soit supérieur au courant nominal (I_n) de l'appareil qui le protège. Il convient donc de respecter la condition suivante : $I_B \leq I_n \leq I_Z$.

IV.1 Calcul et choix de la section des câbles

IV.1.1 Caractéristique des câbles utilisés

❖ Pompe

- **Type de câbles utilisés** : U 1000 R2V multipolaire.
Suivant la norme NFC 32-321 on a les données suivantes :
U : câble normalisé ;
1000 : tension nominale de 1000 (V) ;
R : conducteur isolé au polyéthylène réticulé chimiquement (PRC) ;
2 : gaine épaisse de protection ;
V : polychlorure de vinyle.
- **Nature des conducteurs** : la nature de l'âme des conducteurs est en cuivre(Cu).
- **Type d'élément conducteur** : multiconducteurs.
- **Température ambiante** : la température ambiante de l'installation est de 20°C.
- **Mode de pose des conducteurs** : les modes pose possible pour se type de câble sont :
 - Sous caniveau,
 - donc d'après le tableau 01 annexe 1, la lettre de sélection est (**B**).

IV.1.2 Détermination des facteurs de correction

➤ **Le facteur K_1**

Selon la lettre de sélection **B** et le cas de notre installation (conduit sous caniveau) et d'après le tableau 02 annexe 1, **$K_1=0.90$**

➤ **Le facteur K_2 :**

- La lettre de sélection **B**
- Dispositif des câbles jointifs (encastré et noyés dans les parois)
- nombre de conducteur 03

Selon le tableau 03 annexes 1, **$K_2=0.7$**

➤ **Le facteur K_3 :**

- nature de l'isolant : PR2 (polyéthylène réticulé chimiquement)
- température ambiante : 20°C

Selon le tableau 04 annexe 1, **$K_3=1.08$**

➤ **Le facteur K_n :**

Conducteur Neutre chargé K_n , **$K_n= 1.45$** (Selon la norme NF C 15-100 § 523.5.2)

➤ **Le facteur K_s :**

Facteur de correction dit de symétrie K_s (selon la norme NF C 15-105 § B.5.2 et le nombre de câbles en parallèle)

$K_s = 1$ pour 2 et 4 câbles par phase avec le respect de la symétrie

❖ **Eclairage**

- **Mode de pose des conducteurs** : en apparent contre mur, un chemin de câbles (ou tablette) peut être perforé ou non perforé, selon le tableau 01 annexe 1, la lettre de sélection est **C**.

- **Détermination des facteurs de correction (K_1, K_2, K_3) :**

Le facteur **$K_1=1$** ;

Le facteur **$K_2=0.79$** ;

Le facteur **$K_3=1,08$** ;

Le facteur **$K_n = 1.45$** ;

Le facteur **$K_s = 1$** .

❖ **Compresseur**

- **Mode de pose des conducteurs** : les modes pose possible pour se type de câble sont :

- sous caniveau,

- donc d'après le tableau 01 annexe 1, la lettre de sélection est (**B**).

• **Détermination des facteurs de correction :**

Le facteur $K_1=0,90$;

Le facteur $K_2=0.70$;

Le facteur $K_3=1,08$;

Le facteur $K_n = 1.45$;

Le facteur $K_s = 1$.

❖ **Pont roulant**

Mode de pose des conducteurs :

• **Détermination des facteurs de correction :**

Le facteur $K_1=1$

Le facteur $K_2=0.79$

Le facteur $K_3=1.08$

Le facteur $K_n = 1.45$

Le facteur $K_s = 1$

IV.1.3 Résultat de calcul des canalisations

Connaissant le courant admissible I'_z et le coefficient globale de correction K nous allons directement déduire la section des câbles (S) d'après le tableau 05 annexe 1.

Tableau IV.1 : Choix des sections des câbles

Elément	I _b (A)	I _n (A)	K = K ₁ *K ₂ *K ₃ *K _n *K _s					I' _z (A)	Section (mm ²)	
			K ₁	K ₂	K ₃	K _n	K _s			K
1^{er} station										
Pompe 1	199,85	251,02	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	256.14	95
Pompe 2	199,85	251,02	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	256.14	95
Pompe 3	199,85	251,02	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	256.14	95
Allant de TGBT à AGEF	753,06							0.98	768.4	2*150
Coff.éclairage	33,81	33,96	1	0.79	1.08	0.8	1	0.68	49.94	6
Compresseur	20,42	18,68	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	20.84	1.5
Pont roulant	8,452	8,49	1	0.79	1.08	0.8	1	0.68	12.43	1.5
Allant de Transfo à TGBT	909,33							0.98	927.89	2*240

2eme station										
Pompe 1	448,68	510,86	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	521.29	240 / 2*95
Pompe 2	448,68	510,86	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	521.29	240 / 2*95
Pompe 3	448,68	510,86	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	521.29	240 / 2*95
Allant de TGBT à AGEP	1346							0.98	1373.5	3*240
Coff.éclairage	33,813	33,961	1	0.79	1.08	0.8	1	0.68	49.94	6
Compresseur	20,42	18,901	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	20.84	1.5
Pont roulant	8,452	8,490	1	0.79	1.08	0.8	1	0.68	12.43	1.5
Allant de Transfo à TGBT	1443,4							0.98		3*240
3eme station										
Pompe 1	308,98	392,22	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	400.22	185 / 2*70
Pompe 2	308,98	392,22	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	400.22	185 / 2*70
Pompe 3	308,98	392,22	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	400.22	185 / 2*70
Allant de TGBT à AGEP	926,94							0.98	945.86	2*240
Coff.éclairage	33,813	33,961	1	0.79	1.08	0.8	1	0.68	49.94	6
Compresseur	20,42	18,901	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	20.84	1.5
Pont roulant	8,452	8,490	1	0.79	1.08	0.8	1	0.68	12.43	1.5
Allant de Transfo à TGBT	1154,7							0.98	1178.3	3*150
4eme station										
Pompe 1	448,68	510,86	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	521.29	240 / 2*95
Pompe 2	448,68	510,86	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	521.29	240 / 2*95
Pompe 3	448,68	510,86	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	521.29	240 / 2*95
Allant de TGBT à AGEP	1346							0.98	1373.5	3*240
Coff.éclairage	33,813	33,96	1	0.79	1.08	0.8	1	0.68	49.94	6
Compresseur	20,42	18,90	0.9	0.7	1.08	1.45	1	0.98	20.84	1.5
Pont roulant	8,452	8,49	1	0.79	1.08	0.8	1	0.68	12.43	1.5
Allant de Transfo à TGBT	1443,4							0.98		3*240

IV.2 Chute de tension

IV.2.1 Détermination de la chute de tension avec la méthode analytique

Exemple : (calcul de la chute de tension de câble de départ de l'inverseur de source au TGBT)

Les formules de calcul :

$$\Delta U = \sqrt{3} * I_B (R * \cos\phi + X * \sin\phi) \quad (\text{IV-1})$$

$$\Delta U (\%) = \frac{\Delta U}{U} * 100 \quad (\text{IV-2})$$

AN:

$$R = \frac{22,5 * L}{S} = \frac{22,5 * 0,04}{(2 * 240)} = \mathbf{0,002 \Omega}$$

$$X = 0,08 * L = 0,08 * 0,04 = \mathbf{0,003 \Omega}$$

La résistivité des conducteurs est prise à température normale de fonctionnement :

Cuivre : $\rho=22.5 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$; Aluminium : $\rho=36 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$;

$$\Delta U = \sqrt{3} * 909,33 * [(0,002 * 0,88) + (0,003 * 0,47)] = \mathbf{4,8V}$$

$$\Delta U = \frac{4,8}{400} * 100 = \mathbf{1,2 \%}$$

Nous remarquons que la chute de tension ΔU est inférieure au 8% normalisée pour les forces motrices.

Tableau IV.2 : Calculs des chutes de tension SP 01.

SP 01								
Allant de	à	Ib(A)	L(m)	Section(mm)	R(Ω)	X(Ω)	ΔU(v)	ΔU(%)
GEP 1	AGEP	199,85	8,5	95	0,002	0,0007	0,72	0,2
GEP 2	AGEP	199,85	11,5	95	0,003	0,0009	1,1	0,27
GEP 3	AGEP	199,85	14,5	95	0,0034	0,001	1,2	0,3
AGEP	TGBT	599,6	5	2*150	0,0004	0,0004	0,5	0,14
Coff éclairage	TGBT	33,81	10	6	0,038	0,0008	1,2	0,3
Compr	TGBT	20,42	20	1.5	0,3	0,002	9	2,4
P. roulant	TGBT	8,45	10	1.5	0,15	0,0008	1,9	0,5
TGBT	Inverseur de source	909,33	5	2*240	0,0002	0,0004	0,55	0,14
Inverseur de source	GE	909,33	20	2*240	0,0009	0,002	2,6	0,65
Inverseur de source	Transfo	909,33	40	2*240	0,002	0,003	4,8	1,2

Tableau IV.3 : Calculs des chutes de tension SP 02 et SP 04.

