



Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

KOUHAIL Bahija

Pour l'obtention du diplôme

Master Sciences et Techniques

*Electronique, Signaux et Systèmes Automatisés
(E.S.S.A)*

Intitulé

**Etude descriptive du Système Numérique de Contrôle-
Commande (SNCC) des groupes turbo- alternateurs et
étude critique du réseau électrique de Maroc-Chimie**

Encadré par :

Pr. MECHAQRANE Abdellah (FST-FES)
Mr. CHAKIR Khalid (OCP-SAFI)

Soutenu le 12 Juin 2017, devant le jury composé de :

Pr. MECHAQRANE Abdellah (FST-FES)
Pr. ES-SBAI Najia (FST-FES)
Pr. ERRAHIMI Fatima (FST-FES)

Dédicace

A mes très chers parents

Pour tous vos efforts pour me voir heureuse et toutes vos prières pour moi. Je ne saurai vous remercier assez pour tout ce que vous avez fait pour moi. Aucun mot ne suffirait à exprimer ma gratitude pour les sacrifices consentis à mon éducation.

*A mes sœurs : Siham & Wafaa,
A mes frères : Abdelillah & Youness,*

En guise de mon amour, je vous dédie le présent travail et je vous souhaite un avenir plein de bonheur et de réussite. Que Dieu nous garde réunis encore et toujours...

A tous mes amis et amies

Qui me sont chers surtout : Malika, qu'elle trouve ici l'expression de mes sentiments les plus dévoués et mes vœux les plus sincères.

A Monsieur Chayah Abdelmajid

Aucun mot ne suffirait à exprimer mes remerciements pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Je dédie ce modeste travail, expression de mon grand amour avec tous mes vœux de bonheur et de prospérité.

KOUHAIL Bahija ✍

Remerciements

Louange à Allah le tout puissant qui m'a accordé la foi, le courage et la patience pour mener ce travail.

Je voudrais en premier lieu exprimer mes plus vifs remerciements à Monsieur Mohamed ABI, chef du service électrique, sa rigueur scientifique et sa clairvoyance m'ont beaucoup appris et qui resteront de très bonnes expériences dans ma vie professionnelle.

J'adresse également mes sincères remerciements à Monsieur CHAKIR Khalid chef du service production, qui fut pour moi un encadrant, pour sa disponibilité, ses remarques fructueuses.

Ces remerciements vont également au Directeur Générale de l'Office Chérifien des Phosphates Monsieur TERRAB Mostafa. Merci aussi d'avoir accepté de me recevoir au niveau de OCP.

Et par la même occasion, je ne raterai pas d'exprimer toute ma gratitude à Monsieur MECHAQRANE Abdellah mon encadrant au sein de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour m'avoir fait part de son expérience, toutes ses remarques, commentaires et suggestions.

Je remercie également le jury qui m'a honoré en acceptant de juger et d'enrichir ce modeste travail.

Mes remerciements sont destinés aussi à toute ma famille, et tous mes amis pour leur aide et leur soutien.

KOUHAIL Bahija ✍

Résumé

Aujourd'hui l'industrie reste le premier pôle économique grâce aux nouvelles technologies de plus en plus utilisées pour faire face à un contexte marqué par une concurrence tenace, un progrès technologique ultras rapide et une clientèle mieux en mieux informé. De ce fait, le positionnement dans le marché exige une bonne productivité, une efficacité des processus de production et une économie de l'énergie. Dans ce cadre, les nouvelles technologies se révèlent un levier puissant de croissance et d'expansion.

Le groupe OCP adopte une nouvelle stratégie visant, l'augmentation significative de sa capacité de production, pour cela, la division Maroc Chimie a subi des nouvelles extensions au niveau de réseau électrique, qui visent d'augmenter la production et assurer la continuité de celui-ci.

L'OCP, est compte tenu de son ouverture sur les établissements universitaires et dans le cadre d'un projet de fin d'étude, m'a confié la réalisation d'un projet qui consiste, dans un premier temps, à faire une étude descriptive de système de contrôle-commande des groupes turboalternateurs de la centrale, ensuite à décrire le réseau électrique de Maroc Chimie, à calculer les courants de court-circuit par « ETAP » et à étudier la sélectivité entre les organes de protection.

Liste des figures

Figure 1 : Composants de l'atelier énergie et fluide	4
Figure 2 : Flux du groupe turboalternateur	7
Figure 3 : Schéma structurel du groupe turboalternateur	9
Figure 4 : Structure d'un SNCC	11
Figure 5 : Structure du SNCC Siemens des GTAs.....	13
Figure 6 : Pyramide CIM	14
Figure 7 : Système automatisé siemens S7-400H	15
Figure 8 : Schéma unifilaire du réseau électrique de Maroc Chimie	20
Figure 9 : Diagramme de Pareto des pannes	23
Figure 10 : Diagramme Ishikawa de déclenchement de la ligne ONE	24
Figure 11 : Diagramme d'Ishikawa de déclenchements des moteurs.....	24
Figure 12 : Diagramme d'Ishikawa de déclenchements du transformateur	25
Figure 13 : Diagramme d'Ishikawa de déclenchements des GTAs	25
Figure 14 : Diagramme d'Ishikawa de déclenchements des défauts liaisons.....	25
Figure 15 : La composante alternative et celle continue du courant de court-circuit.	27
Figure 16 : Types du courant de court-circuit	29
Figure 17 : Exemple du tronçon de réseau	30
Figure 18 : Exemple de calcul de court-circuit sous ETAP	33
Figure 19 : Schéma du réseau électrique de Maroc Chimie sous ETAP.....	34
Figure 20 : Schéma du réseau électrique après la solution proposée	41
Figure 21 : En temps normal, l'élément supraconducteur à une résistance nulle.....	42
Figure 22 : cas de court-circuit, l'élément supraconducteur retourne à l'état normal et limite le courant.....	42
Figure 23 : Constituants du disjoncteur.....	43
Figure 24 : Courbe de déclenchement magnétothermique.....	44
Figure 25 : Salle MT de la centrale Maroc Chimie.....	45
Figure 26 : Sélectivité totale et partielle.....	46
Figure 27 : TCC relatif au transformateur et au câble HTA	49
Figure 28 : Localisation du défaut.....	49
Figure 29 : Graphique de coordination des Protections	50
Figure 30 : localisation du défaut	50
Figure 31 : Graphique de coordination des protections	51
Figure 32 : TCC de la pompe	53
Figure 33 : Localisation du défaut.....	54
Figure 34 : Graphique de coordination des protections	54
Figure 35 : Courbe d'enclenchement du transformateur TR1	55
Figure 36 : Localisation du défaut.....	56
Figure 37 : Graphique de coordination des protections	57
Figure 38 : Graphique de coordination des protections	58
Figure 39 : Graphique de coordination des protections	59
Figure 40 : Graphique de coordination des protections	60
Figure 41 : Localisation du défaut.....	60
Figure 42 : Localisation du défaut.....	61
Figure 43 : Graphique de coordination des protections	61

Figure 44 : Graphique de coordination des protections	62
Figure 45 : Localisation du défaut.....	63
Figure 46 : Localisation du défaut	64
Figure 47 : Graphique de coordination des protections	64
Figure 48 : Graphique de coordination des protections	65
Figure 49 : Graphique de coordination des protections	66
Figure 50 : Localisation du défaut.....	66
Figure 51 : Localisation du défaut.....	67
Figure 52 : Graphique de coordination des protections	68
Figure 53 : Graphique de coordination des protections	69
Figure 54 : Logiciel « SFT2841 »	70

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fiche technique du Groupe OCP	2
Tableau 2 : Caractéristiques du groupe turboalternateur	7
Tableau 3 : Statistique des natures des pannes	22
Tableau 4 : Impacts des causes sur l'effet	23
Tableau 5 : Résultats des courants de court-circuit dans les différents ateliers	35
Tableau 6 : Caractéristiques des disjoncteurs de la centrale	35
Tableau 7 : Caractéristiques des disjoncteurs des ateliers.....	36
Tableau 8 : Caractéristiques du tableau principal et du filtration	36
Tableau 9 : Caractéristiques du tableau de TED, PP2 et TSP	36
Tableau 10 : Caractéristiques du tableau de NUB, PEM, CAP3, SEM, PS2, PS3, PP1 et MCP	37
Tableau 11 : Tenue électrodynamique des tableaux des ateliers de Maroc Chimie.....	37
Tableau 12 : Tenue thermique des tableaux des ateliers de Maroc Chimie.....	38
Tableau 13 : Tenue à l'arc interne des tableaux des ateliers de Maroc Chimie.....	39
Tableau 14 : Valeurs de I_{cc} avant et après la solution proposée.....	41
Tableau 15 : Les valeurs de I_{cc} avant et après la solution proposée.....	41
Tableau 16 : Réglages du relais amont du transformateur	48
Tableau 17 : Réglages du relais aval du transformateur	48
Tableau 18 : Caractéristiques de la pompe.....	51
Tableau 19 : Réglages de la protection du relais départ pompe.....	52
Tableau 20 : Réglages actuels des protections de TR1	53
Tableau 21 : Réglages actuels des protections utilisés.....	55
Tableau 22 : Réglages proposés	57
Tableau 23 : Réglages actuels des protections de la boucle TED-PEM	58
Tableau 24 : Réglages phase-terre actuels des protections des arrivées	63
Tableau 25 : Réglages phase-terre actuels des protections tension résiduelle des arrivées	63
Tableau 26 : Réglages phase-terre actuels des protections utilisées	64
Tableau 27 : Réglages phase-terre actuels des protections utilisées	65
Tableau 28 : Réglages phase-terre actuels des protections utilisées	67

Liste des abréviations

API ou PP1	Atelier de P roduction d' A cide P hosphorique
Al₂(SO₄)₃	Sulfate d'Alumine
BW	B ABCOCK W ILOCOX
BP	B asse P ression
CIM	C omputer I ntegrated M anufacturing
CAP	C oncentration d' A cide P hosphorique
CT	C entrale T hermoélectrique
CA	C ompression d' A ir
DT	Protection à maximum de courant à temps indépendant (D efinite T ime)
EF	E nergie et F luide
GTA	G roupe T urbo- A lternateur
HP	H aute P ression
IDS	P ôle I ndustriel de S afi
IHM	I nterface H omme M achine
IPS	I nstructions P ermanentes de S écurité
MP	M oyenne P ression
MC	M aroc C himie
ONE	O ffice N ational d' E lectricité
OCP	O ffice C héridien des P hosphates
P₂O₅	A cide P hosphorique
PF	P ompage du F uel
PE	P ompage F uel
PS₂	Atelier de P roduction d' A cide S ulfurique 2
PEM	P ompage d' E au de M er
SEM	S uppression de l' E au de M er
ST	Protection à maximum de courant à temps dépendant
TSP	T ype des E ngrais
TMH/j	T onne M onohydrates par J our
TED	T raitement d' E au de D ouce

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : présentation de l'entreprise d'accueil.....	2
I. Introduction.....	2
II. Présentation générale du groupe OCP au Maroc.....	2
III. Pôle Industriel de Safi	2
IV. Description de la division d'accueil Maroc chimie.....	3
IV.1. Les installations de la division Maroc Chimie	3
IV.2. Présentation de l'atelier énergie et fluide	4
IV.2.1. La centrale thermique (CT)	4
IV.2.2. Station de traitement de l'eau douce (TED)	4
IV.2.3. Station de pompage de l'eau de mer (PEM).....	5
IV.2.4. Station de compression de l'air (CA)	5
IV.2.5. Station de surpression de l'eau de mer (SEM)	5
IV.2.6. Station de pompage du Fuel (PF)	6
IV.3. Les composants de la centrale thermique.....	6
IV.3.1. Chaudière auxiliaire BW2	6
IV.3.2. Bassin de filtration.....	6
IV.3.3. Bâche alimentaire	6
IV.3.4. Bâche à condensats	6
IV.3.5. Echangeur NORIA.....	7
IV.3.6. Groupe électrogène 2 MVA.....	7
IV.3.7. Compresseur d'air.....	7
IV.3.8. Groupes turboalternateurs.....	7
V. Cahier de charges du projet	9
VI. Conclusion	9
Chapitre 2 : Etude descriptive des systèmes de contrôle-commande des groupes turboalternateurs de la centrale de Maroc Chimie	10
I. Introduction.....	10

II. Etude générale des systèmes numériques de contrôle-commande	10
II.1 Définition d'un DCS	10
II.2. Structure du système numérique de contrôle-commande	10
II.3. Les rôles d'un système numérique de contrôle-commande	12
III. Etude du système numérique de contrôle commande des groupes turboalternateurs de la centrale thermique	12
III.1. Description du SNCC des groupes turboalternateurs	12
III.1.1. Les niveaux de la pyramide CIM	13
III.1.2. Les réseaux de communication	16
III.1.3. Périphérie décentralisée ET200M	17
III.1.4. Présentation du WinCC	17
III.2. Avantages et limites du SNCC de la centrale : SIMATIC PCS7	17
IV. Conclusion	18
Chapitre 3 : Description du réseau électrique de Maroc Chimie et Diagnostic des causes électriques des déclenchements généraux du complexe	19
I.Introduction	19
II.Description du réseau électrique de Maroc Chimie.....	19
II.1. Généralités sur les réseaux électriques	19
II.2. Structure actuelle du réseau électrique de Maroc chimie	19
II.3. Le réseau électrique HTA	20
II.4. Les différents modes d'exploitation du réseau	21
II.5. Le délestage	21
III. Diagnostic et analyse des causes électriques des déclenchements généraux du complexe	22
III.1. Analyse des causes survenues sur la ligne C244	23
III.2. Analyse des causes survenues au niveau du réseau électrique interne	24
III.Conclusion.....	26
Chapitre 4 : Calcul du courant de court-circuit	27
I.Introduction	27
II.Généralités sur les courants de court-circuit.....	27
II.1. Définition de courant de court-circuit	27
II.2. Caractéristiques de courant de court-circuit	28
II.3 Méthodes de calcul des courants de court-circuit	30
III. Calcul manuel des courants de courts circuits par la méthode des impédances	32
III.1. Modélisation de la ligne C244	32
III.2. La nécessité de calcul par ordinateur	33
IV. Calcul et analyse des résultats obtenus par ETAP	33