SP 02								
Allant de	à	Ib(A)	L (m)	S (mm ²)	R(Ω)	X(Ω)	ΔU(v)	ΔU(%)
GEP 1	AGEP	448,68	9	240 / 2*95	0,0008	0,0072	3	0,77
GEP 2	AGEP	448,68	13	240 / 2*95	0,0012	0,001	1,18	0,29
GEP 3	AGEP	448,68	17	240 / 2*95	0,0016	0,0013	1,56	0,39
AGEP	TGBT	1346,04	7	3*240	0,0002	0,0006	1,05	0,26
Coff éclairage	TGBT	33,813	10	6	0,04	0,0008	2,02	0,5
Compr	TGBT	20,42	25	1.5	0,4	0,002	12	3,02
P. roulant	TGBT	8,452	10	1.5	0,15	0,0008	1,87	0,47
TGBT	Inverseur de source	1443,37	5	3*240	0,0001	0,0004	0,69	0,17
Inverseur de source	GE	1443,37	25	3*240	0,0007	0,002	3,89	0,97
Inverseur de source	Transfo	1443,37	43	3*240	0,0013	0,003	6,38	1,6

IV.3 Courants de court-circuit

IV.3.1 Méthode générale de Calcul du courant des courts-circuits

Dans notre cas nous allons adopter la méthode des impédances. Et on calculera la plus forte intensité de court-circuit, qui est celle engendrée par un court-circuit triphasé, noté I_{cc3} .

La disposition de notre réseau de distribution basse tension est comme suite :

- Réseau amont (réseau MT) qui va alimenter notre installation
- Transformateur MT/BT
- Disjoncteurs
- Câbles, jeux de barres, canalisations préfabriquées
- Les récepteurs (moteur, pompe...)

$$I_{CC} = \frac{C * m * V}{\sqrt{3} * Z_{CC}} \quad (kA) \quad (IV-3)$$

$$Z_{CC} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n R_i)^2 + (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (IV-4)$$

La méthode consiste à décomposer le réseau de notre installation en tronçons et à calculer, pour chacun des tronçons R, X, puis les additionner arithmétiquement [7]:

Réseau amont		R_a : Résistance amont X_a : Réactance amont S_{cc} : puissance en amont 500 MVA
Transformateur		R_t : Résistance du transformateur X_t : Réactance du transformateur 30 kV/400V $U_{cc} = 6\%$
Liaison transformateur disjoncteur		R_c : Résistance du câble X_c : Réactance du câble
Disjoncteur principal		R_d : Résistance du disjoncteur X_d : Réactance du disjoncteur
Jeu de barres du TGBT		R_{jdb} : Résistance du Jeu de barres X_{jdb} : Réactance du Jeu de barres
Disjoncteur		Disjoncteur
Départ 01		R : Résistance du départ X : Réactance du départ
Liaison jeu de barre TGBT jeu de barres AGEF		R_c : Résistance du câble X_c : Réactance du câble
Jeu de barres		R_{jdb} : Résistance du Jeu de barres X_{jdb} : Réactance du Jeu de barres
Disjoncteur		Disjoncteur
Départ GEP 1	R : Résistance du départ X : Réactance du départ	

a. Réseau amont

La puissance de court-circuit du réseau HT (P_{cc} : puissance de court-circuit) est donnée par le constructeur par le distributeur d'énergie, l'impédance du réseau amont ramenée au secondaire du transformateur est donnée par la relation :

$$Z_a = \frac{(U_0)^2}{P_{cc}} \tag{IV-5}$$

U_0 : Tension entre phase à vide du secondaire du transformateur, elle est égale à :

400 V pour réseau 380 V

230 V pour réseau 220 V

Z_a : Impédance amont du transformateur ramenée au secondaire

$$X_a = 0.995.Z_a \quad R_a = \sqrt{(Z_a)^2 - (X_a)^2} \quad (\text{IV-6})$$

P_{cc} : 500 MVA

Tableau IV.4 : Impédances du réseau amont ramenées au secondaire du transformateur

P_{cc} (MVA)	U_0 (V)	Z_a (m Ω)	R_a (m Ω)	X_a (m Ω)
500 MVA	230	0.1058	0.0129	0.105
	400	0.32	0.036	0.318

La résistance R_a peut être considérée comme négligeable devant la réactance X_a qui peut être confondue avec Z_a .

b. Transformateur

L'impédance Z_{tr} d'un transformateur vue du secondaire est donnée par la relation

$$Z_{tr} = \frac{U_0^2}{P_n} * \frac{U_{cc}}{100} \quad (\text{IV-7})$$

U_0 : Tension entre phases au secondaire à vide

P_n : puissance nominale du transformateur

U_{cc} : Tension de court-circuit en %

Avec : $P_n = 1000$ kVA, donc ; $U_{cc} = 6$ %. (Voir le tableau 09 annexe 1)

La résistance se calcul à partir des pertes cuivre (P_{cu}) dans le transformateur (essaye en court-circuit)

$$P_{cu} = 3 R_{tr} * I_n^2. \quad \text{D'où ;} \quad R_{tr} = \frac{P_{cu}}{3 * I_n^2} \quad (\text{IV-8})$$

Avec ; $P_{cu} = 13,9$ kW (voir le tableau 09 annexe 1)

$$I_n = \frac{P_n}{U\sqrt{3}} = 1443,37 \text{ A}$$

La réactance se déduit de la relation suivante :

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2} \quad (\text{IV-9})$$

Xtr : Réactance du transformateur

Rtr : Résistance du transformateur

Ztr : Impédance du transformateur

c. Disjoncteur

La résistance est négligeable, la réactance est prise égale à 0.15 mΩ.

d. Jeux de barres

La résistance d'un jeu de barre est négligeable sauf pour les faibles sections. La réactance linéique est prise égale à 0.08 mΩ/m.

e. Câble

La résistance se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$R_c = \rho \frac{L}{S} \quad (\text{IV-10})$$

ρ : Résistivité en (mΩ.mm²/m)

L : Longueur en (m) du câble

S : Section du câble (mm²)

La résistivité des conducteurs est prise à température normale de fonctionnement :

Cuivre : $\rho=22.5$ mΩ.mm²/m ;

Aluminium : $\rho=36$ mΩ.mm²/m ;

La réactance des câbles sont données par les constructeurs, sachant qu'elle est négligeable pour des sections inférieures à 25 mm²

Les valeurs des réactances X en BT sont généralement comme suite :

- 0,08 mΩ/m pour les câbles tripolaires
- 0,09 mΩ/m pour les câbles unipolaires serrés en nappe ou en triangle
- 0,15 mΩ/m pour les câbles unipolaires espacés
- 0,30 mΩ/m pour les lignes aériennes

f. Charge

$$R = R_{\text{amont}} + R_{\text{transfo}} + R_{\text{câble}} + R_{\text{Disj}} + R_{\text{jdb}}$$

$$X = X_{\text{amont}} + X_{\text{transfo}} + X_{\text{câble}} + X_{\text{Disj}} + X_{\text{jdb}}$$

IV.4 Dimensionnement du jeu de barre [22]

Le dimensionnement de jeu de barre principale consiste à choisir une section convenable, soit en fonction du courant qui y circule, soit en fonction des contraintes thermiques et électrodynamiques du régime d'avarie.

Le jeu de barre a basse tension sont destinés à assurer le transport d'énergie électrique entre les sources et les éléments d'une installation, et comme ils assurent la répartition TGBT.

Les principaux problèmes posés par l'emploi des jeux de barres peuvent être regroupés en deux catégories :

- ❖ Les conditions d'équilibre thermique avec leur environnement immédiat, qui déterminent les courants admissibles, pour une température acceptable du métal, elles sont soumises à l'influence de nombreux facteurs
- ❖ Les conditions de réalisation mécanique, en fonction des contraintes susceptibles de leur être appliquées, tant en service normal qu'en cas de défaut (court-circuit).

IV.4.1 Courant nominal

C'est le courant qui parcourt les conducteurs de jeu de barre, il est donné par l'expression suivant :

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} \quad (IV-11)$$

Avec:

S_n : Puissance apparent de l'installation.

U_n : Tension nominal composée.

IV.4.2 Courant admissible

Le courant admissible a estimé à 1.2 fois le courant nominal qui traverse le jeu de barre :

$$I_{ad} = 1,2 * I_n \quad (IV-12)$$

Connaissant le courant admissible qui y circule, on peut tirer la section de jeu de barre a partir du Tableau IV.07 de l'annexe 1.

IV.4.3 Calcul de la section de jeu de barre

Calcule le courant nominal de jeu de barre :

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} * 400} = 1443,37 \text{ A}$$

Le courant admissible :

$$I_{ad} = 1,2 * I_n = 1,2 * 1443,37 = 1732,05 \text{ A}$$

Tableau IV.5 : Les caractéristiques du jeu de barre.

Paramètre	$I_n(A)$	$I_{ad}(A)$	$I_{ad-normalisé}(A)$	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Section (mm ²)
jbd_{TGBT}	1443,37	1732,05	1935	5	160	800

IV.4.4 Vérification de la chute de tension du jeu de barre [23]

La section doit être vérifiée par rapport à plusieurs contraintes telles que :

- Les contraintes thermiques
- Les contraintes électrodynamiques
- La fréquence propre de résonance

Dans notre étude nous vérifions la contrainte thermique par rapport :

- Au passage de courant assigné
- Au passage de courant de court-circuit

IV.4.4.1 Au passage de courant assigné

La formule de MELSON et BOTH permet de définir l'intensité admissible maximale dans un jeu de barre :

$$I = K * \frac{24.9 * (\theta - \theta_n)^{0.61} * S^{0.5} * P^{0.39}}{\sqrt{\rho_{20} * [1 + \alpha(\theta - 20)]}} \quad (IV-13)$$

Avec

- I : intensité admissible ;
- θ_n : température ambiante ($\theta_n \leq 40^\circ\text{C}$) °C ;
- $(\theta - \theta_n)$: échauffement admissible °C ;
- S : section d'une barre cm² ;
- P : périmètre d'une barre cm (Schéma ci-contre) ;
- ρ_{20} : résistivité du conducteur à 20°C : - cuivre : 1,83 $\mu\Omega$ cm
- aluminium : 2,90 $\mu\Omega$ cm
- α : coefficient de température de la résistivité : 0,004
- K : coefficient de conditions produit de 6 coefficients (k1, k2, k3, k4, k5, k6)

❖ **Le coefficient k_1** est en fonction du nombre de barres méplates par phase pour:

- 1 barre ($k_1 = 1$)
- 2 ou 3 barres, (voir le tableau 10 annexe 1)

❖ **Le coefficient k_2** est fonction de l'état de surface des barres :

- nues : $k_2 = 1$
- peintes : $k_2 = 1,15$

❖ **Le coefficient k_3** est fonction de la position des barres :

- barre sur chant : $k_3 = 1$
- 1 barre à plat : $k_3 = 0,95$
- plusieurs barres à plat : $k_3 = 0,75$

❖ **Le coefficient k_4** est fonction de l'endroit où sont installées les barres :

- atmosphère calme à l'intérieur : $k_4 = 1$
- atmosphère calme à l'extérieur : $k_4 = 1,2$
- barres dans une gaine non ventilée : $k_4 = 0,80$

❖ **Le coefficient k_5** est fonction de la ventilation artificielle :

- sans ventilation artificielle : $k_5 = 1$
- le cas avec ventilation devra être traité au cas par cas et ensuite validé par des essais.

❖ **Le coefficient k_6** est fonction de la nature du courant :

Pour un courant alternatif de fréquence ≤ 60 Hz, k_6 est fonction du nombre de barres n par phase et de leur écartement.

Valeur de k_6 pour un écartement égal à l'épaisseur des barres.

Tableau IV.6 : Coefficient K_6 en fonction du nombre de barre par phase (n)

N	1	2	3
K_6	1	1	0,98

Note : Pour que la section soit vérifiée il faut que le courant I soit supérieur au courant admissible.

Application : Dimensionnement du jeu de barres du poste de TGBT de SP02

- Puissance du transformateur : $S_n = 1000$ KVA
- Tension de service : $U = 400$ V

- Courant nominal : $I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1443,37A$

➤ **Détermination du coefficient de conditions :**

$K_1=1$ Nombre de barres par phase : 1

$K_2=1$ Barres nues

$K_3=1$ Barres sur chant

$K_4=1$ Atmosphère calme

$K_5=1$ sans ventilation artificielle

$K_6=1$ Courant alternatif, Nb de barres par phase : 1

➤ **Calcul de l'intensité admissible :**

$$I_{\text{barres}} = I_n * 1.2$$

$$I_{\text{barres}} = 1443,37 * 1,2 = 1732,05A$$

Enfin, nous déterminons la section réelle du jeu de barre à installer à partir du tableau des valeurs de base des intensités admissibles I(A) dans les barres de cuivre (voir tableau N°07 annexe 1).

Nous cherchons la valeur juste supérieure à 1732,05 A ;

Dans le tableau On trouve les dimensions suivantes :

$$S = 5 * 160 = 800 \text{ mm}^2$$

$$P = 2 * (5 + 160) = 33 \text{ cm}$$

$$I = \frac{24,9 * 50^{0,61} * 8^{0,5} * 33^{0,39}}{1,53} = 1957,49 \text{ A}$$

Résultat de vérification

Tableau IV.7 : Résulta de vérification de la chute de tension de jeu de barre

/	K	$\theta(^{\circ}\text{C})$	$\theta_n (^{\circ}\text{C})$	S (cm ²)	P (cm)	ρ	I (A)	Résultat
Jdb TGBT	1	90	40	8	33	1,83	1957,49	I > I_{ad}

Suivant la même méthode de calcul, nous récapitulons les résultats de choix des sections des jeux de barres pour les quatre stations dans le tableau suivants :

Tableau IV.8 : Résultat de calcul de section de jeu de barre

	Jeu de barre TGBT		Jeu de barre AGEP	
	I_{ad} (A)	S (cm ²)	I_{ad} (A)	S (cm ²)
Station 01	1091,19	5	719,46	3,15
Station 02	1732,06	8	1450,56	7,2
Station 03	1385,64	6,25	1112,28	5
Station 04	1732,06	8	1450,56	7,2

IV.5 Calcul des courants de court-circuit (I_{cc}), et vérification des pouvoirs de coupure (Pdc) des dispositifs de protections

Les courants de court-circuit dans les réseaux électriques apparaissent lors du vieillissement des câbles ou du matériel ou alors de fausses manœuvres commis par le personnel. Le dimensionnement d'une installation électrique et des matériels à mettre en œuvre, ainsi que, la détermination des protections des personnes et des biens, nécessitent le calcul des courants de court-circuit en tout point du réseau [2].

IV.5.1 Calcul des courants de courts-circuits des éléments principaux d'une station de pompage

Un exemple de calcul de la deuxième station SP02.

Nous allons travailler sur un seul exemple puisque la méthodologie est la même pour tous les quatre stations.

Tableau II.9 : La méthode de calculer R, X, et Z pour chaque partie [7]

Partie de l'installation	Valeurs des résistances	Valeurs des réactances	Valeurs des impédances
Réseau en amont	$R_A = 0.1 * Z_A$	$X_A = 0.995 * Z_A$	$Z_A = \frac{(m * U_n)^2}{S_{cc}}$
Transformateur	$R = \frac{P_{cu} * U_n^2 * 10^{-3}}{S^2}$	$X = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$	$Z_A = \frac{U_{cc} * U_0^2}{100 * S_n}$
Les câbles	$R = \rho * \frac{L}{S}$	$X = 0.08 * L$	$Z_A = \sqrt{R^2 + X^2}$
Jeu de barre	$R = \rho * \frac{L}{S}$	$X = 0.15 * L$	$Z_A = \sqrt{R^2 + X^2}$
Disjoncteurs	négligeable	$X = 0.15 \text{ m}\Omega$	$Z_A = 0.15 \text{ m}\Omega$

Donc le courant de court-circuit sera égale à :

$$I_{cc} = \frac{C * m * V}{\sqrt{3} * Z_{cc}} \text{ (KA)} \dots\dots\dots \text{ (IV-14)}$$

C : Facteur de tension pris égal à 1.05

m : Facteur de charge pris égal à 1.05

U : Tension de l'installation entre phases (V)

Z_{cc} : Impédance totale de la boucle de défaut au point considéré (Ω)

Exemple de calcul :

L'interprétation des formules précédentes à des résultats de calculs des courants de courts-circuits dans les différents points de l'installation seront récapitulés dans les tableaux suivant :

Tableau IV.10 : Calculs des courants de courts-circuits des stations SP02 et SP04