IV.1. Présentation du logiciel ETAP	33
V.2 Vérification du calcul manuel.....	33
IV.3. Calcul des courants de court-circuit au niveau des jeux de barres par ETAP selon la norme CEI 60909.....	34
IV.3 .1 Modélisation du réseau électrique de Maroc Chimie	34
IV.3.2 Résultats et analyse du calcul des courants de court-circuit.....	34
IV.4. Vérification du dimensionnement des tableaux HTA	36
IV.4 .1 Vérification de la tenue électrodynamique des tableaux des ateliers de Maroc Chimie.....	37
IV.4.2. Vérification de la tenue thermique des tableaux des ateliers de Maroc Chimie...	38
IV.4.3. Vérification de la tenue à l'arc interne des tableaux des ateliers de Maroc Chimie	39
V.Solutions proposées pour limitation des courants de court-circuit.....	39
V.1. Solution 1 : changement de trois selfs	40
V.2. Solution 2 : Ajout des selfs de limitation dans les arrivées	40
V.3. Solution 3 : limiteur de courant à supraconducteur résistif	42
VI.Conclusion	42
Chapitre 5 : Réglages des protections et étude de la sélectivité.....	43
I. Introduction.....	43
II.Les dispositifs de protection	43
II.1. Le disjoncteur.....	43
II.2. Relais de protection.....	44
II.3. Généralités sur la sélectivité	45
III. Réglages des protections du réseau Maroc Chimie	46
III.1. Réglages des protections du transformateur HTB/HTA.....	46
III.2. Réglage de protection des départs moteurs HTA	51
VI. Etude de la sélectivité du réseau Maroc Chimie	54
VI.1. Sélectivité vis-à-vis des défauts entre phases.....	54
VI.1.1. Fonctionnement sur GTA1 : défaut entre phases au secondaire de TR1	54
VI.1.2. Fonctionnement sur GTA1 : Défaut entre phases aux bornes du moteur 924IP01B (200KW)	55
VI.1.3. Mode normal : défaut entre phases sur un câble aval self, boucle TED-PEM ouverte.....	58
VI.1.4. Mode normal : défaut entre phases sur un câble aval self, boucle fermée.....	61
VI.2. Sélectivité vis-à-vis des défauts entre phase et terre	62
VI.2.1. Mode normal : défaut phase-terre sur le jeu de barres principal.....	62

VI.2.2. Mode normal : défaut phase-terre au primaire du TR1	63
VI.2.3. Mode normal : défaut phase-terre sur un tableau aval self, boucle PEM-TED ouverte	65
VI.2.4. Mode normal : défaut phase-terre sur un tableau aval self, boucle fermée (boucle PP2-CAP3)	66
VI.3. Le logiciel « SFT2841 »	69
V. Conclusion	70
Conclusion générale	71
Annexes	72
Références	79

Introduction générale

Vu la grande compétitivité dans le monde industriel, les entreprises sont appelées à améliorer la qualité de leurs produits et services par l'adoption d'une politique qui tient compte de l'évolution économique et technologique actuelle.

Grâce au développement de l'électronique numérique, l'automatisation et l'informatisation deviennent de plus en plus des éléments stratégiques fondamentaux pour les industriels.

En effet, le recours aux systèmes automatisés et informatisés offre aux entreprises de nouveaux outils pour le contrôle-commande des processus de production. Ce qui permet à l'entreprise de répondre aux différentes exigences d'une manière optimale.

Pour ces raisons, la division Maroc Chimie (Safi) de l'OCP (Office Chérifien des Phosphates), et conformément à son plan stratégique de développement ambitieux, ne cesse de consolider ses actions d'ampleur et améliorer ses installations et ses ressources pour renforcer sa position concurrentielle à l'échelle internationale. Dans ce cadre, elle a donné la priorité aux projets visant la rénovation de ses outils de production et l'amélioration de ses performances tout en assurant la continuité de ses services. Ce programme s'est traduit par le lancement de plusieurs projets de développement (extensions des unités existantes) dont certains sont achevés et d'autres sont encore en cours d'exécution ou bien en phase d'étude.

C'est dans cette perspective, qu'il nous a été proposé, dans le cadre de notre projet de fin d'études, la réalisation d'une étude descriptive du système de contrôle-commande des groupes turbo-alternateurs et une étude critique du réseau électrique.

Le présent mémoire représente le travail accompli et sera structuré comme suit :

Dans le premier chapitre, nous allons faire une présentation de l'organisme d'accueil suivi d'une étude descriptive du système de contrôle-commande des groupes turboalternateurs dans le deuxième chapitre.

Le troisième chapitre sera consacré à la description du réseau électrique de Maroc Chimie et le chapitre suivant présentera le calcul des courants de court-circuit au niveau de tous les points de ce réseau afin de vérifier les caractéristiques des équipements installés.

Dans le dernier chapitre, on s'est focalisé sur une étude de la sélectivité du réseau afin de vérifier les réglages des protections des différents organes de coupure du réseau électrique.

Chapitre 1 :

Présentation de l'entreprise d'accueil

I. Introduction

Avant de présenter les éléments et le cahier de charges de ce projet, il nous est indispensable de décrire l'environnement dans lequel celui-ci s'est déroulé et ceci afin d'anticiper en quelque sorte le besoin ou la nécessité d'un tel projet.

Cette partie est consacrée à une présentation globale du groupe Office Chérifien des Phosphates et du pôle industriel de Safi, suivie de celle de Maroc Chimie et de l'atelier énergie et fluide, lieu du déroulement de notre stage.

II. Présentation générale du groupe OCP au Maroc

Le groupe OCP est l'un des piliers de l'économie nationale, puisqu'il représente le premier exportateur du phosphate sous toutes ses formes, ainsi que par sa contribution dans le développement social et économique des différentes régions du pays.

Son ouverture traditionnelle sur l'international l'a poussé à développer, en permanence, des capacités d'adaptation, de flexibilité et d'anticipation pour pouvoir répondre aux exigences, de plus en plus fortes, des clients dans un marché fortement concurrentiel.

Le tableau suivant résume quelques informations principales concernant le groupe OCP.

Tableau 1 : Fiche technique du Groupe OCP.

Raison sociale	Office Chérifien des Phosphates(OCP)
Date de création de l'OCP	Le 7 Aout 1920
Date de création du groupe	1975
Statut juridique	Société anonyme
Activités	Extraction, traitement, valorisation et commercialisation des phosphates et ses dérivés.
Réserves de phosphate	$\frac{3}{4}$ des réserves mondiales
Sites de valorisation chimique	Safi et Jorf-Lasfar
Sites d'exploitation minière	Yousoufia-Ben geuirir- Boucraa et Laayoune
Ports d'embarquement	Casablanca- Jorf-Lasfar- Safi et Laayoune

III. Pôle Industriel de Safi

Le Pôle Industriel de Safi (IDS) est l'un des plus grandes plates formes de fabrication d'acide phosphorique par la valorisation des phosphates minéraux à l'échelle mondiale. C'est une société anonyme, filiale du groupe OCP.

Le site de Safi est le premier site chimique du groupe OCP qui a démarré en 1965 avec l'usine Maroc Chimie, le site comporte aujourd'hui 2 autres unités de production : Maroc Phosphore1 et Maroc Phosphore2.

Ce pôle contient les divisions suivantes :

🇵🇸 Maroc Chimie :

Créée en 1965, cette usine fabrique des engrais qui contiennent essentiellement le phosphate, élément nutritif des plantes, il est constitué :

- De deux ateliers de production d'acide sulfurique ;
- De deux ateliers de production d'acide phosphorique ;
- D'un atelier énergie et fluide ;
- Des unités de stockage des produits.

🇵🇸 Maroc Phosphore I :

Le complexe Maroc phosphore I a démarré en 1976 sur la base de l'utilisation des phosphates clarifiés de Youssoufia et au soufre importé pour la production d'acide phosphorique dont 25% est transformé en engrais. Il contient les unités suivantes :

- Un atelier de fusion de soufre ;
- Un atelier de production d'acide sulfurique ;
- Un atelier énergie et fluide ;
- Un atelier de production des engrais ;
- Des unités de stockage des produits.

🇵🇸 Maroc Phosphore II :

L'importation du soufre solide constitue la première étape. Transporté à l'atelier fusion et filtration de MPI, le soufre est transformé en l'état liquide dépourvu des cendres, il constitue la matière indispensable pour la fabrication de l'acide sulfurique. Cette opération s'effectue au sein de l'atelier sulfurique.

Maroc phosphore II dispose de quatre ateliers de production jouant un rôle majeur dans la valorisation des phosphates :

- Atelier laverie ;
- Atelier de production d'acide phosphorique ;
- Atelier énergie et fluides ;
- Atelier de production d'acide sulfurique.

IV. Description de la division d'accueil Maroc chimie

IV.1. Les installations de la division Maroc Chimie

Le complexe est composé de :

- Une centrale thermoélectrique de puissance 33 MW ;
- Deux lignes sulfuriques de capacité 100TMH/j ;(Tonne monohydrates) ;
- Une ligne sulfurique de capacité 2300TMH/j ;
- Trois lignes phosphoriques de capacité 360 T /J (×2) et 680 T /J (×1) ;

- Deux lignes engrais de capacité 1215 T TSP/J chacune (une ligne Nord et une ligne Sud) ;
- Une unité de traitement acide phosphorique de capacité 700 T P₂O₅/J.

IV.2. Présentation de l'atelier énergie et fluide

Cet atelier est destiné à produire les différentes utilités nécessaires pour le fonctionnement des unités de production du complexe (à savoir : énergie électrique, vapeur, eau filtrée, eau désiliciée, eau de mer, Air comprimé...).

Il est composé des sous ateliers suivants :

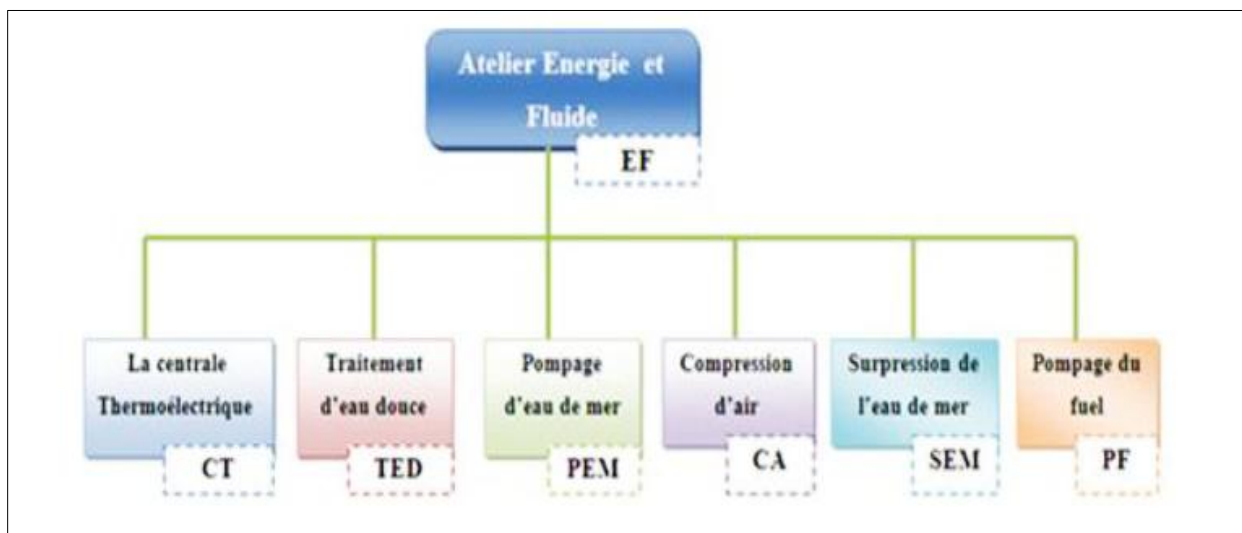


Figure 1 : Composants de l'atelier énergie et fluide.

IV.2.1. Centrale thermique (CT)

La centrale thermoélectrique est constituée de :

- 2 groupes turboalternateurs de capacités : 2*16,5 MW ;
- Une chaudière auxiliaire à fuel de capacité 30 T/h, pour la production de l'appoint en vapeur haute pression ;
- Un compresseur d'air pour la production d'air comprimé Service et Instrument ;
- Un groupe électrogène (groupe Diésel) de capacité 2.5MW destinée pour secourir les équipements électriques en cas de nécessité ;
- Une liaison ONE réversible de capacité 30 MVA destinée à assurer l'appoint en énergie électrique de l'ONE en cas de déficit et de livrer le surplus en cas d'excédent.

IV.2.2. Station de traitement de l'eau douce (TED)

L'eau douce brute provenant de la retenue de Safi à raison d'un débit maxi de 1000 m³/h subit dans la station TED plusieurs opérations de traitements. Cette station se compose de deux unités principales :

-Unité d'épuration : consiste à éliminer les matières en suspension et les substances colloïdales suite à une série d'opérations enchaînées :

- **Chloration** : pour détruire les matières organiques ;

- **Floculation** : Avec la sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$ pour rassembler en un précipité volumineux et lourd les matières en colloïdales très fines contenues dans l'eau ;
- **Décantation** : Elle permet la décantation, le dépôt pour évacuation des particules en suspension dans l'eau résultant de la floculation ;
- **Filtration** : Les filtres à sable permettent de retenir les fines particules en suspension qui n'ont pas pu être décantées.