Eléments de l'installation	Caractéristique	R (mΩ)	X (mΩ)	Z (mΩ)	Z _t (mΩ)	I _{cc} (kA)
Réseau amont	S _{cc} = 500 MVA	0,035	0,348	0,35	0,35	/
Transformateur	1000 kVA 30 kV/400V U _{cc} = 6%	2,22	9,34	9,6	9,95	25,59
Liaison transformateur disjoncteur	L = 43 m S= 720 mm ²	1,34	3,44	3,69	13,64	18,66
Disjoncteur principal	/	/	0,15	0,15	13,79	/
Jeu de barres du TGBT	L = 3 m S=800 mm ²	0,08	0,45	0,46	14,25	17,68
Disjoncteur	Disjoncteur	/	0,15	0,15	14,4	/
Départ compresseur	L=25 m S = 1,5 mm ²	375	2	375	389,4	0,65
Départ éclairage	L= 10 m S = 6 mm ²	37,5	0,8	37,5	51,9	4,91
Départ pont roulant	L= 10 m S = 1,5 mm ²	150	0,8	150	164,4	1,55
Liaison jeu de barre TGBT jeu de barre AGEPE	L =7 m S = 720 mm ²	0,22	0,56	0,6	15	16,97
Jeu de barres AGEPE	L =1 m S = 500 mm ²	0,045	0,15	0,47	15,47	16,46
Disjoncteur	Disjoncteur	/	0,15	0,15	15,62	/
Départ GEP1	L =9 m S =240 mm ²	0,84	0,72	1,1	16,72	15,23
Départ GEP2	L= 13 m S = 240 mm ²	1,21	1,04	1,6	17,32	14,7
Départ GEP3	L= 17 m S = 240 mm ²	1,59	1,36	2	19,32	13,18

Les résultats de calculs des courts-circuits des stations SP01 et SP03 sont donnés dans les tableaux 2 et 3 annexes 2 respectivement.

IV.5.2 Dimensionnement des dispositifs de protection

IV.5.2.1 L'échauffement du au courant de court-circuit

IV.5.2.1.1 Définition et rôle de la protection [6]

La protection c'est l'ensemble des moyens permettant d'éliminer rapidement et d'une façon sûre un défaut tel que court-circuit, surcharge ou défaut d'isolement avec écoulement de courant vers la terre.

Le choix d'un dispositif de protection n'est pas le fruit d'une réflexion isolée, mais une des étapes les plus importantes de la conception d'un réseau électrique. Le rôle fondamental des Protections d'un réseau électrique est d'assurer la sécurité des personnes et des biens, ainsi que la continuité de service, c'est à dire la permanence de l'alimentation des différents récepteurs.

La protection c'est le choix des éléments de protection et de la structure globale de l'ensemble, de façon cohérente et adaptée au réseau. Le système de protection se compose d'une chaîne constituée des éléments suivant :

- Capteurs de mesure (courant et tension), fournissant les informations de mesure nécessaires à la détection des défauts,
- Relais de protection, chargés de la surveillance permanente de l'état électrique du réseau, jusqu'à l'élaboration des ordres d'élimination des parties défectueuses, et leur commande par le circuit de déclenchement,
- Organes de coupure dans leur fonction d'élimination de défaut : disjoncteurs, interrupteurs-fusibles, contacteurs-fusibles. L'activité de l'appareil est basée sur la nature de dispositif de protection et cela dépend du type de protection vise :
 - ❖ Protection contre les surcharges,
 - ❖ Protection contre les courts circuits,
 - ❖ Protection conjointe contre les courts circuits et surcharges.

En bref, un système de protection bien établi doit répondre aux exigences suivantes :

Éliminer seule la partie affectée d'un défaut,

- Être rapide et préserver la stabilité du réseau et la continuité de fonctionnement,
- Avoir un comportement d'autonomie,
- Être fiable,
- Préserver la sécurité des personnes et des biens [6].

IV.5.2.1.2 Problème de la protection

Le problème de la protection des installations consiste à définir la nature du défaut contre lequel on doit se protéger puis à choisir l'appareil capable de détecter des défauts et d'opérer leur suppression. Les principales perturbations sur une installation électrique se traduisent par :

- ❖ Les surintensités (surcharges ou courts circuits),
- ❖ Les surtensions ou les baisses de tension.
- ❖ Les principales perturbations dans les réseaux électriques, leurs causes, leurs effets et leurs moyens de protection sont cités dans le premier chapitre [6].

IV.5.3 Choix des protections de SP02

Nous prenons un exemple de choix de disjoncteur de différents départs pour la deuxième station SP02.

Tableau IV.11 : Résultat des choix des disjoncteurs pour les différents départs SP02 et SP04

Emplacement de disjoncteur	$I_n(A)$	$I_{cc}(KA)$	$I_{n-Disj}(A)$	Pdc(KA)	Type de disjoncteur	Type de courbe
Disj Départ vers TGBT	1443,37	18,66	1600	37	NS1600N Mg/th*	D
Disj tête TGBT	1443,37	17,68	1600	37	NS1600N différentiel	D
Départ de TGBT à AGEP	1346	16,67	1400	37	NS1600N Mg/th	D
Disj tête AGEP	1346	16,67	1400	37	NS1600N différentiel	D
Départ GEP1	510,857	15,25	630	36/50	NSX630F Mg/th	D
Départ GEP2	510,857	14,7	630	36/50	NSX630F Mg/th	D
Départ GEP3	510,857	13,18	630	36/50	NSX630F Mg/th	D
Départ1	33,961	4,91	40	50	GV3L40 Mg/th	C
Départ2	18,901	0,65	25	50	GV2L22 Mg/th	C
Départ3	8,490	1,55	16	50	GV2L20 Mg/th	C

*Mg/th : magnétothermique

Le résultat des choix des disjoncteurs pour les différents départs SP01 et SP03 sont récapitulés dans tableau 4 et 5 annexe 2 respectivement.

IV.5.3.1 Caractéristiques des courbes de déclenchement

Tableau IV.12 Caractéristiques des courbes de déclenchement [9]

Caractéristiques de la courbe	Lieu d'utilisation
Courbe B	Pour consommateurs thermiques sans pointes de courant élevées. Exemple : - Cuisinière - Chauffage électrique - Chauffe-eau
Courbe C	Pour circuits d'éclairage /de prises électrique avec des consommateurs non définis et des consommateurs avec des pointes de courant d'enclenchement élevées. Exemple : - Circuits d'éclairage et de prises électriques - Petits moteurs
Courbe D	Pour appareils avec pointes de courant d'enclenchement élevées. Exemple : - Comme coupe-surintensité d'abonné - Condensateurs, transformateur

Pour les disjoncteurs, la norme CEI 60898 précise les limites à l'intérieur desquelles le déclenchement sur court-circuit doit intervenir :

- Courbe B : 3 à 5 I_n
- Courbe C : 5 à 10 I_n
- Courbe D : 10 à 20 I_n

Caractéristique des courbes de déclenchement sont apportées dans la page suivante :