- **Unité de déminéralisation** : elle a pour rôle d'éliminer les ions contenus dans l'eau filtrée. Cette unité est dotée de quatre chaînes composées chacune d'une chaîne primaire qui est destinée à éliminer la majeure partie des ions contenus dans l'eau et d'une autre secondaire qui sert à capter les fuites ioniques de la chaîne primaire et les sels d'acides faibles tels que Silice et CO_2 .

IV.2.3. Station de pompage de l'eau de mer (PEM)

La station de pompage de l'eau de mer assure le refoulement de l'eau de mer vers les ateliers de production. L'eau subit les étapes suivantes :

- ✚ **Tranquillisation** : L'eau de mer passe à travers un tunnel pour alimenter un bassin de tranquillisation pour amortir la houle ;
- ✚ **Dessablage** : Après le bassin de tranquillisation, l'eau passe à travers un second bassin qui permet le dessablement ;
- ✚ **Filtration** : L'eau dessablée alimente deux filtres rotatifs du type Beaudry travaillant en parallèle et pouvant traiter 12 000 m^3/h par filtre ;

L'eau est alors refoulée à l'aide de 6 pompes (3 pompes BP : 5400 m^3/h , 3 pompes HP : 1000 m^3/h) vers les ateliers de production pour les besoins de réfrigération.

IV.2.4. Station de compression d'air (CA)

La station de compression d'air assure les besoins en air de service et l'air d'instrumentation, elle est équipée de :

- Deux compresseurs ATLAS COPCO ZR5 N°1 et ZR5 N°2 de débit nominal 3000 $N.m^3/h$ (Hors service) ;
- Un compresseur INGERSOLL-RAND CENTAC de débit nominal 5000 $N.m^3/h$;
- Deux compresseurs ZR 500- ZR 400 de débit nominal 4200 $N.m^3/h$ chacun.

IV.2.5. Station de surpression de l'eau de mer (SEM)

La station SEM sert à alimenter MC en eau de mer.

Elle est constituée de :

SEM 1 :

- ❖ Deux pompes surpresseuses (HP) de débits 3200 m^3/h et de pression 5 à 6 bars alimentant PPII (une pompe en service et l'autre en réserve) ;
- ❖ Une pompe surpresseuse (BP) de débit 4000 m^3/h et de pression 3 à 4 bars refoulant vers PSII ;
- ❖ Deux pompes de recyclage de débit 2700 m^3/h qui aspire l'eau de mer chaude du canal de rejet de la centrale vers une nouvelle utilisation.

SEM2 :

- ❖ Une pompe surpresseuse (HP) de débit 3200m³/h et de pression 5 bars alimentant API ;
- ❖ Deux pompes surpresseuses (BP) de débit 3000 m³/h et de pression 3 à 3.5bars refoulant vers PSIII (une pompe en service l'autre en réserve).

IV.2.6. Station de pompage du Fuel (PF)

Elle est composée de deux citernes pour le stockage du fuel lourd de capacité 1000 m³/h chacune. La station permet le dépotage des citernes et l'alimentation des ateliers demandeurs.

IV.3. Les composants de la centrale thermique

Elle est destinée à la production de l'énergie électrique, de la vapeur nécessaire pour les différents ateliers de production. Elle se compose des éléments suivants :

- ✓ Chaudière auxiliaire BW2 ;
- ✓ Bassin de filtration ;
- ✓ Bâche alimentaire ;
- ✓ Bâche à condensats ;
- ✓ Echangeur NORIA ;
- ✓ Groupe électrogène ;
- ✓ Compresseur d'air ;
- ✓ Deux groupes turboalternateurs.

IV.3.1. Chaudière auxiliaire BW2

La chaudière BW2, générateur de vapeur est un appareil destiné à transformer l'eau en vapeur à une pression et une température bien définies en fonction des besoins énergétique du complexe.

L'apport calorifique vient de la combustion de fuel-oil qui cède l'énergie thermique à l'eau alimentaire pour avoir de la vapeur sèche à 450°C et 58 bars (Vapeur haute pression).

La chaudière auxiliaire BW2 est constituée d'un ensemble d'éléments destinés à produire de la chaleur disponible sous forme d'une vapeur, celle-ci est transformée ensuite aux autres types d'énergie successivement : mécanique puis électrique.

IV.3.2. Bassin de filtration

Ce bassin est destiné à filtrer l'eau de mer grâce à ces équipements : degrileur, tambour filtrant et le pont dessableur afin de la distribuer aux ateliers concernés pour le refroidissement.

IV.3.3. Bâche alimentaire

Ce système a pour fonction de dégazer l'eau du cycle ainsi que les condensats, de la traiter et de la préchauffer avant sa distribution vers les consommateurs suivants :

- La chaudière BW2 ;
- Les postes d'eau des ateliers PSII et PSIII.

IV.3.4. Bâche à condensats

Ce système a pour fonction de collecter les condensats des CAP pour les envoyer vers le dégazeur de la bâche alimentaire via les pompes de reprise et mesurer la conductivité en ligne des arrivées de condensats (en cas de pollution, les condensats sont envoyés aux égouts via une vanne trois voies).

IV.3.5. Echangeur NORIA

Ce système permet d'évacuer les dégagements thermiques des auxiliaires principaux (groupes turboalternateurs, compresseurs...). Sa fonction est d'assurer la circulation en circuit fermé de l'eau de refroidissement à travers des échangeurs eau déssilicée (source chaude) /eau de mer (source froide).

IV.3.6. Groupe électrogène 2.5 MVA

Le groupe électrogène démarre automatiquement lors de l'absence de la tension électrique dans les 2 jeux de barres de la centrale (déclenchement électrique générale).

IV.3.7. Compresseur d'air

La station de compression d'air assure les besoins en air de service et l'air d'instrumentation elle est équipée d'un seul compresseur.

IV.3.8. Groupes turboalternateurs

Pour la production de l'énergie électrique, la centrale dispose de deux groupes turboalternateurs à condensation de puissance normale unitaire de l'ordre de 16.5MW produisant de l'énergie électrique tout en soutirant de la vapeur moyenne pression.

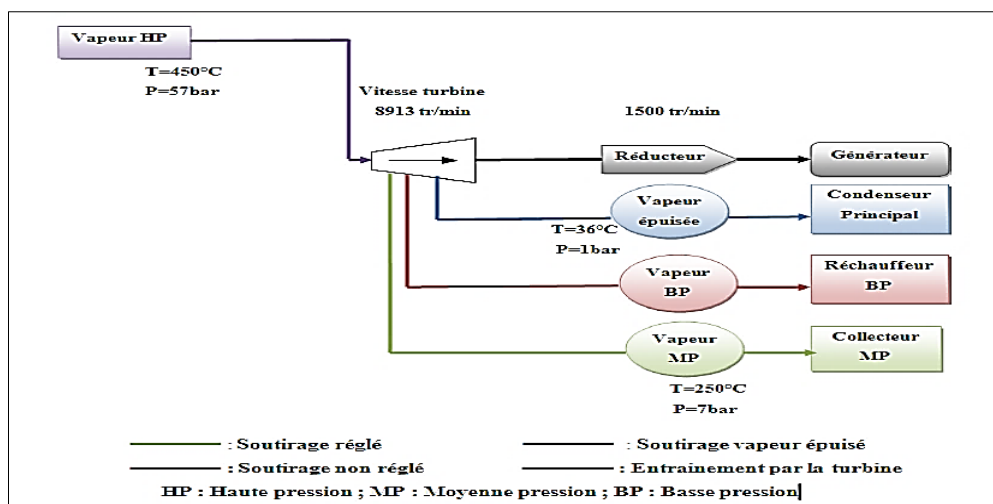


Figure 2 : Flux du groupe turboalternateur.

Le tableau suivant présente les caractéristiques techniques des équipements du groupe turboalternateur à condensation :

Tableau 2 : Caractéristiques du groupe turboalternateur.

Marque	Siemens
Puissance maximale (MW)	16.5

Vitesse de rotation (tr/min)	8323		
Pression vapeur (bar)	55	57	58
Température vapeur admissible (°C)	440	450	460
Consommation spécifique (T/MW)	6		
Température d'eau de mer (°C)	18	20	

Chaque groupe turboalternateur est constitué de :

✚ **Une turbine** à action : transforme l'énergie calorifique de la vapeur qui lui est fournie en travail utilisable sur l'arbre. Cette transformation n'est cependant pas faite directement, l'énergie calorifique étant tout d'abord convertie en énergie cinétique par détente de la vapeur dans un aubage fixe, d'une pression à une autre pression plus faible.

La vapeur dégradée est soutirée par un système de soutirage à trois niveaux :

1er soutirage réglé : pris dans l'étage moyenne pression de la turbine pour évacuer la VM (7bar, 250°C) dans le collecteur MP et qui sera distribuée par la suite aux autres ateliers.

2ème soutirage non réglé : pris entre l'étage moyenne et basse pression de la turbine, il a pour rôle l'alimentation du réchauffeur BP.

3ème soutirage : sert à évacuer la vapeur épuisée (-0.9bar ,36°C) vers le condenseur.

✚ **Réducteur RENK** est un dispositif assurant la transmission du couple d'entraînement et réduction du nombre de tours de la turbine haute vitesse au nombre de tours de la machine entraînée, c'est-à-dire du générateur (nommé principalement alternateur) électrique synchrone de 50 Hz.

✚ **Générateur** : Au centre une partie mobile le rotor est entraînée par la turbine à 1500tr/min, ce rotor est constitué de bobinage dans lequel circule un courant électrique continu et cela crée un champ magnétique, autour du rotor une autre pièce constituée de bobinage reste fixe le stator, quand le rotor tourne à l'intérieur du stator il se produit une variation du flux du champ magnétique crée. Cela induit à un courant dans le stator et d'où la production de l'énergie électrique.

✚ **Générateur à aimants permanents** : C'est un petit générateur à aimants permanents (excitatrice pilote) qui est monté sur le même arbre que la machine principale.

✚ **La centrale d'huile** : elle est équipée

- D'une caisse à huile (volume total = 8480 litres)
- D'une pompe principale
- D'une turbo pompe de secours
- D'une pompe ultime secours
- Deux réfrigérants d'huile
- Deux filtres d'huile

La centrale d'huile est destinée à alimenter la turbine par l'huile de régulation et l'huile de lubrification des paliers.

La figure ci-dessous représente un schéma du groupe turboalternateur :

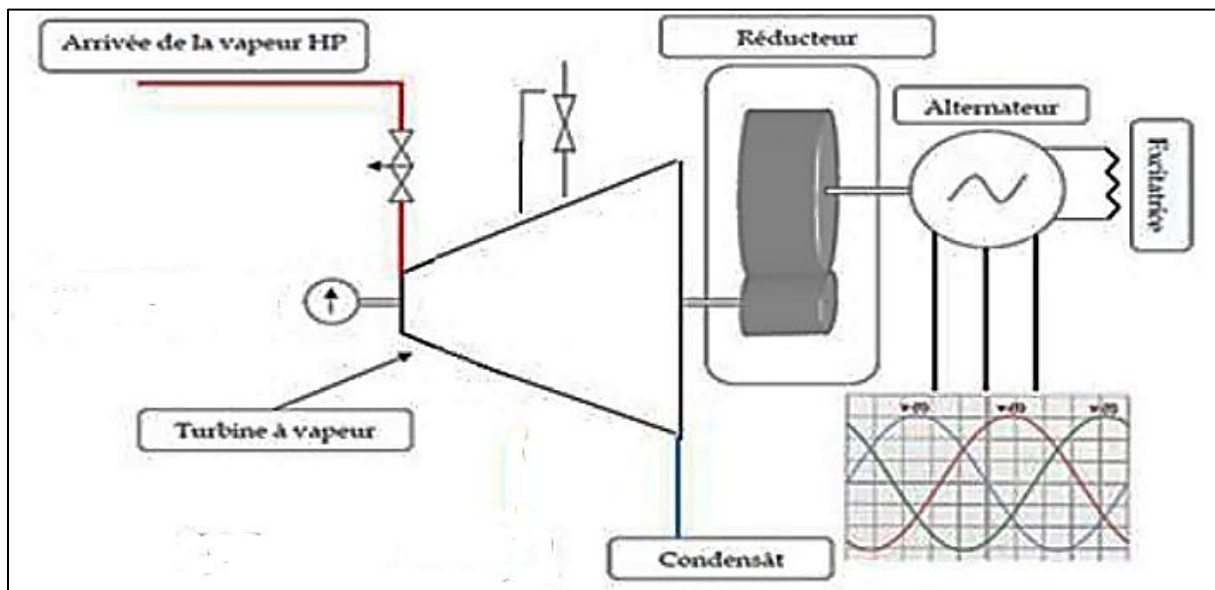


Figure 3 : Schéma structurel du groupe turboalternateur.

Pour la marche de sécurité des installations de l'usine, la centrale est équipée d'un groupe de secours électrogène de 2.5 MW. Outre ces groupes, l'installation est reliée au réseau national de l'ONE au moyen d'un transformateur 63/6,3 KV et à 30 MVA – 50 HZ.

V. Cahier de charges du projet

Notre sujet contient les deux parties suivantes :

Partie 1 : Faire une étude descriptive du système de contrôle-commande des GTAs (Groupes Turbo Alternateurs) de la centrale (PCS7) :

- Architecture fonctionnelle de ce système ;
- Présentation du contrôleur Simatic S7-400.

Partie 2 : Faire une simulation du réseau électrique avec les nouvelles données par le logiciel ETAP :

- Description du réseau électrique de Maroc Chimie ;
- Calcul des courants de court-circuit par le logiciel ETAP ;
- Amélioration de la sélectivité de différentes protections du réseau électrique.

VI. Conclusion

Cette partie a été consacrée à une description des équipements de la centrale thermoélectrique de l'atelier énergie et fluide, lieu de stage, ainsi qu'à une présentation du cahier de charges de notre projet de fin d'études.

Le chapitre suivant a pour but d'étudier le système numérique de contrôle-commande des groupes turboalternateurs.

Chapitre 2 :

Etude descriptive du système de contrôle-commande des groupes turboalternateurs de la centrale de Maroc Chimie

I. Introduction

Avant, les systèmes numériques de contrôle-commande, la régulation des variables des procédés industriels était difficile à mettre en œuvre à cause de la nécessité de manipulation d'un grand nombre de variables qui demande un grand nombre de facteurs humains, afin de suivre l'évolution de la variable considérée et la maintenir au point de consigne préfixé. Ce problème est résolu grâce aux progrès technologique dans le domaine de l'électronique et de l'informatique qui a permis une évolution remarquable.

Cette évolution est traduite par un changement dans les techniques de contrôle : passage des systèmes pneumatiques et systèmes à relais (logique câblée) aux systèmes à base d'automates programmables industriels (logique programmée) et du contrôle centralisé au contrôle distribué.

Le présent chapitre fait l'objectif d'une étude descriptive des systèmes de contrôle-commande des groupes turbo alternateurs de la centrale de Maroc Chimie.

II. Etude générale des systèmes numériques de contrôle-commande

II.1 Définition d'un DCS

Un système numérique de contrôle-commande (SNCC, ou DCS pour Distributed control system en anglais) est un système de contrôle de procédé industriel doté d'une interface homme-machine pour la supervision et d'un réseau de communication numérique [1].

Parmi les types de SNCC, on trouve :

ROCKWELL, SCHNEIDER, SIEMENS, YOKOGAWA, FOXBORO, HONEYWELL, MITSUBISHI, DELTA V ...

Et les logiciels de supervision :
RSVIEW de ROCKWELL, WINCC de SIEMENS ...

II.2. Structure du système numérique de contrôle-commande

En général, un système numérique de contrôle-commande est constitué des éléments suivants :

- **Station opérateur OS ;**
- **Station ingénieur ES ;**
- **Contrôleur ;**
- **Modules d'entrées/sorties ;**
- **Réseaux de communication.**

La figure ci-dessous illustre la structure générale d'un système de contrôle-commande :

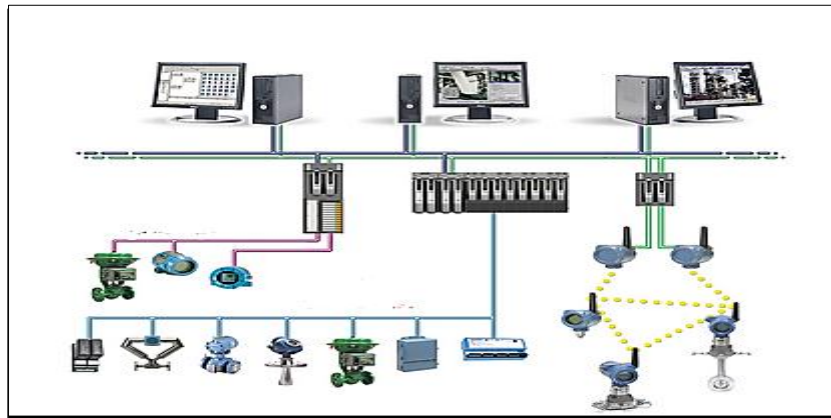


Figure 4 : Structure d'un SNCC.

- **Station opérateur OS**

Les stations opérateurs sont des PCs sur lesquels est installé le logiciel de supervision. Elles servent au contrôle-commande des installations pendant le fonctionnement du process.

- **Station ingénieur ES**

La station ingénieur est une station de configuration. Elle sert à configurer les programmes utilisateur, les projets de la station opérateur OS, les programmes des automates et les composants de périphérie décentralisée.

Les données de configuration sont ensuite transférées de l'ES sur les systèmes cibles. L'ES n'est pas utilisée comme station de visualisation qu'en cas de défaillance du réseau OS.

- **Contrôleur**

Les principales fonctionnalités confiées au contrôleur du SNCC résident dans l'acquisition des données prélevées par les capteurs, le traitement analogique, logique ou séquentiel de ces données ainsi que l'élaboration des signaux de commande à émettre vers les sorties.

Il assure aussi la marche du procédé sous ses différents modes de fonctionnement ainsi que le démarrage et l'arrêt normale ou d'urgence.

Sa structure matérielle peut être présentée sous la forme suivante :

- ✓ Un bloc d'alimentation (PS) redondant qui fournit les tensions nécessaires au fonctionnement des autres circuits logiques et analogiques.
- ✓ Unité centrale de traitement (CPU) redondante : chaque unité est dotée d'un processeur qui assure le traitement de l'information, des mémoires RAM et EEPROM nécessaires pour stocker les données et des circuits périphériques de gestion des E/S.

- **Modules d'entrées/sorties**

Des modules d'entrées/ sorties qui sont en général sous forme de cartes logiques et analogiques qu'on peut intégrer dans des racks extensibles.

On trouve par exemple des modules de températures spéciaux tels que les PT100 et les thermocouples TC.

- **Réseaux de communication**

Afin d'assurer la communication entre le contrôleur, les modules d'entrées/sorties, le poste ingénieur, et les postes opérateurs, ou autrement dit la communication entre le niveau de supervision, et le niveau de contrôle-commande d'un SNCC, plusieurs réseaux de communication sont instaurés, et ces réseaux diffèrent d'un SNCC à un autre.

II.3. Les rôles d'un système numérique de contrôle-commande

Un système numérique de contrôle-commande se caractérise par les différentes fonctions qu'il présente et qui le rendent très sollicité par les industries. Parmi ces fonctionnalités on peut citer :

- **L'automatisation** : le SNCC permet la gestion automatique et le traitement informatique des équipements.
- **La régulation** : le SNCC permet aussi le maintien des grandeurs physiques à une valeur constante.

Les systèmes de régulation sont des systèmes en boucle fermée prenant en considération le résultat de leurs actions.

- **La supervision** : Il permet de surveiller et de contrôler l'exécution des tâches du procédé. La supervision intervient au sommet des processus de production. Elle constitue une technique de suivi et de pilotage informatique de procédés de fabrication automatisés. La supervision concerne l'acquisition de données et la modification manuelle ou automatique des paramètres de commande des processus généralement confiés à des automates programmables.

III. Etude du système numérique de contrôle commande des groupes turboalternateurs de la centrale thermique

III.1. Description du SNCC des groupes turboalternateurs

Les deux groupes turbo alternateurs ont pour but de :

- ✓ Produire de l'électricité nécessaire au fonctionnement du complexe en utilisant la vapeur HP produite par les ateliers sulfuriques et la chaudière auxiliaire.
- ✓ Fournir de la vapeur MP aux CAP de l'atelier phosphorique.

La conduite, le contrôle et la commande des groupes turboalternateurs de la centrale thermoélectrique de Maroc Chimie est assuré par l'utilisation du Système Numérique de Contrôle-Commande (SNCC) SIMATIC PCS7, de la marque Siemens qui est un système hybride basé sur des automates S7-400 permettant la supervision, la gestion et l'archivage des données.

Le système de contrôle-commande, doit être fiable et déterministe. Ainsi, plusieurs exigences doivent être prises en considération, par exemple, la disponibilité et la sécurité des systèmes de communication. Ainsi, l'intégration d'une architecture redondante s'avère indispensable pour garantir une haute disponibilité des équipements. Cela signifie que tous les composants constituant le système sont redondants et fonctionnent en permanence (par exemple Réseaux Ethernet, station ingénieur...).

En cas d'une défaillance, le composant redondant opérationnel prend la relève sans interrompre le service.

Donc plus les coûts d'un arrêt de production sont élevés, plus il est rentable d'utiliser un système redondant assurant une haute disponibilité de l'installation.

L'architecture proposée par Siemens pour assurer le contrôle-commande des GTAs de la centrale thermoélectrique est représentée par la figure suivante :

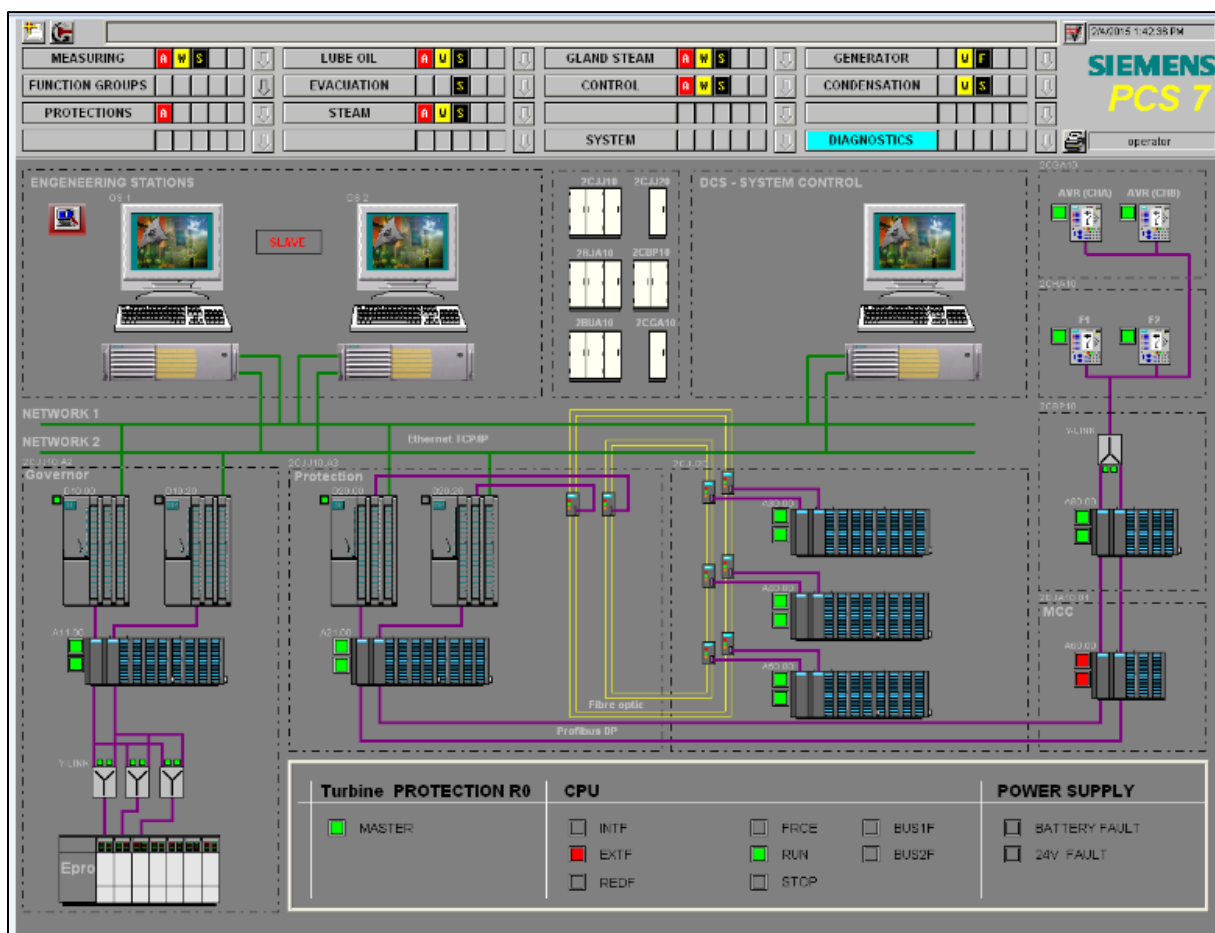


Figure 5 : Structure du SNCC Siemens des GTAs.

Remarque : On dispose de deux groupes turboalternateurs identiques d'où la description d'un seul.

III.1.1. Les niveaux de la pyramide CIM

L'architecture de ce système de contrôle-commande utilisé se décompose en trois niveaux :

- Niveau gestion
- Niveau terrain
- Niveau capteurs /actionneurs

Ces niveaux constituent la pyramide CIM (Computer Integrated Manufacturing) qui est un concept décrivant l'automatisation complète des groupes turboalternateurs c'est-à-dire que tous ces équipements fonctionnent sous le contrôle permanent des ordinateurs et automates programmables.

Plus on s'élève dans la pyramide CIM, plus le niveau de décision est important, plus la visibilité est globale.

Un niveau supérieur décide ce qu'un niveau inférieur exécute.

La pyramide CIM est illustrée par la figure ci-dessous :

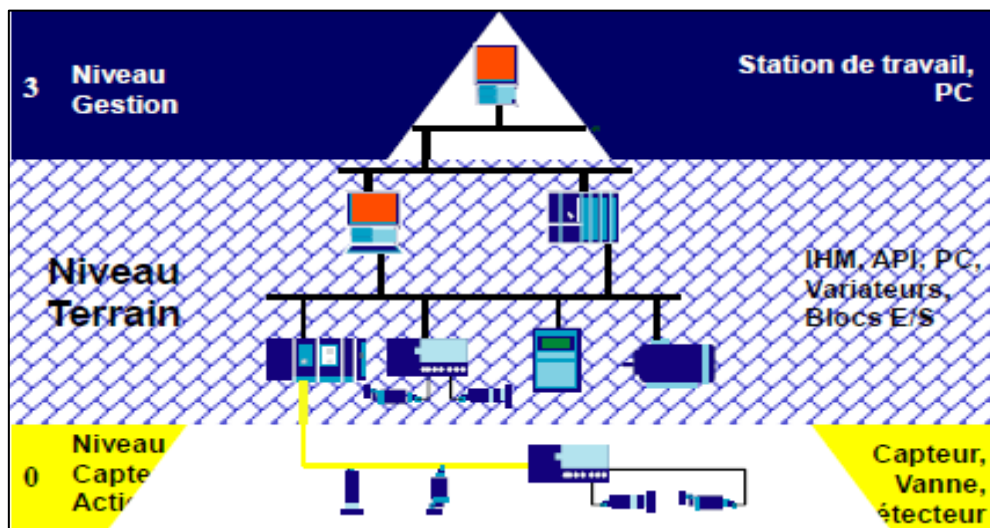


Figure 6 : Pyramide CIM.