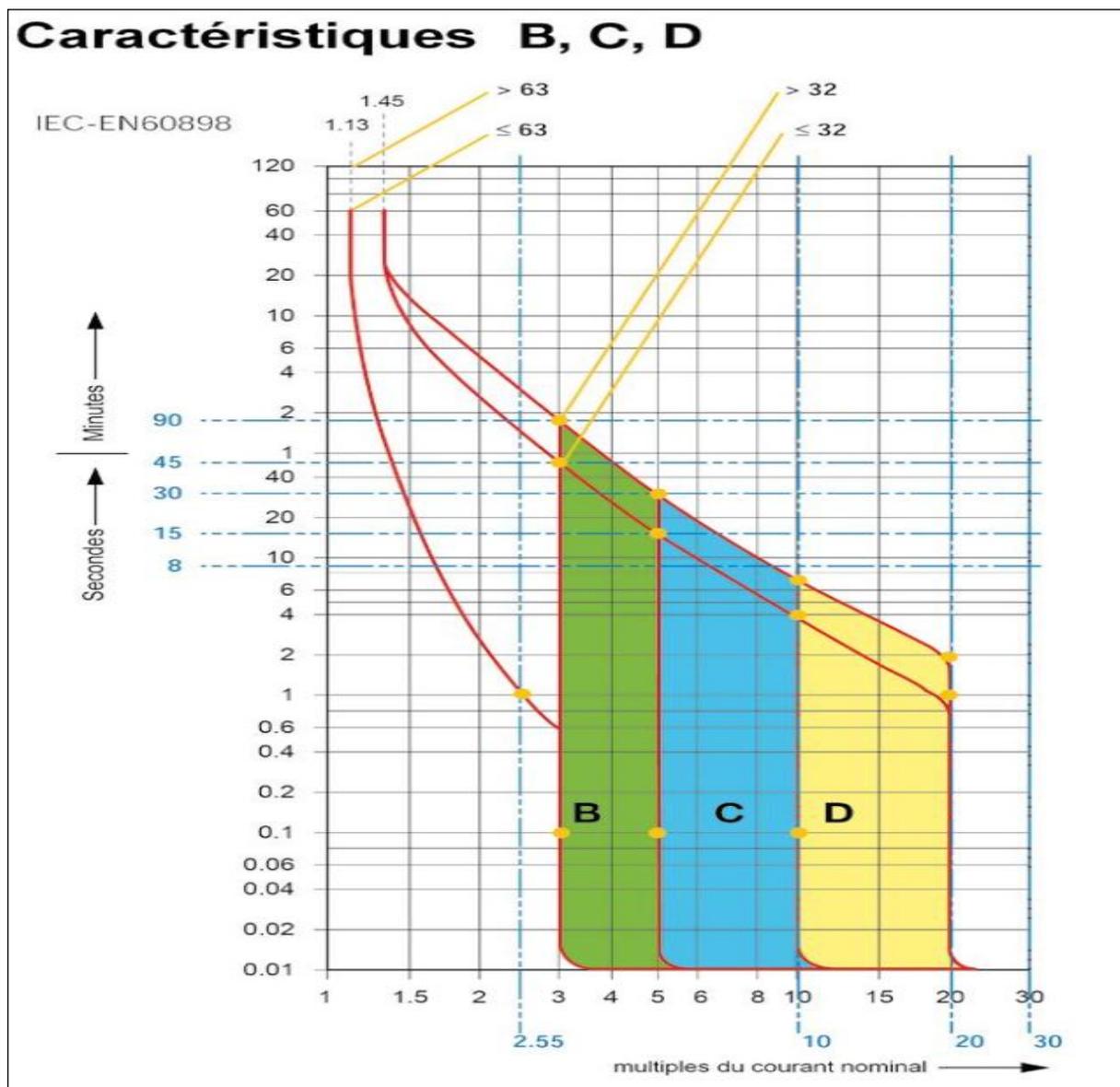


Figure IV.1 Courbes de déclenchement Temps/Courant [24]

IV.5.3.2 Détermination de courant de maintien (I_4) et déclenchement (I_5)

Selon la courbe de déclenchement qui est présenté dans la figure (IV.1)

la courbe de déclenchement	Le courant de maintien	Le courant de déclenchement
Courbe B	$3 \cdot I_n$	$5 \cdot I_n$
Courbe C	$5 \cdot I_n$	$10 \cdot I_n$
Courbe D	$10 \cdot I_n$	$20 \cdot I_n$

Tableau IV.13 Détermination de courant de maintien et déclenchement [9]

Exemple de calcul : Disjoncteur tête TGBT de SP02

- Le courant nominal $I_n = 1,443 \text{ kA}$
- Le courant de court-circuit $I_{cc} = 17,68 \text{ kA}$

- Calibre de protection : 1,6 kA
- Le pouvoir de coupure $P_{dc} = 37$ kA
- Type de disjoncteur : NS1600N
- Type de la courbe de déclenchement : courbe D
- Le courant de maintien : $I = 10 \cdot I_n = 14,43$ kA
- Le courant de déclenchement : $I = 20 \cdot I_n = 28,86$ kA

IV.5.4 Vérification de la protection des personnes (régimes du neutre)

IV.5.4.1 Régimes du neutre [25]

Actuellement, les trois schémas de liaison à la terre, longtemps appelés régimes du neutre tels que définis par la norme NF C 15-100 [5], sont : TN, TT, IT

Ces trois schémas ont une même finalité en termes de protection des personnes et des biens : la maîtrise des effets des défauts d'isolement. Ils sont considérés comme équivalents sur le plan de la sécurité des personnes contre les contacts indirects. Il n'en est pas nécessairement de même pour la sûreté de l'installation électrique BT en ce qui concerne :

- La disponibilité de l'énergie
- La maintenance de l'installation

La maîtrise du risque de non disponibilité de l'énergie prend de plus en plus d'importance. En effet si, pour éliminer le défaut, la partie en défaut est déconnectée automatiquement, il en résulte:

- Un risque pour les personnes, par exemple : un manque subit d'éclairage ou la mise hors service d'équipements utiles à la sécurité.
- Un risque économique du fait de l'arrêt de production.

IV.5.4.2 Critères de choix du régime du neutre [25]

Les trois SLT mondialement utilisés et normalisés par la CEI 60364 ont pour objectif commun la recherche de la meilleure sûreté. Sur le plan de la protection des personnes, les trois régimes sont équivalents si l'on respecte toutes les règles d'installation et d'exploitation. Étant donné les caractéristiques de chaque régime, il ne peut donc être question de faire un choix à priori. Ce choix doit résulter d'une concertation entre l'utilisateur et le concepteur du réseau sur :

- les caractéristiques de l'installation,
- les conditions d'exploitation.

Plusieurs paramètres conditionnent le choix du SLT. En effet, c'est le croisement des impératifs réglementaires, de continuité de service, de continuité d'exploitation et de nature du réseau et des récepteurs qui détermine le ou les types de schémas les plus judicieux.

Dans certains cas, ce sont les textes réglementaires qui imposent le SLT. Sinon, l'utilisateur est libre de choisir, la définition du SLT ne pourra résulter que d'une concertation entre lui même et le concepteur du réseau. Elle portera :

- ❖ En premier lieu, sur les impératifs d'exploitation (continuité de service impérative ou non) et sur les conditions d'exploitation (entretien assuré par un personnel)
- ❖ En second lieu, sur les caractéristiques particulières du réseau et des récepteurs.

IV.5.4.3 Schémas de liaison à la terre [25]

Les différents schémas de liaison à la terre et la comparaison entre eux sont cités dans l'annexe 3.

IV.5.4.4 Choix du schéma de liaison à la terre [25]

Les critères du choix dépendent de plusieurs aspects :

- *Aspects techniques (fonction du réseau électrique, surtensions, courant de défaut)
- *Exploitation (continuité de service, maintenance)
- *Sécurité économiques (coûts d'investissements, d'exploitation)

En particulier, il faut réaliser un compromis entre deux considérations techniques importantes:

- *Réduction du niveau des surtensions

Des surtensions trop importantes sont à l'origine du claquage diélectrique des isolants électriques, avec comme conséquence des courts-circuits.

- *Réduction du courant de défaut à la terre

Un courant de défaut trop élevé entraîne toute une série de conséquences :

- * Dégâts par l'arc au point de défaut; en particulier, fusion des circuits magnétiques des machines tournantes.
- * Dimensions et coût de la résistance de mise à la terre.

Ainsi, d'après la comparaison des différents régimes du neutre, et en concertation avec le maître d'ouvrage, nous avons décidé d'adopter le régime du neutre TN.

Conclusion

Afin d'alimenter une station en énergie électrique, nous avons procédé au choix et dimensionnement des câbles et leurs sections utilisées au niveau de chaque tronçon tout en respectant les caractéristiques électriques de notre installation, et pour cela nous devons suivre une méthodologie bien ordonnée.

Nous avons trouvé des sections importantes concernons les départs de groupe électropompe, départ TGBT et départ AGEF. Et pour cela nous avons vérifié les chutes de tension, qui ne dépasse pas les normes tolérées.

Et aussi Nous avons calculé les sections des jeux de barres TGBT et AGEF pour les quatre stations, et les vérifié avec le courant assigné.

A fin de permettre de faire le choix et le dimensionnement des appareils de protection, nous avons constaté que, les pouvoirs de coupure des disjoncteurs sont supérieurs aux valeurs des courants de court circuit calculés. Les résultats sont satisfaisants.

A la fin de ce chapitre, et après avoir dimensionné chaque station, nous avons choisi le régime du neutre (SLT) adéquat pour notre installation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce projet de fin d'études, nous avons réalisé l'étude électrique de la chaîne d'AEP de BOUZEGUENE à partir de barrage TICHI-HAF. Cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine des installations électriques industrielles. Aussi elle nous a permis de mettre en pratique nos connaissances théoriques.

Pour atteindre l'objectif de notre projet, nous avons commencé par prendre connaissance de l'installation qui constitue de 4 stations de pompage équipée de 3 groupe électropompes, puis identifier les éléments la constituant pour connaître le besoin en énergie électrique et dimensionner les équipements à prévoir pour l'alimentation et la protection de ces derniers. La présentation du cahier de charges nous a aidés à bien comprendre ce que nous devons faire pour la suite de notre travail.

Ce travail a commencé par description des généralités sur les réseaux électriques industriels BT. Le bilan de puissance, permet de déterminer les puissances de l'installation pour pouvoir choisir les transformateurs convenables et dimensionnement de la source de secours. Après nous avons étudié avec précision les caractéristiques des différentes parties de chaque station, du point de vue technique et économique en respectant les normes exigées, ensuite, le dimensionnement des canalisations, puis calcul du courant de court-circuit de chaque tronçon d'une station et choix de la protection. Cette protection est nécessaire pour éviter la destruction accidentelle d'équipements coûteux et pour assurer une alimentation électrique continue.