➤ Niveau gestion

Ce niveau se charge de la configuration, la supervision et la maintenance de l'architecture de contrôle-commande, il se compose des éléments suivants :

✚ **Un seul poste ingénieur**

Ce poste permet le développement complet de l'application et il est équipé de l'ensemble des logiciels nécessaires au développement (Logiciel d'ingénierie PCS7). Il s'agit d'une seule station ingénieur, cette station est reliée aux contrôleurs par le réseau redondant industriel Ethernet et aux stations opérateurs par le réseau redondant Ethernet TCP/IP.

✚ **Deux postes opérateurs**

SIMATIC PCS7 fournit aux opérateurs une interface homme machine IHM qui permet le contrôle et la surveillance du procédé depuis n'importe quel poste opérateur.

La salle de contrôle de SIMATIC PCS7 contient 2 stations opérateurs qui suivent l'architecture client-serveur. Ces stations supervisent l'installation comme suit :

- Deux stations opérateurs OS1 et OS2 afin de superviser le groupe turboalternateur 1 ;
- Deux stations opérateurs OS1 et OS2 afin de superviser le groupe turboalternateur 2.

➤ Niveau terrain

Ce niveau contient deux systèmes d'automatisation à haute disponibilité, se caractérisant par leurs redondances.

Chaque système d'automatisation est équipé de deux unités centrales, de deux alimentations et des modules d'extension qui sont constitués par les processeurs de communication et les modules d'entrée/sortie.

Le premier système contrôle le groupe turboalternateur GTA 1, le deuxième quant à lui contrôle le GTA 2.

La figure suivante représente le système d'automatisation utilisé au sein de la centrale thermique :



Figure 7 : Système automatisé siemens S7-400H.

Ce système automatisé se décompose en éléments suivants :

✚ L'unité centrale de traitement CPU

L'automate programmable haute disponibilité, de deux sous-systèmes redondants équipés de deux unités centrales (CPU AS 414-4H) interconnectées via des modules de synchronisation et des fibres optiques. Les programmes utilisateurs chargés sur les deux CPU sont absolument identiques et s'exécutent simultanément d'une manière synchrone par les deux CPU. Autrement dit, en cas de défaillance de la CPU active, l'automate programmable bascule automatiquement sur la CPU redondante. Le basculement n'a pas de conséquence sur le process en cours, car le traitement peut se poursuivre sans interruption.

✚ L'alimentation

Pour l'alimentation en courant, chaque système partiel du S7-400H a besoin d'un module d'alimentation PS. Il existe des modules d'alimentation de 24 V DC de tension. La disponibilité de ce système est assurée par la redondance des modules d'alimentation.

Fibres optiques

Les fibres optiques connectées aux modules de synchronisation, constituent la liaison physique (liaison de redondance) entre les deux unités centrales. Les câbles de synchronisation ne doivent pas être croisés lors de la connexion. Le signal véhiculé étant de nature optique et donc insensible aux perturbations électromagnétiques, les fibres optiques ont une excellente immunité aux bruits.

➤ Niveau capteurs/actionneurs

Ce niveau est composé de l'ensemble des équipements à superviser et à commander dans la centrale thermoélectrique, ils peuvent être des pompes, des vannes, des moteurs...

La liaison entre le niveau terrain et le niveau capteurs/actionneurs est assurée par un réseau Profibus DP.

III.1.2. Les réseaux de communication

La disponibilité des SNCC est déterminée non seulement par le système d'automatisation mais aussi et surtout par leur environnement. Ce dernier est constitué en particulier d'un réseau de communication performant, qui relie le niveau conduit et le niveau process au niveau terrain.

Les processeurs de communication (CP) utilisés sur le châssis de l'automate programmable sont appelés modules de communication. Les processeurs de communication montés sur les stations ingénieurs et les stations opérateurs sont des cartes réseau. Le support de transmission physique est conditionné par l'extension, les impératifs d'immunité aux parasites et la vitesse de transmission.

La communication entre l'automate programmable et les stations opérateurs via le Switch s'effectue par Industrial Ethernet. Tandis que La communication entre l'automate programmable et la station de la périphérie décentralisée s'effectue via PROFIBUS-DP.

✓ Industrial Ethernet (Bus système)

Le bus système relie les automates programmables aux stations opérateurs via le Switch sous forme de réseau Industrial Ethernet à 10 ou 100 Mbit/s. La connexion à un bus système redondant s'effectue via des processeurs de communication CP, ainsi les stations opérateurs sont équipées d'un CP 1613, tandis que chaque sous-système de l'automate programmable est doté de deux CP 443-1.

En cas d'utilisation d'un bus système redondant, la défaillance d'une liaison de réseau active ne gêne pas la communication entre l'automate programmable et la station opérateur dans la mesure où elle s'effectue via la liaison redondante.

✓ PROFIBUS-DP (bus de terrain)

Le bus de terrain est destiné à l'échange de données entre l'automate programmable et la périphérie décentralisée ET200M. Le PROFIBUS DP est le protocole utilisé pour assurer cette connexion.

L'automate programmable est doté d'une interface maître PROFIBUS-DP sur chaque CPU pour la connexion de PROFIBUS-DP. La connexion à la station de périphérie s'effectue via deux coupleurs de type IM 153-2. Les deux supports de transmission et les processeurs de communication sont redondants. En cas de défaillance du composant de communication actif (CP, bus) la communication se poursuit automatiquement sur la liaison redondante.

III.1.3. Périphérie décentralisée ET200M

La station de périphérie décentralisée ET200M est un esclave DP modulaire. Elle peut être configurée avec 8 modules de périphérie : des modules d'entrées/sorties haute densité (par ex. 32 entrées TOR) ou des modules de fonction ou encore des processeurs de communication S7-300.

Le raccordement au PROFIBUS DP s'effectue par l'intermédiaire de coupleurs, éventuellement par fibres optiques.

III.1.4. Présentation du WinCC

WinCC est le logiciel de supervision mis en œuvre sur les ES et OS. C'est un système Interface Homme Machine (Interface entre l'opérateur et le processus). Le contrôle proprement dit du processus est assuré par les automates programmables (API). Une communication s'établit donc entre WinCC et l'opérateur d'une part et entre WinCC et les automates programmables d'autre part.

WinCC permet de visualiser le processus et de concevoir l'interface utilisateur graphique (le synoptique) destinée à l'opérateur, il assure ainsi la surveillance du processus considéré grâce à un graphisme d'écran, il donne aussi l'accès à l'opérateur pour agir et commander le processus, il peut par exemple entrer une valeur de consigne ou ouvrir une vanne.

Lorsqu'un état de processus devient critique, une alarme est déclenchée automatiquement. L'écran affiche une alarme en cas de franchissement d'un seuil défini.

Les alarmes et valeurs de processus peuvent être imprimées et archivées sur support électronique par WinCC. Ceci permet d'avoir un historique sur le fonctionnement du processus.

III.2. Avantages et limites du SNCC de la centrale : SIMATIC PCS7

Avantages

Parmi les avantages de ce SNCC qu'ils le rendent plus efficace et fiable, on peut citer :

- ✓ Réduction des temps de mise en production ;
- ✓ Accroissement du degré de précision ;
- ✓ Amélioration de la disponibilité des installations et facilité de la maintenance ;
- ✓ Réduction du matériel dans la salle de contrôle et des coûts de câblage ;

- ✓ Acquisition en temps réel de tous les paramètres de production.

Limites

Parmi ses inconvénients on trouve :

- ✓ Investissement plus lourd ;
- ✓ Le temps de scrutation augmente en augmentant le nombre de modules d'entrées/sorties.
- ✓ Dépendance du client vis à vis de son fournisseur.

IV. Conclusion

Nous avons effectué dans ce chapitre une étude descriptive du système de contrôle-commande des groupes turboalternateurs de la centrale thermique SIMATIC PCS7 qui assure le pilotage, la surveillance et le contrôle des équipements distribués de ces groupes. Une description des éléments de sa structure a été faite.

Dans le chapitre suivant, nous allons aborder la deuxième partie de notre projet qui traite la description du réseau électrique afin de calculer les courants de court-circuit et étudier la sélectivité.

Chapitre 3 :

Description du réseau électrique de Maroc Chimie et Diagnostic des causes électriques des déclenchements généraux du complexe

I. Introduction

Le complexe chimique Maroc Chimie dispose d'une centrale thermoélectrique assurant l'alimentation en énergie électrique de toutes les unités de production. Pour compenser tout déficit et assurer la continuité de service, le réseau électrique interne de Maroc Chimie est couplé au réseau national de transport d'électricité par le biais d'un transformateur HT/MT.

Le présent chapitre donne une description générale du réseau électrique et met en exergue les différents modes d'exploitation adoptés ainsi que le diagnostic des déclenchements généraux du complexe

II. Description du réseau électrique de Maroc Chimie

II.1. Généralités sur les réseaux électriques

L'électricité est une énergie souple et adaptable mais elle est difficilement stockable, alors que la consommation des clients et la coïncidence de la demande sont constamment variables.

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures énergétiques plus ou moins disponibles permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité.

Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Grace à ces transformateurs on parle alors de différents types de tensions : THT, HT, MT, BT et TBT.

A partir des départs des réseaux électriques, différents schémas peuvent apparaître selon les besoins de continuité de service, et de contraintes de coût, on distingue alors :

- En « Antenne » ou « Simple dérivation » ;
- En « Boucle » ou « Coupure d'Artère » ;
- En « Double dérivation ».

II.2. Structure actuelle du réseau électrique de Maroc chimie

Le réseau électrique interne de Maroc Chimie est à structure bouclée à partir du double jeu de barres de la centrale (Figure 8). Cette solution assure une bonne continuité d'alimentation des unités de production mais son coût par rapport aux autres architectures reste très élevé. Ceci d'une part, d'autre, cette structure présente une complexité dans l'élaboration d'un plan de protection.

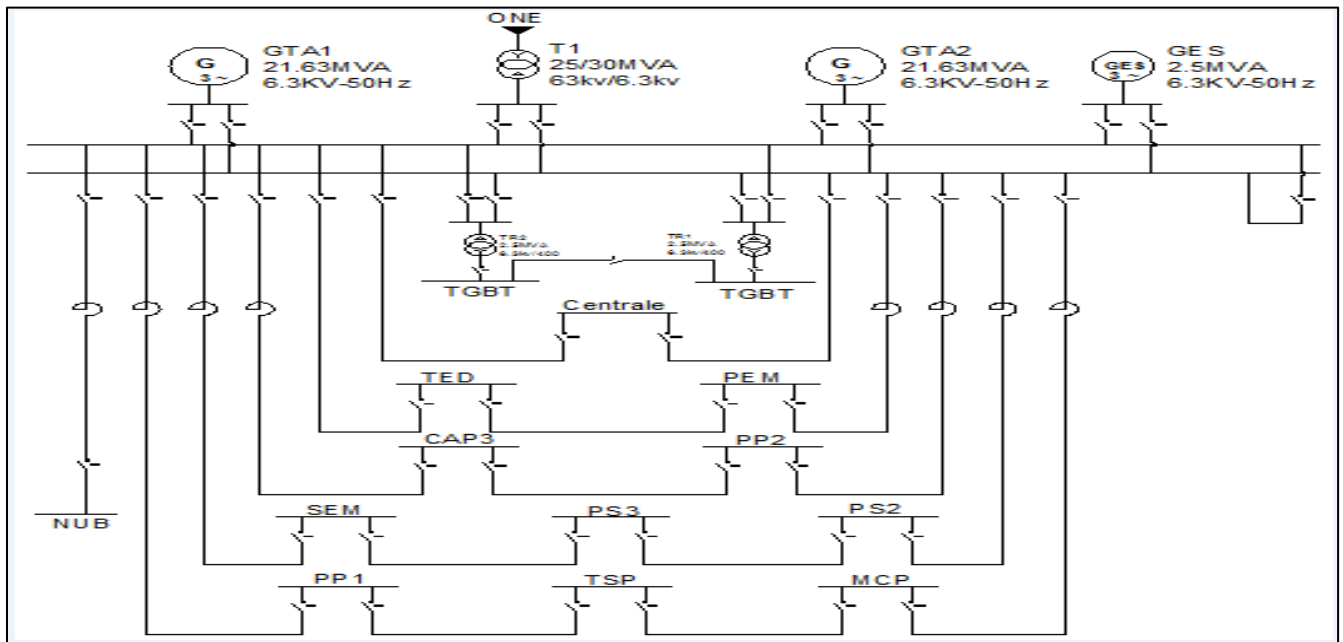


Figure 8 : Schéma unifilaire du réseau électrique de Maroc Chimie.

Les boucles de ce réseau sont :

- **Boucle G1-G11** : Assure l'alimentation en énergie électrique de trois ateliers : atelier phosphorique (AP1 ou PP1) et ateliers de production des engrais TSP et MCP.
- **Boucle G2-G12** : Assure l'alimentation en énergie électrique de la station pompage eau de mer (PEM) ainsi que l'unité de traitement d'eau douce (TED).
- **Boucle G9-G19** : Assure l'alimentation en énergie électrique de trois ateliers et qui sont le compresseur d'eau de mer (SEM) et ateliers de production d'acide sulfurique PSII et PSIII.
- **Boucle G10-G20** : Assure l'alimentation en énergie électrique de l'atelier phosphorique II (AP2 ou PP2) ainsi que l'unité de concentration d'acide III (CAPIII).
- **Départ G4 en antenne** : C'est un départ radial assurant l'alimentation en énergie électrique de la nouvelle unité broyage (NUB)

II.3. Le réseau électrique HTA

Le réseau HTA du site de Maroc Chimie est alimenté en 6.3kV à partir d'un double jeu de barres principal. Ce jeu de barres principal peut être alimenté par :

- **Le réseau 63kV ONE, via un transformateur 63kV/6.3kV de 25-30MVA**

Le réseau ONE permet d'apporter l'appoint en énergie électrique. En effet, Maroc Chimie est desservi à partir du réseau ONE par une ligne aérienne 63 KV qui alimente le poste de transformation 63/6,3 KV, couplage Ynd11, 25-30 MVA, $U_{cc}=11.78\%$, type de refroidissement ONAN/ODAF.

Le réseau électrique de MC est protégé contre les perturbations du réseau ONE par un dispositif de protection permettant le découplage de la liaison en cas de défauts.

- **Deux groupes turbo-alternateur de 21.63MVA chacun**

Les groupes permettent de satisfaire les besoins en énergie électrique des différents ateliers de production, ils débitent sur le jeu de barres principal de la centrale, et sont équipés d'un système de protection contre les défauts internes et contre les défauts du réseau auquel ils sont raccordés.

• Un groupe électrogène de secours de 2.5MVA

Le réseau électrique de Maroc-Chimie est aussi équipé d'un groupe électrogène diesel 2.5MW assurant l'alimentation des circuits prioritaires de la centrale en cas de défaillance du réseau distributeur, tel que l'éclairage, les pompes à huile des groupes, les pompes alimentaires des chaudières.

Le double jeu de barres principal alimente ensuite :

- Le tableau MT « Filtration », qui alimente des moteurs MT.
- Les départs qui alimentent les unités de production, via des inductances (pour limiter l'Icc max). En aval de ces inductances, les sous-stations sont alimentées en boucle fermée, hormis l'atelier NUB alimenté en antenne.
- 2 transformateurs MT/BT de 2.5MVA chacun.

II.4. Les différents modes d'exploitation du réseau

L'alimentation en énergie électrique à travers l'interconnexion avec l'ONEE/BE n'est pas toujours disponible. Ainsi le complexe peut se trouver en mode dit « iloté » en cas de perte de cette connexion.

Nous distinguons dans ce qui suit les trois modes de marche utilisés et qui seront pris en considération lors de l'élaboration de plan de protection.

Marche couplée ou régime manométrique : Le réseau interne et le réseau de transport national sont couplés par le biais d'un transformateur HT/MT. Et pour garantir la synchronisation des deux réseaux afin d'avoir le même ordre des phases, la même fréquence et une même tension, le complexe est doté de deux synchrono-coupleurs.

Marche autonome ou régime tachymétrie : Le complexe consomme uniquement l'énergie produite par les deux groupes turbo-alternateurs.

Régime de secours : En cas de problème survenu au niveau la ligne C244 et au niveau des groupes GTA, un groupe électrogène démarre automatiquement pour subvenir au besoin en énergie des différents postes de distribution secours. Le GES peut alimenter les 2 transformateurs MT/BT de la centrale, les pompes eau de mer du tableau PEN (BP1 ou BP2 ou BP3), et 924IP01A ou 924IP01B du tableau filtration.

II.5. Le délestage

Dans un réseau électrique, le délestage consiste à arrêter volontairement l'approvisionnement d'un ou de plusieurs consommateurs pour rétablir rapidement l'équilibre entre la production et la consommation du réseau. Il s'agit d'une mesure de sauvegarde destinée à éviter les risques d'effondrement en tension ou en fréquence qui pourraient entraîner la coupure de la totalité d'un sous-réseau.

En cas de déclenchement de la ligne ONEE/BE, on bascule automatiquement du mode manométrique vers le mode tachymétrique. Dans ce cas, deux possibilités se présentent :

- **Le complexe assure son autonomie** : Nous pouvons envisager une régulation de débit de vapeur afin de garder la stabilité en fréquence.
- **Le complexe est déficitaire en énergie** : Le débit de vapeur n'est pas suffisant pour satisfaire le besoin des consommateurs. Sur ce, on procède au délestage des charges électriques non indispensables pour la production. Un délestage de trois niveaux présentés ci-dessous.
 - Cran 1 : Déclenchements des lignes tel que « Broyage » après 3 secondes de l'apparition du défaut.
 - Cran 2 : Déclenchement des deux lignes phosphoriques et deux lignes CAP après 3 secondes du premier cran.
 - Cran 3 : Déclenchement total du complexe après 3 secondes du deuxième cran.

Dans toute industrie lourde telle que l'OCP, le but ultime est de maintenir les unités névralgiques en marche parce que le redémarrage de ces unités est une opération difficile à réaliser et qui prend du temps ; chose qui peut engendrer des pénalités de retard supplémentaires. La mise en place d'un système de délestage bien calculé se veut une obligation pour éviter tout déclenchement général du complexe.

III. Diagnostic et analyse des causes électriques des déclenchements généraux du complexe

Le complexe industriel Maroc Chimie a connu ces dernières années plusieurs dysfonctionnements au niveau de son réseau électrique. Des dysfonctionnements impactant directement l'industrie du phosphate qui ne peut admettre des arrêts indésirables des processus de production.

Pour pouvoir analyser les causes qui ont conduit à un déclenchement général du complexe, nous avons sollicité l'historique des pannes enregistrées durant ces trois dernières années.

Nous avons constaté par la suite que ces causes peuvent être classées en quatre grandes catégories selon le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Statistiques des natures des pannes.

	Nature	Nombre	%	% cumulé
1	Défauts au niveau de la ligne C244	7	53.85	53.85
2	Défauts au niveau du réseau interne	4	30.77	84.62
3	Autre	2	15.38	100
	Total	13	100	

Pour bien comprendre les écarts entre les catégories, nous présentons ci-dessous le diagramme de Pareto qui illustre l'importance de différentes causes des déclenchements généraux et permet de mettre en évidence les causes les plus importantes sur le nombre total d'effet afin de faciliter des mesures ciblées pour améliorer la situation :

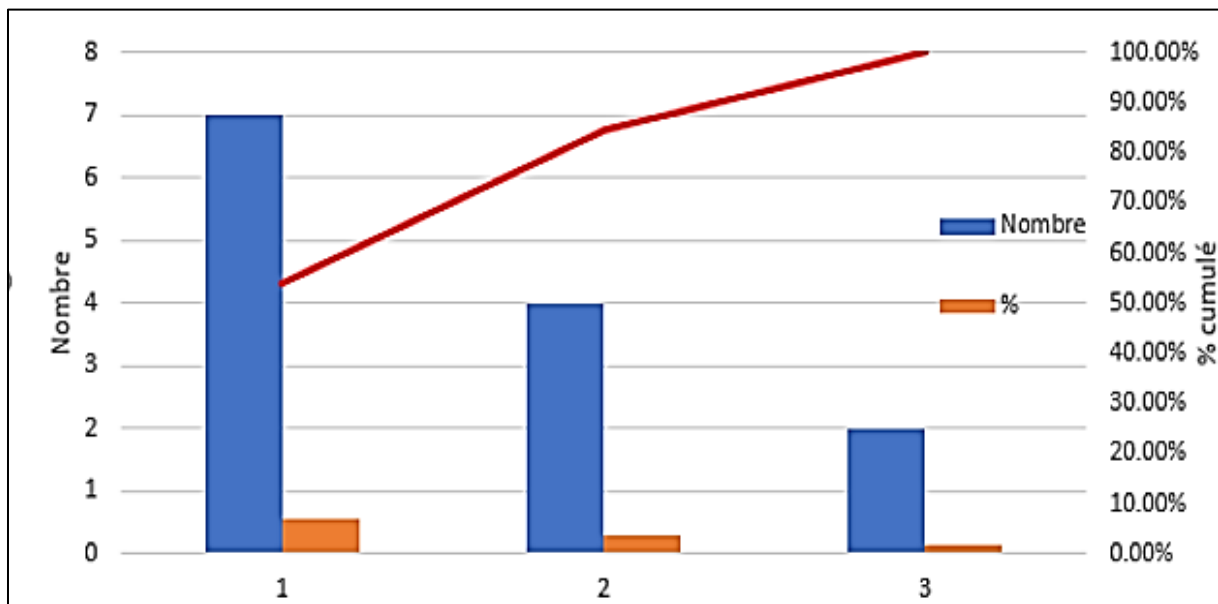


Figure 9 : Diagramme de Pareto des pannes.

Commentaire :

Nous constatons d'après la courbe de Pareto que les deux catégories regroupant respectivement les défauts survenus au niveau de la ligne C244 et le réseau électrique interne représentent 84.62% et rentrent dans la classe A de la classification de Pareto.

Ceci fait, nous consacrons tous nos efforts sur ces deux catégories sur lesquels il faut agir en premier lieu pour remédier au problème des déclenchements généraux.

III.1. Analyse des causes survenues sur la ligne C244

A titre de rappel, la ligne C244 est une ligne électrique haute tension 63kV en provenance du poste source BOUGUEDRA permettant l'alimentation en énergie électrique de l'usine. Pour identifier les causes qui ont conduit au déclenchement de cette ligne faisant ainsi l'arrêt total du complexe, nous avons remonté à l'historique encore une fois, et disséqué par la suite chaque arrêt appartenant à cette catégorie afin de construire le diagramme d'Ishikawa (figure10) qui représente d'une façon graphique les causes aboutissant à un effet. Ce diagramme a été réalisé en attribuant des notes selon la gravité et la fréquence du problème enregistré suivant le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Impacts des causes sur l'effet.

Note	Impact sur l'effet
0	Sans effet
1	Négligeable
3	Notable
6	Majeur
9	Très élevé

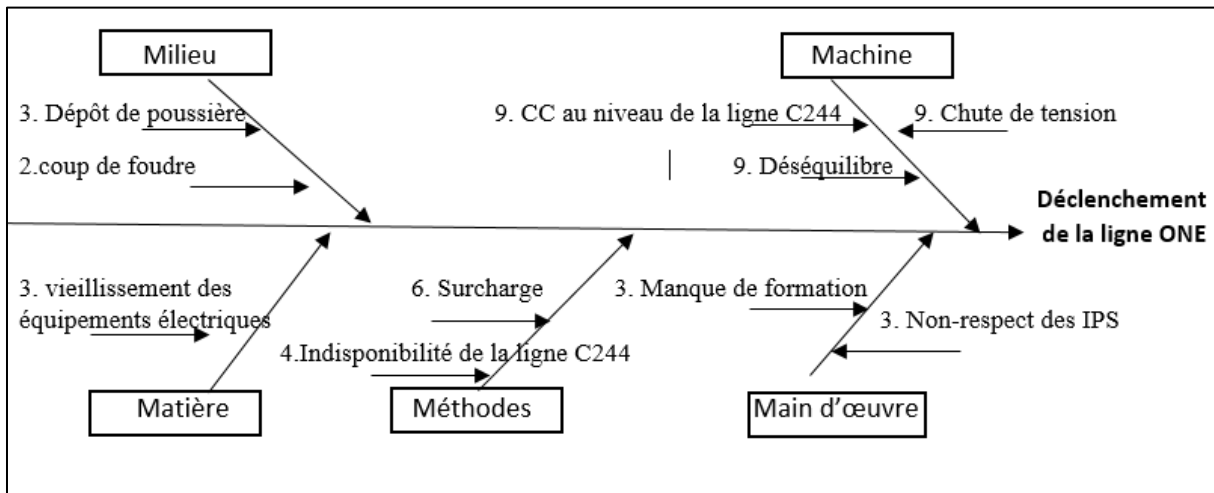


Figure 10 : Diagramme Ishikawa de déclenchement de la ligne ONE.

III.2. Analyse des causes survenues au niveau du réseau électrique interne

Dans cette catégorie, nous avons englobé tous les défauts qui ont été causés au déclenchement des moteurs HTA, GTAs, Transformateurs, Tableaux électriques et Liaisons.

En se basant sur l'historique des déclenchements, nous avons élaboré le diagramme cause à effet des déclenchements généraux de l'usine ayant pour cause une défaillance au niveau du réseau interne tout en attribuant des notes selon la gravité du problème enregistré (tableau 4) :

➤ Au niveau d'un moteur électrique HTA

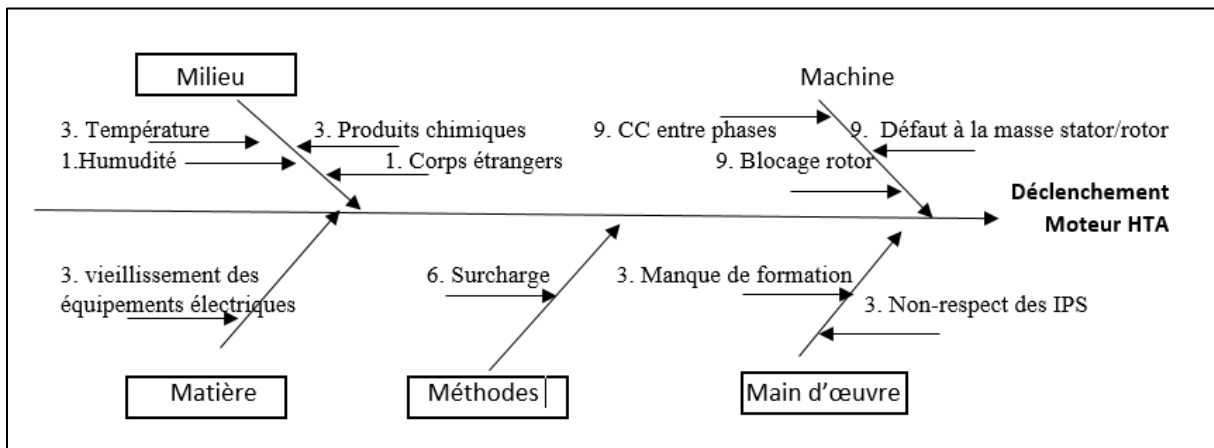


Figure 11 : Diagramme d'Ishikawa de déclenchements des moteurs.