En conclusion, nous voudrions mentionner que ce travail nous a été très bénéfique à plusieurs titres :

- les démarches à suivre afin de faire une installation électrique.
- Le contact avec l'ingénieur dans le domaine, nous a permis la compréhension du processus global du fonctionnement d'une station de pompage.

Enfin, nous espérons que notre modeste travail servira d'aide aux futurs utilisateurs et exploités par l'entreprise.

Bibliographie

Références Bibliographique

- [1] A. Hammidat, A. Hadj Arab et M.T. Boukadoum, « Performances et coûts des systèmes de pompage PV en Algérie », Rev Energ Ren, Vol 8, Edition 2005.
- [2] Christophe PREVE et robert JEANOTE, Schneider Electric N° 68883 427/A, (Guide de conception des réseaux électriques industriels), Edition Février 1997.
- [3] Technique d'ingénieur, « protection des réseaux moyenne tension de distribution publique », d4018.
- [4] Sélec câble, « Câbles moyenne tension HTA », Edition janvier 2006.
- [5] HARKAT Daoud et BOURDACHE Massinissa (Etude et redimensionnement de la boucle moyenne tension du complexe CEVITAL), mémoire fin d'étude université BEJAIA 2016/2017.
- [6] Schneider Electric, « Choix des dispositifs de protection », Guide de l'installation électrique, Edition 2010
- [7] Schneider électrique, Etienne TISON, (Guide de l'installation électrique 2010), N° dépôt légal : 1er semestre 2008.
- [8] Schneider Electric « Calcul des courants de court-circuit » Cahier Technique n° 158
- [9] Handbuch_Schutz, (Manuel technique, principe de protection), année 2017.
- [10] BENAIED Noredine, (Schémas et appareillage électrique, commande des système électrique), année 2014.
- [11] Benoit de METZ-NOBLA, Cahier Technique 18, (Analyse des réseaux triphasés en régime perturbé à l'aide composante symétrique), Edition juin 2005.
- [12] KAOUANE.M et IBEGHOUCHE.R, « ETUDE D'AEP DE LA COMMUNE IGHIL ALI, WILAYA DE BEJAIA ET DISTRIBUTION DU VILLAGE BELAYED », Mémoire de fin d'études, Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, Edition Juin 2016.
- [13] BONVIN, J., « Hydraulique urbaine », Tome I, Edition 2005.
- [14] K.Sinna, R.Goularchi, « Les Stations de Pompage d'eau », Mémoire d'Ingéniorat, Département de Génie Electrique, Tunisie, Edition 2006 ;
- [15] Schématique technologique du contrôle industriel, « GROUPE SCHNEIDER Melin Gerin- square D-télémechanique », Collection technique.
- [16] A. Zobeiri, « Investigations of Time Dependent Flow Phenomena in a Turbine and a Pump-Turbine of Francis Type: Rotor-Stator Interactions and Precessing Vortex Rope », Thèse de Doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, France 2009.

- [17] HAMANI Sofiane, « Alimentation en eau potable les villages ouest de BENI Ourthilane », Mémoire de fin d'études, Université de BEJAIA, Edition 2008.
- [18] BENDAHMANE, I et OUBELGHA, N., « Renforcement de L'AEP de OUADHIAS et TAGUEMOUNT EL -JDEDID à partir de TAKHOKHT (W.Tizi Ouzou) », Mémoire de fin d'étude, Université de Bejaia, Edition 2007.
- [19] L.ISAMBERT, « Pneumatique dans les réseaux industriels ».
- [20] Omega engineering, www.omega.fr .
- [21] « JUMO Pressure Instruments », JUMO GmbH & Co. KG.
- [22] Roland AUBER (Jeu de barre a basse tension), technique d'ingénieur n° d 5165.
- [23] Schneider Electric industrie SA, Guide technique MERLIN Gerin, (Guide de conception MT), ART 86204.
- [24] Schneider Electric, Guide 56, (Dimensionnement et protection), ABB marché tertiaire.
- [25] Schneider Electric, Cahier technique n° 172, « Schéma de liaison a la terre en basse tension », Edition décembre 2004.

Annexes

Annexe 1

Le tableau 01 indique, pour chaque mode de pose, la lettre de la sélection (voir tableau 4).

Tableau 01 : Mode de pose

Type d'éléments conducteurs	Mode de pose	Lettre de sélection
Conducteurs et câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré ■ sous vide de construction, faux plafond ■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles 	B
	<ul style="list-style-type: none"> ■ en apparent contre mur ou plafond ■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées 	C
Câbles multiconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus 	E
Câbles monoconducteurs	<ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus 	F

Facteur de correction K1

Tableau 02 : Détermination K1 selon de la lettre de sélection

Lettre de sélection	Cas d'installation	K1
B	■ câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	■ câbles multiconducteurs	0,90
	■ vides de construction et caniveaux	0,95
C	■ pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	■ autres cas	1

Facteur de correction K2

Tableau 03 : Détermination K2 selon le nombre de circuit de câble multiconducteurs

Lettre de sélection	Disposition des câbles jointifs	Facteur de correction K2											
		nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C, F	Encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
C	Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	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.		
	Simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
E, F	Simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
	Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Facteur de correction K3

Tableau 04 : Températures ambiantes et nature de l'isolation

Températures ambiantes (°C)	Isolation		
	Élastomère (caoutchouc)	Polychlorure de vinyle (PVC)	Polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
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
30	1,00	1,00	1,00
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

Tableau 05 : Tableau indique la détermination de la section minimal

Connaissant l'z et K (l'z est le courant équivalent au courant véhiculé par la canalisation : (l'z = lz/K), le tableau ci-après indique la section à retenir.

		Isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		Caoutchouc ou PVC			Butyle ou PR ou éthylène PR					
Lettre de sélection	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
	E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
	F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
Section cuivre (mm²)	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		1 083	
630					855	1 005	1 088		1 254	
Section aluminium (mm²)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	58	62	67	
	16	53	59	61	66	73	77	84	91	
	25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	263	280	300	337
	150		227	245	261	283	304	324	346	389
	185		259	280	298	323	347	371	397	447
	240		305	330	352	382	409	439	470	530
	300		351	381	406	440	471	508	543	613
400					526	600	663		740	
500					610	694	770		856	
630					711	808	899		996	

Tableau 06 : Puissances nominales normalisées des transformateurs en (kVA)

50	100	160	250	315	400	630	800	1000	1250	1600	2000
-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Tableau 07 : Choix des sections de jeu de barre

Dimensions des barres en mm	T Ambiante : 30 °C					Echauffement : 40 °C				
	Épaisseur des barres : e = 2 mm					Épaisseur des barres : e = 3,15 mm				
	Nombre de barres en // et par phases					Nombre de barres en // et par phases				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
10	110	210	292	360	427					
12,5	133	248	345	424	506					
16	163	299	417	515	612					
20	197	355	493	611	724	252	472	656	807	963
25	239	420	585	716	857	305	560	781	964	1145
31,5	292	504	700	863	1026	371	667	927	1149	1361
40	359	606	843	1041	1238	455	801	1115	1365	1634
50	436	724	1007	1243	1487	552	955	1325	1634	1943
63						675	1140	1586	1957	2328
Dimensions des barres en mm	Épaisseur des barres : e = 4 mm					Épaisseur des barres : e = 5 mm				
	Nombre de barres en // et par phases					Nombre de barres en // et par phases				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
20	288	551	765	943	1119	328	642	885	1088	1288
25	347	649	903	1111	1327	393	751	1043	1286	1526
31,5	422	776	1082	1335	1586	477	891	1239	1525	1821
40	517	930	1292	1602	1897	583	1070	1491	1840	2186
50	626	1101	1533	1878	2247	705	1269	1762	2185	2586
63	764	1322	1834	2262	2690	859	1512	2105	2578	3085
80	940	1589	2210	2727	3245	1056	1828	2535	3127	3718
100						1283	2167	3014	3719	4425
125						1558	2587	3600	4442	5314
160						1935	3115	4354	4663	5834

Tableau 08 : Température du conducteur.