➤ III.1.2.2. Au niveau du transformateur principal HTB/HTA, point de connexion avec L'ONE/HTA ou bien au niveau des transformateurs HTA/BT

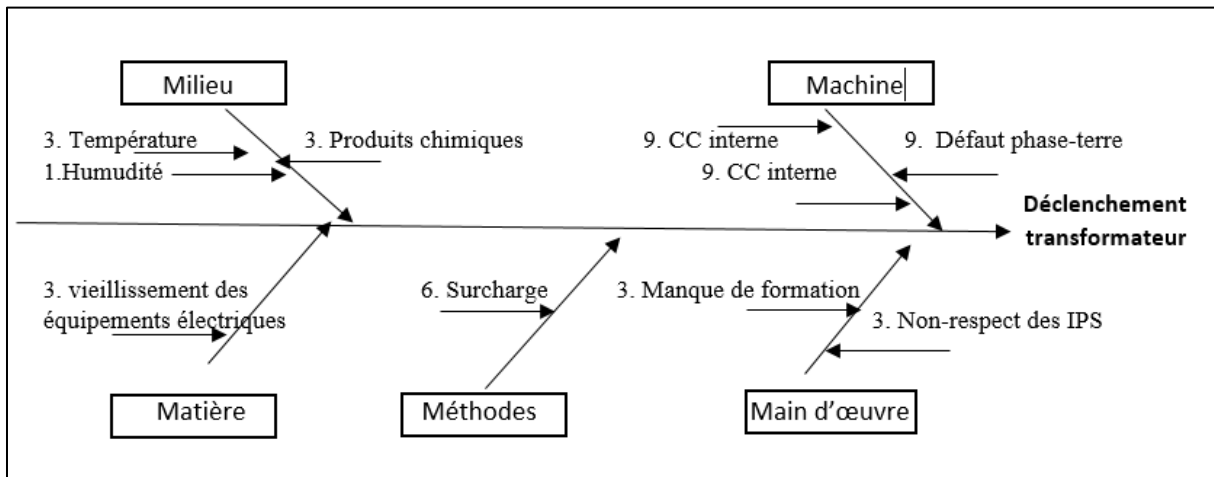


Figure 12 : Diagramme d'Ishikawa de déclenchements du transformateur.

➤ *Au niveau d'un ou deux groupes turbo-alternateurs implantés dans la nouvelle centrale électrique*

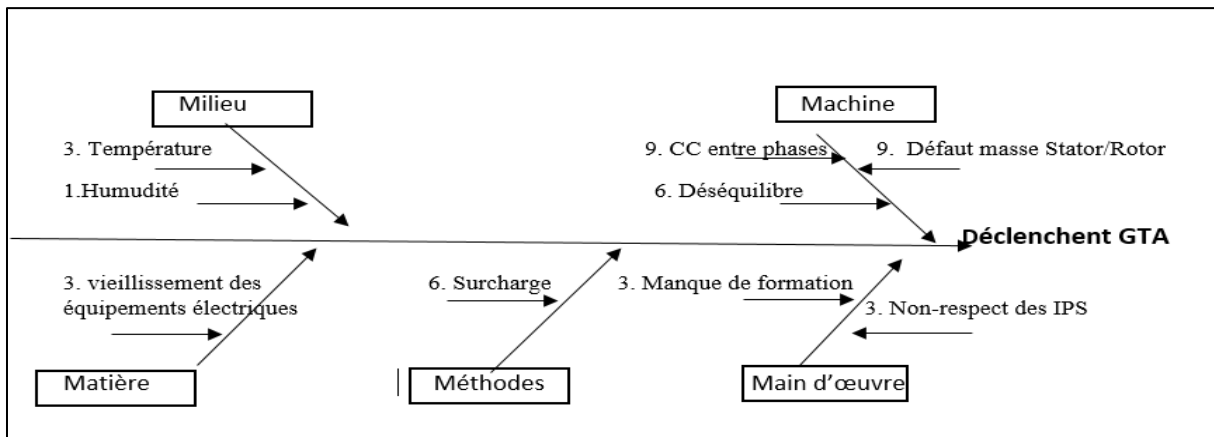


Figure 13 : Diagramme d'Ishikawa de déclenchements des GTAs.

➤ *Au niveau des câbles et liaisons*

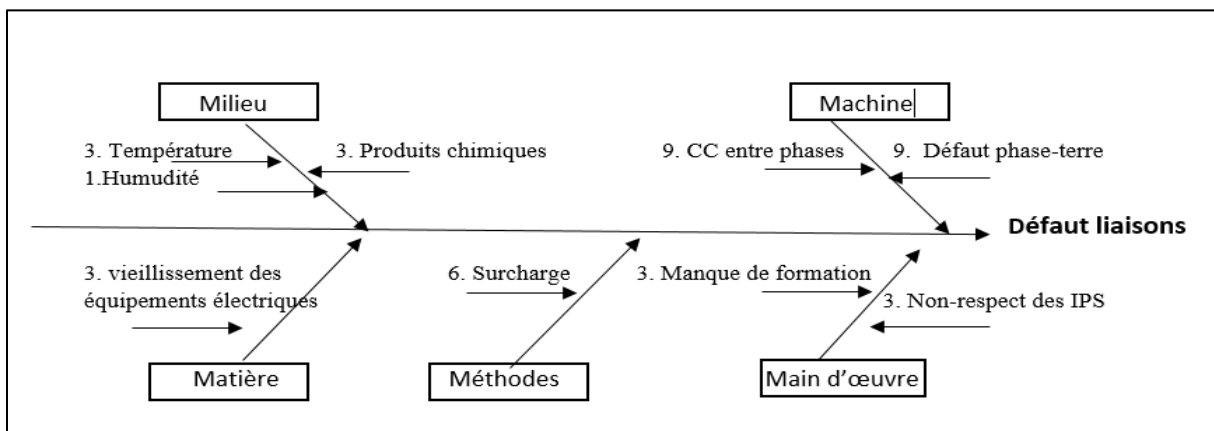


Figure 14 : Diagramme d'Ishikawa de déclenchements des défauts liaisons.

Analyse des diagrammes d'Ishikawa :

A partir des diagrammes d'Ishikawa réalisés nous constatons que les défauts de court-circuit entre phases ou phase-terre ont un impact remarquable sur les effets de déclenchement des équipements étudiés du réseau électrique considéré.

III. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une description du réseau électrique de la division Maroc Chimie, suivie d'une analyse des causes des déclenchements généraux du complexe tout en se basant sur les historiques des déclenchements pendant ces trois dernières années. Cette analyse est réalisée par la présentation du diagramme du Pareto qui a montré que les défauts survenus au niveau de la ligne C244 et du réseau électrique interne représentent le grand pourcentage des causes des déclenchements. Et, afin d'éclairer la vision, on a représenté les diagrammes causes-effet ou diagrammes d'Ishikawa. Ces derniers indiquent que le court-circuit et la surcharge sont les causes majeures qui ont conduit à des dysfonctionnements au niveau du réseau électrique interne.

Dans ce qui suit, on va s'intéresser au calcul des courants de court-circuit pour vérifier le dimensionnement des équipements installés.

Chapitre 4 :

Calcul du courant de court-circuit

I. Introduction

Depuis ces trois dernières années, le complexe Maroc Chimie a subi plusieurs modifications. Et à cause du déclenchement permanent de quelques départs, on s'est rendu compte qu'il est indispensable de revoir les réglages des équipements de protection installés et étudier la sélectivité de l'ensemble de protections du réseau électrique afin d'établir un plan de protection pour améliorer la continuité de service.

Par conséquent, on est obligé de calculer les courants de courts circuits dans les différents points de l'installation.

Donc ce chapitre fait l'objet d'une présentation des généralités sur les courants de court-circuit, et leurs calculs en utilisant le logiciel ETAP HT.

II. Généralités sur les courants de court-circuit

II.1. Définition de courant de court-circuit

Toute installation électrique doit être protégée contre les courts-circuits, et ceci sauf exception, chaque fois qu'il y a une discontinuité électrique ; ce qui correspond le plus généralement à un changement de section des conducteurs. L'intensité du courant de court-circuit doit être calculée à chaque étage de l'installation pour les différentes configurations possibles du réseau ; ceci pour pouvoir déterminer les caractéristiques du matériel qui doit supporter ou qui doit couper ce courant de défaut [2].

Le courant de défaut est stoppé grâce à l'utilisation d'un coupe-circuit qui va s'enclencher, comme un fusible ou un disjoncteur, et stopper le courant en le renvoyant dans la phase de terre. Ainsi, le courant de défaut est issu d'un problème d'isolation ou de mauvais branchement, et son évacuation dans la terre permet d'éviter tout risque important de dommages. Lors d'un court-circuit, le courant de défaut n'est pas constant. Dans le cas général celui-ci est la somme de deux composantes :

- Une composante alternative d'amplitude décroissante.
- Une composante continue décroissante jusqu'à zéro

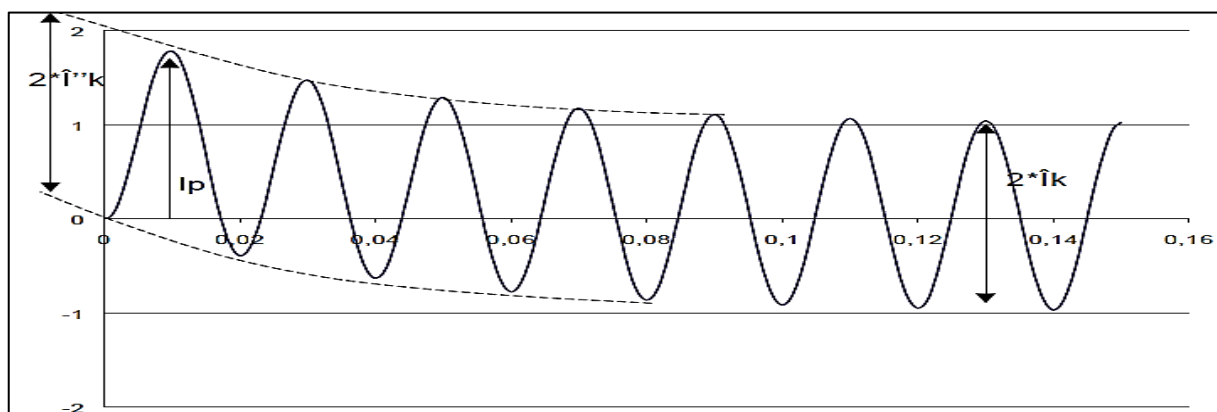


Figure 15 : Composante alternative et celle continue du courant de court-circuit.

La décroissance de la composante alternative est due aux combinaisons des différentes constantes de temps des réactances internes des machines tournantes en place sur le réseau. S'il n'y a pas de machines tournantes ou si celles-ci sont éloignées du point de court-circuit, cette composante alternative reste d'amplitude constante. La composante continue résulte de l'établissement du courant dans le circuit.

▪ **Courant de court-circuit symétrique initial I''_k :**

Valeur efficace de la composante symétrique alternative d'un courant de court-circuit présumé à l'instant d'apparition du défaut. Lorsque ce défaut est proche des générateurs, étant un courant dans le domaine temporel subtransitoire, il est aussi appelé simplement courant de court-circuit subtransitoire ou initial. Lorsque le défaut est loin des générateurs, ce courant est le même que le courant de court-circuit permanent car les phénomènes subtransitoires sont négligeables.

▪ **Valeur crête I_p du courant de court-circuit :**

À partir du courant de court-circuit symétrique initial, la valeur crête maximale est déduite, en kA crête, de :

$$I_p = k \cdot \sqrt{2} \cdot I''_k$$

Avec K entre 1 et 2, et peut être calculée par une formule de la norme CEI 60909-0 suivant les composantes résistives et inductives $\frac{R}{X}$ du réseau.

▪ **Courant de court-circuit permanent I_k :**

Valeur efficace du courant de court-circuit se maintenant après extinction des phénomènes transitoires. $I_k = I''_k$ lorsqu'on est électriquement éloigné de sources.

Pour choisir et régler convenablement les protections, deux valeurs du courant de court-circuit doivent être connues :

La valeur maximale qui définit :

- Le pouvoir de coupure -PdC- des disjoncteurs,
- Le pouvoir de fermeture des appareils,
- La tenue électrodynamique des canalisations et de l'appareillage.

Le courant minimal qui est indispensable au choix des réglages des protections.

II.2. Caractéristiques de courant de court-circuit

Sur un réseau de distribution électrique, les courants des courts circuits peuvent être caractérisés par :

Leur durée :

- ✓ Auto-extincteur, si le défaut disparaît de lui-même en un temps très court, sans provoquer de déclenchement des organes de protection.
- ✓ Fugitif, si le défaut ne disparaît qu'après une ou plusieurs coupures brèves du réseau d'alimentation sans nécessiter d'intervention.
- ✓ Semi-permanent, si le défaut ne disparaît qu'après une ou plusieurs coupures longues du réseau d'alimentation (quelques dizaines de secondes) sans nécessiter d'intervention.