Nature de l'organe, du matériau et du diélectrique (Cf : 1, 2 et 3)	Température θ (°C)	($\theta - \theta_n$) avec $\theta_n = 40$ °C
Raccords par boulons ou dispositifs équivalents (Cf : 7)		
cuivre nu, alliage de cuivre nu ou alliage d'aluminium dans		
l'air	90	50
le SF6 *	105	65
l'huile	100	60
argentés ou nickelés dans		
l'air	115	75
le SF6	115	75
l'huile	100	60
étamés dans		
l'air	105	65
le SF6	105	65
l'huile	100	60

Tableau 09 : Détermination de la puissance P_{cu}

Puissance	800		1000		1250		1600		2000
U_0	231	400	231	400	231	400	231	400	400
Pertes à vide	1,95	1,95	2,3	2,3	2,7	2,7	3,3	3,3	3,9
Pertes cuivre	12	10,5	13,9	12,1	17,5	15	21,3	18,1	22,5
U_{cc} à 75°C	5,5	4,5	6	5	5,5	5,5	6	6	7

Tableau 10 : Détermination de coefficient K_1 en fonction de nombre de barre méplate par phase.

		e/a								
		0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
nb de barres par phase		k1								
2		1,63	1,73	1,76	1,80	1,83	1,85	1,87	1,89	1,91
3		2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,63	2,65	2,68	2,70

Tableau 11 : Choix de disjoncteurs Compact NSX et NS

Disjoncteurs Compact NSX et NS										
Organisme	Disjoncteur	NS80H-MA			NSX100					
ABS	Courant assigné (A)	80			100					
BV	Type	MA			F	N	H	S	L	
DNV	Pouvoir de coupure	220/240V	100/100	85/85	90/90	100/100	100/100	120/120	150/150	
GL	Icu/Ics (kA eff.)	380/415V	70/70	36/36	50/50	70/70	100/100	150/150	150/150	
KRS	(IEC 60947.2)	440V	65/65	35/35	50/50	65/65	90/90	130/130	130/130	
LRS		500V	25/25	25/12,5	36/36	50/50	65/65	70/70	70/70	
RINA		690V	6/6	8/4	10/10	10/10	15/15	20/20	20/20	
RMRS										

Type de disjoncteur	NSX160-250					NSX400-630				
Courant assigné (A)	160-250					400-630				
Type	F	N	H	S	L	N	H	S	L	
Pouvoir de coupure	220/240V	85/85	90/90	100/100	120/120	150/150	85/85	100/100	120/120	150/150
Icu/Ics (kA eff.)	380/415V	36/36	50/50	70/70	100/100	150/150	50/50	70/70	100/100	150/150
(IEC 60947.2)	440V	65/65	35/35	50/50	65/65	90/90	35/35	50/50	65/65	90/90
	500V	25/25	25/12,5	36/36	50/50	65/65	30/30	36/36	50/50	65/65
	690V	6/6	8/4	10/10	10/10	15/15	8/8	10/10	10/10	15/15

Disjoncteur	NS800			NS1000			NS1250		NS1600		
Courant assigné (A)	800			1000			1250		1600		
Type	N	H	L	N	H	L	N	H	N	H	
Pouvoir de coupure	220/240V	50/50	70/52	150/150	50/50	70/52	150/150	50/50	70/52	50/37	70/35
Icu/Ics (kA eff.)	380/415V	50/50	70/52	150/150	50/50	70/52	150/150	50/50	70/52	50/37	70/35
(IEC 60947.2)	440V	50/50	65/49	130/130	50/50	65/49	130/130	50/50	65/49	50/37	65/32
	500V	40/40	50/37	100/100	40/40	50/37	100/100	40/40	50/37	40/30	50/25
	690V	30/30	42/31	25/25	30/30	42/31	25/25	30/30	42/31	30/22	42/21

Tableau 12 : Choix de disjoncteurs type GV3 et GK3 EF80

Pouvoir de coupure des GV3 L et GK3 EF80									
Type d'appareils				GV3 L25	GV3 L32	GV3 L40	GV3 L50	GV3 L65	GK3 EF80
Pouvoir de coupure du disjoncteur seul ou en association avec un relais thermique	230/240 V	Icu	kA	100	100	100	100	100	50
		Ics % (1)		100	100	100	100	100	40
400/415 V	Icu	kA	100	100	50	50	50	50	35
		Ics % (1)		50	50	50	50	50	25
440 V	Icu	kA	50	50	50	50	50	50	25
		Ics % (1)		50	50	50	50	50	30
500 V	Icu	kA	12	12	10	10	10	10	15
		Ics % (1)		50	50	50	50	50	30
690 V	Icu	kA	6	6	5	5	5	5	6
		Ics % (1)		50	50	60	60	60	50

Tableau 13 : Choix de disjoncteurs type GV2 L

GV2 L : commande par bouton tournant, raccordement par vis-étriers													
Puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3									Calibre de la protection magnétique	Courant de déclenchement Id ± 20 %	Associer avec le relais thermique (classe 10 A)	Référence	Masse
400/415 V			500 V			690 V							
P	Icu	Ics (1)	P	Icu	Ics (1)	P	Icu	Ics (1)					
kW	kA		kW	kA		kW	kA		A	A			kg
0,09	★	★	-	-	-	-	-	-	0,4	5	LRD 03	GV2 L03	0,330
0,12	★	★	-	-	-	0,37	★	★	0,63	8	LRD 04	GV2 L04	0,330
0,18	★	★	-	-	-	-	-	-	0,63	8	LRD 04	GV2 L04	0,330
-	-	-	-	-	-	0,55	★	★	1	13	LRD 05	GV2 L05	0,330
0,25	★	★	-	-	-	-	-	-	1	13	LRD 05	GV2 L05	0,330
-	-	-	-	-	-	0,75	★	★	1	13	LRD 06	GV2 L05	0,330
0,37	★	★	0,37	★	★	-	-	-	1	13	LRD 05	GV2 L05	0,330
0,55	★	★	0,55	★	★	1,1	★	★	1,6	22,5	LRD 06	GV2 L06	0,330
-	-	-	0,75	★	★	-	-	-	1,6	22,5	LRD 06	GV2 L06	0,330
0,75	★	★	1,1	★	★	1,5	4	100	2,5	33,5	LRD 07	GV2 L07	0,330
1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LRD 08	GV2 L08	0,330
1,5	★	★	1,5	★	★	3	4	100	4	51	LRD 08	GV2 L08	0,330
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LRD 08	GV2 L08	0,330
2,2	★	★	3	★	★	4	4	100	6,3	78	LRD 10	GV2 L10	0,330
3	★	★	4	10	100	5,5	4	100	10	138	LRD 12	GV2 L14	0,330
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	LRD 14	GV2 L14	0,330
-	-	-	-	-	-	7,5	4	100	10	138	LRD 14	GV2 L14	0,330
-	-	-	-	-	-	9	4	100	14	170	LRD 16	GV2 L16	0,330
5,5	50	50	7,5	10	75	11	4	100	14	170	LRD 16	GV2 L16	0,330
7,5	50	50	9	10	75	15	4	100	18	223	LRD 21	GV2 L20	0,330
9	50	50	11	10	75	18,5	4	100	25	327	LRD 22	GV2 L22	0,330
11	50	50	15	10	75	-	-	-	25	327	LRD 22	GV2 L22	0,330
15	35	50	18,5	10	75	22	4	100	32	416	LRD 32	GV2 L32	0,330

Tableau 14 : tableau indique la méthode simplifié pour déterminer le coefficient B afin de calculer la chute de tension selon la relation $\Delta U = K * I_b * L$

Section en mm ²		Circuit monophasé			Circuit triphasé équilibré		
		Force motrice		Eclairage	Force motrice		Eclairage
		Service normal	Démarrage		Service normal	Démarrage	
Cu	Al	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1
1,5		24	10,6	30	20	9,4	25
2,5		14,4	6,4	18	12	5,7	15
4		9,1	4,1	11,2	8	3,6	9,5
6	10	6,1	2,9	7,5	5,3	2,5	6,2
10	16	3,7	1,7	4,5	3,2	1,5	3,6
16	25	2,36	1,15	2,8	2,05	1	2,4
25	35	1,5	0,75	1,8	1,3	0,65	1,5
35	50	1,15	0,6	1,29	1	0,52	1,1
50	70	0,86	0,47	0,95	0,75	0,41	0,77
70	120	0,64	0,37	0,64	0,56	0,32	0,55
95	150	0,48	0,30	0,47	0,42	0,26	0,4
120	185	0,39	0,26	0,37	0,34	0,23	0,31
150	240	0,33	0,24	0,30	0,29	0,21	0,27
185	300	0,29	0,22	0,24	0,25	0,19	0,2
240	400	0,24	0,2	0,19	0,21	0,17	0,16
300	500	0,21	0,19	0,15	0,18	0,16	0,13

Annexe 2

Tableau 1 : Calculs des chutes de tension SP 03.

SP 03								
Allant de	à	Ib(A)	L (m)	Section (mm ²)	R(mΩ)	X(mΩ)	ΔU(v)	ΔU(%)
GEP 1	AGEP	308,98	9	185	0,001	0,0007	0,62	0,15
GEP 2	AGEP	308,98	13	185	0,0016	0,001	0,98	0,25
GEP 3	AGEP	308,98	17	185	0,002	0,0013	1,23	0,3
AGEP	TGBT	926,94	7	2*240	0,0003	0,0005	0,7	0,18
Coff éclairage	TGBT	33,81	10	6	0,04	0,0008	2,24	0,5
Compr	TGBT	20,42	25	1.5	0,4	0,002	12	3,02
P. roulant	TGBT	8,45	10	1.5	0,15	0,0008	1,87	0,47
TGBT	Inverseur de source	1154,7	5	3*150	0,0002	0,0004	0,69	0,17
Inverseur de source	GE	1154,7	17	3*150	0,0008	0,0013	2,52	0,63
Inverseur de source	Transfo	1154,7	15	3*150	0,0007	0,0012	2,26	0,56

Tableau 2 : Calculs des courants des courts circuits de la station SP01

Eléments de l'installation	Caractéristique	R (mΩ)	X (mΩ)	Z (mΩ)	Z _t (mΩ)	I _{cc} (kA)
Réseau amont	S _{cc} = 500 MVA	0,035	0,348	0,35	0,35	/
Transformateur	630 kVA 30 kV/400V U _{cc} = 4 %	0.001	10.16	10.16	10.51	24.23
Liaison transformateur disjoncteur	L = 40 m S= 480 mm ²	1.88	0.002	1.88	12.39	20.55
Disjoncteur principal	/	/	0,15	0,15	12.54	/
Jeu de barres du TGBT	L = 3 m S=500 mm ²	0.14	0.45	0.47	13.01	19.57
Disjoncteur	Disjoncteur	/	0,15	0,15	13.16	/
Départ compresseur	L=20 m S = 1,5 mm ²	300	1.6	300	313.16	0.81
Départ éclairage	L= 10 m S = 6 mm ²	37.5	0.8	37.51	50.67	5.02
Départ pont roulant	L= 10 m S = 1,5 mm ²	150	0.8	150	163.16	1.56
Liaison jeu de barre TGBT jeu de barre AGEP	L = 5 m S =300 mm ²	0.36	0.4	0.54	13.7	18.58
Jeu de barres AGEP	L =1 m S = 315 mm ²	0.07	0.15	0.17	13.87	18.32
Disjoncteur	Disjoncteur	/	0,15	0,15	14.02	/
Départ GEP1	L =8,5 m S =95 mm ²	2.01	0.68	2.12	16.14	15.76
Départ GEP2	L= 11,5 m S = 95 mm ²	2.72	0.92	2.87	16.89	15.07
Départ GEP3	L= 14,5 m S = 95 mm ²	3.43	1.6	3.78	17.8	14.3



Tableau 3 : Calculs des courants des courts circuits de la station SP03

Eléments de l'installation	Caractéristique	R (mΩ)	X (mΩ)	Z (mΩ)	Z _t (mΩ)	I _{cc} (kA)
Réseau amont	S _{cc} = 500 MVA	0,035	0,348	0,35	0,35	/
Transformateur	800 kVA 30 kV/400V U _{cc} = 6%	0.003	11.99	12	12.35	20.62
Liaison transformateur disjoncteur	L = 15 m S= 450 mm ²	0.75	1.2	1.41	13.76	18.5
Disjoncteur principal	/	/	0,15	0,15	13.91	/
Jeu de barres du TGBT	L = 3 m S=625 mm ²	0.108	0.45	0.46	14.37	17.71
Disjoncteur	Disjoncteur	/	0,15	0,15	14.52	/
Départ compresseur	L=25 m S = 1,5 mm ²	375	2	375	389,5	0,65
Départ éclairage	L= 10 m S = 6 mm ²	37,5	0,8	37,5	52.02	4,89
Départ pont roulant	L= 10 m S = 1,5 mm ²	150	0,8	150	164,5	1,55
Liaison jeu de barre TGBT jeu de barre AGEP	L =7 m S =480 mm ²	0.33	0.56	0.65	15.17	16.78
Jeu de barres AGEP	L =1 m S = 500 mm ²	0.045	0.15	0.16	15.33	16.61
Disjoncteur	Disjoncteur	/	0,15	0,15	15.48	/
Départ GEP1	L =9 m S =185 mm ²	1.09	0.72	1.31	16.79	15.16
Départ GEP2	L= 13 m S = 185 mm ²	1.58	1.04	1.89	18.68	13.63
Départ GEP3	L= 17 m S = 185 mm ²	2.07	1.36	2.48	21.16	12.03



Tableau 4 : Résultat des choix des disjoncteurs pour les différents départs SP01

Emplacement de disjoncteur	$I_n(A)$	$I_{cc}(KA)$	$I_{n-Disj}(A)$	Pdc(KA)	Type de disjoncteur	Type de courbe
Disj Départ vers TGBT	909,33	20.55	1250	37	NS1250N Mg/th*	D
Disj tête TGBT	909,33	20.55	1250	37	NS1000N différentiel	D
Départ de TGBT à AGEP	519,6	18.58	800	37	NS800N Mg/th	D
Disj tête AGEP	519,6	18.32	800	37	NS800N différentiel	D
Départ GEP1	251,02	15.76	400	36/50	NSX400F Mg/th	D
Départ GEP2	251,02	15.07	400	36/50	NSX400F Mg/th	D
Départ GEP3	251,02	14.3	400	36/50	NSX400F Mg/th	D
Départ1	33,96	5.02	40	50	GV3L40 Mg/th	C
Départ2	18,68	0.81	25	50	GV2L22 Mg/th	C
Départ3	8,49	1.56	16	50	GV2L20 Mg/th	C

*Mg/th : magnétothermique

Tableau 5 : Résultat des choix des disjoncteurs pour les différents départs SP03

Emplacement de disjoncteur	$I_n(A)$	$I_{cc}(KA)$	$I_{n-Disj}(A)$	Pdc(KA)	Type de disjoncteur	Type de courbe
Disj Départ vers TGBT	1154,7	18.5	1400	37	NS1400N Mg/th*	D
Disj tête TGBT	1154,7	17.71	1400	37	NS1400N différentiel	D
Départ de TGBT à AGEF	926,94	16.78	1400	37	NS1400N Mg/th	D
Disj Tête GEP	926,94	16.61	1400	37	NS1400N différentiel	D
Départ GEP1	392,22	15.16	630	36/50	NSX630F Mg/th	D
Départ GEP2	392,22	13.63	630	36/50	NSX630F Mg/th	D
Départ GEP3	392,22	12.03	630	36/50	NSX630F Mg/th	D
Départ1	33,961	4,89	40	50	GV3L40 Mg/th	C
Départ2	18,901	0,65	25	50	GV2L22 Mg/th	C
Départ3	8,490	1,55	16	50	GV2L20 Mg/th	C

*Mg/th : magnétothermique

Annexe 3

Tableau N°1 : Les différents schémas de liaison à la terre (TT, TN, IT) et la comparaison entre eux

	Schéma TT	Schéma TN	Schéma IT
Principe générale	Détection d'un courant de défaut passant par la terre et coupure de l'alimentation par dispositif à courant différentiel	Le courant de défaut est transformé en courant de court-circuit coupé par les dispositifs de protection contre les surintensités, les masses sont maintenues sous un seuil de potentiel non dangereux	La maîtrise du courant du 1er défaut à une valeur très faible, limite la montée en potentiel des masses, il n'y a alors pas nécessité de coupure
Avantage	<ul style="list-style-type: none"> - Simplicité (peu de calculs à l'installation) - Extension sans calcul des longueurs - Courants de défaut faibles (sécurité contre l'incendie) - Peu de maintenance (sauf test régulier des différentiels) 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût réduit (les protections sont utilisées pour les courants de défaut et pour les surintensités) - La prise de terre n'a pas d'influence sur la sécurité des personnes - Faible susceptibilité aux perturbations (bonne équipotentialité, neutre relié à la terre) 	<ul style="list-style-type: none"> - Continuité de service (pas de coupure au 1^{er} défaut) - Courant de 1er défaut très faible (protection contre l'incendie) - Courant de défaut peu perturbateur - Alimentation de récepteurs sensibles aux courants de défaut (moteurs)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de sélectivité différentielle si dispositif unique en tête d'installation - Nécessité de différentiels sur chaque départ pour obtenir la sélectivité horizontale (coût) - Risque de déclenchements intempestifs (surtensions) 	<ul style="list-style-type: none"> - Courants de défauts élevés (génération de Perturbations et risques d'incendie particulièrement en TN-C) - Nécessité de calculs de lignes précis - Risque en cas d'extensions de rénovation Ou d'utilisations non maîtrisées (personnel compétent) 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût d'installation (neutre protégé, para surtenseurs) - Coût d'exploitation (personnel compétent, localisation des défauts) - Risques au 2^{ème} défaut : <ul style="list-style-type: none"> - surintensités de court-circuit - perturbations (montée en potentiel de la terre)