- ✓ Permanent, si le défaut provoque un déclenchement définitif et nécessite l'intervention du personnel pour la reprise du service.

Leur origine :

- ✓ Mécanique (rupture de conducteurs, liaison électrique établie entre deux conducteurs par un mauvais câblage, un outil oublié...),
- ✓ Surtension électrique d'origine interne (surtension de manœuvre) ou atmosphérique (foudre),
- ✓ Dégradation de l'isolement consécutive à la chaleur, à l'humidité, au vieillissement ou à une atmosphère corrosive ;

Leur localisation : interne ou externe à une machine, sur une ligne aérienne ou souterraine ;

Sa nature de la connexion :

- ✓ Court-circuit franc lorsque deux points mis en court-circuit se touchent directement,
- ✓ Court-circuit impédant lorsque les deux points mis en court-circuit sont reliés par un milieu impédant (un arbre par exemple).

Outre ces caractéristiques, on distingue sur un réseau triphasé les courts circuits de différents types présentés par la figure suivante :

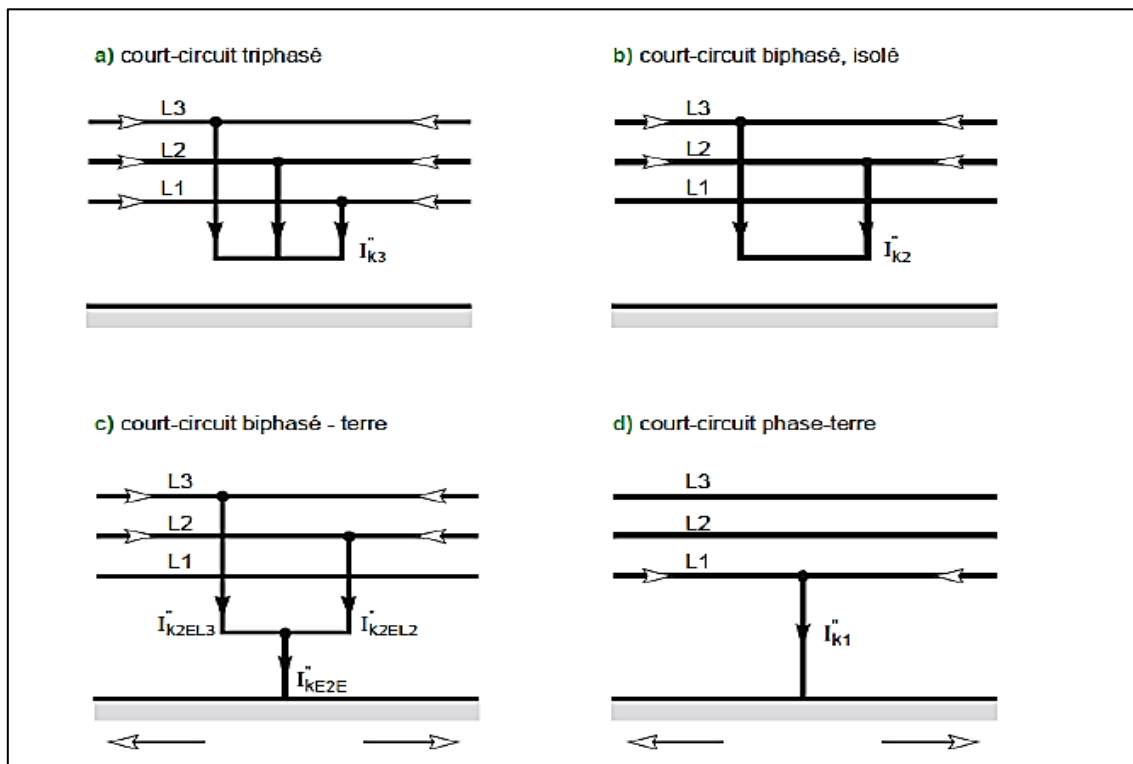


Figure 16 : Types du courant de court-circuit.

- ✚ Défaut triphasé : les trois phases sont réunies ensemble ;
- ✚ Défaut biphasé isolé : les deux phases sont raccordées ensemble ;
- ✚ Défaut biphasé -terre : où deux phases et la terre sont reliées ensemble ;
- ✚ Défaut phase-terre : où une phase et le neutre ou la terre sont reliés ensemble.

II.3 Méthodes de calcul des courants de court-circuit

Plusieurs méthodes sont proposées par les normes pour calculer le courant de court-circuit, le guide pratique C 15-105, qui complète la NF C 15-100 (installations BT/HT alimentées en courant alternatif), présente les méthodes suivantes :

Celle des « impédances », qui permet de calculer les courants de défaut en tout point d'une installation avec une bonne précision. Elle consiste à totaliser séparément les différentes résistances et réactances de la boucle de défaut, depuis et y compris la source jusqu'au point considéré, puis à calculer l'impédance correspondante,

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} \quad \text{avec} \quad R_T = \sum R \quad \text{et} \quad X_T = \sum X$$

Le courant de court-circuit I_{cc} est enfin obtenu par l'application de la loi d'Ohm :

$$I_{CC} = \frac{U_n}{Z_T}$$

Cette méthode est surtout réservée aux réseaux BT et elle est utilisée lorsque tous les paramètres du réseau sont connus. Elle a été retenue pour la précision qu'elle permet d'obtenir, et pour son aspect didactique puisqu'elle nécessite la prise en compte de la quasi-totalité des caractéristiques du circuit concerné, c'est la méthode utilisée pour le calcul manuel dans la partie suivante.

La figure suivante représente un tronçon du réseau qui contient les éléments à calculer leurs impédances :

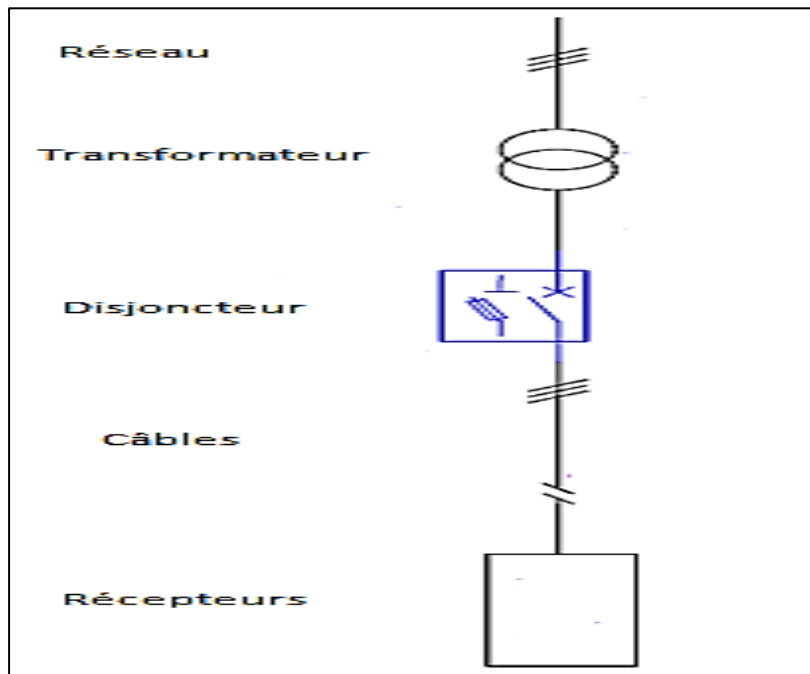


Figure 17 : Exemple du tronçon de réseau.

✚ Réseau :

On a : $S_{cc} = U \cdot I_{cc}$ et $Z_a = \frac{U}{I_{cc}}$ (1)

Donc :

$$Z_a = \frac{U^2}{S_{cc}}$$

Avec :

U : Tension de l'installation entre phases,

S_{cc} : Puissance de court-circuit du réseau, en KVA

En l'absence d'informations précises de la part du distributeur d'énergie, la norme CEI 909 indique de calculer Les résistances et les réactances comme suit :

$$R_a = 0.1 * X_a \quad \text{et} \quad X_a = 0.995 * Z_a$$

✚ Transformateur :

$$Z * I_{cc} = m * U_{cc} \quad (2)$$

$$\text{Et on a } U_{cc}(\%) = \frac{U_{cc}}{U_{1n}} \quad \text{d'où } U_{cc} = U_{cc}(\%) * U_{1n}$$

$$\text{Et à } U_{cc} \text{ on a : } I_{cc} = I_{2n}$$

$$Z = m * \frac{U_{cc}}{I_{2n}} = m * \frac{U_{cc}(\%) * U_{1n}}{I_{2n}}$$

$$\text{Or } S_n = U_{2n} * I_{2n} \quad \text{donc } I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}}$$

$$Z = m * \frac{U_{cc}(\%) * U_{1n}}{S_n} * U_{2n} \quad \text{et} \quad m * U_{1n} = U_{2n}$$

$$\text{Alors } Z = \frac{U_{cc}(\%) * U_{2n}^2}{S_n} \quad \text{d'où } Z = \frac{U_{cc}(\%) * U_{2n}^2}{100 * S_n} \quad (3)$$

Avec :

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

S_n : Puissance apparente de transformateur ;

U_{2n} : Tension nominale de l'installation.

Les valeurs des résistances et réactances sont données par le constructeur. Dans le cas contraire, elles sont à calculer à l'aide es formules ci-dessous :

$$R = 0.31 * Z \quad \text{et} \quad X = 0.95 * Z$$

✚ Câble :

La résistance linéique R_c des câbles se calcule avec la relation suivante :

$$R_c = \rho * \frac{L}{S}$$

Avec : S = section du conducteur et ρ = sa résistivité

Pour la réactance, elle dépend du type de câble :

- ❖ Câbles multiconducteurs ou monoconducteurs en faisceau : $X_c = 0,08 \text{ m}\Omega / \text{ m}$;
- ❖ Câbles monoconducteurs jointifs en nappe : $X_c = 0,09 \text{ m}\Omega / \text{ m}$;
- ❖ Câbles monoconducteurs espacés $X_c = 0,13 \text{ m}\Omega / \text{ m}$.

$$\text{Donc : } Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2}$$

L'autre méthode de calcul du courant de court-circuit, surtout utilisée en HT, retenue pour sa précision et pour son aspect analytique, plus technique elle exploite le principe des composantes symétriques c'est la méthode utilisée en deuxième partie mais en utilisant le logiciel ETAP HT.

III. Calcul manuel des courants de courts circuits par la méthode des impédances

III.1. Modélisation de la ligne C244

En utilisant cette méthode, il est possible de déterminer la valeur d'un court-circuit en un point quelconque de l'installation en totalisant les résistances et les réactances de boucle de défaut depuis la source jusqu'au point considéré et en calculant l'impédance équivalente :

✚ L'impédance du réseau amont est :

$$Z_a = \frac{U^2}{S_{cc}}; R_a = 0.1 Z_a \text{ et } X_a = 0.995 Z_a$$

$$\text{AN : } Z_a = \frac{(63 \cdot 10^3)^2}{235 \cdot 10^6} = 1.68 + 16.8j (\Omega)$$

La valeur du courant de court-circuit « permanent » au niveau du primaire du transformateur est :

$$I_{cc} = \frac{U_n}{Z_a \sqrt{3}}$$

$$\text{AN } I_{cc} = 2.16 \text{ KA}$$

✚ L'impédance ramenée au secondaire :

$$Z_{ra} = Z_a \cdot m^2 \text{ avec } m \text{ le rapport de transformation,}$$

$$\text{D'où } Z_{ra} = 0.0168 + 0.168j (\Omega)$$

$$\text{✚ L'impédance du transformateur : } Z_{Tr} = \frac{U_{cc} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{cc}}$$

$$\text{Et ; } R_{Tr} = 0.31 Z_{Tr} \quad X_{Tr} = 0.95 Z_{Tr}$$

$$\text{D'où } Z_{Tr} = \frac{11.78 \cdot (6.3 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 30 \cdot 10^6} = 0.048 + 0.148j (\Omega)$$

D'où le courant de court-circuit « permanent » I_{cc} au niveau du secondaire du transformateur :

$$I_{cc} = \frac{U_n}{Z_{totale} \sqrt{3}} \quad \text{Avec } Z_{totale} = Z_{ra} + Z_{Tr}$$

$$\text{Alors } X_{totale} = X_{ra} + X_{Tr} \quad \text{et} \quad R_{totale} = R_{ra} + R_{Tr}$$

$$\text{AN : } X_{totale} = 0.316 \Omega \quad \text{Et} \quad R_{totale} = 0.648 \Omega \text{ d'où}$$

$$Z_{totale} = \sqrt{R_{totale}^2 + X_{totale}^2} = 0.322 \Omega$$

$$\text{AN } I_{cc} = \frac{6.3 \cdot 10^3}{0.322 \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_{cc} = 11.3 \text{ KA}$$

III.2. La nécessité de calcul par ordinateur

La taille du réseau électrique du complexe Maroc-Chimie et sa structure bouclée rendent le calcul à la main presque impossible si nous ne faisons pas des approximations (négliger les résistances, les impédances des lignes...). De plus, l'évolution du réseau Maroc-Chimie nécessite un logiciel flexible qui permet de le simuler à chaque fois qu'il subit des extensions.

IV. Calcul et analyse des résultats obtenus par ETAP

IV.1. Présentation du logiciel ETAP

ETAP (Electrical Transient Analysis Program) est un logiciel pour l'analyse, la conception, et la simulation des réseaux électriques industriels, de distribution et de production.

Le logiciel ETAP dispose d'une interface facile à utiliser pour créer et contrôler la base de données de réseau. On peut interactivement modéliser, surveiller, et contrôler le réseau électrique aussi bien qu'exécuter les scénarios de simulation et analyser les résultats d'une façon simple.

En outre, le logiciel met à la disposition de l'utilisateur plusieurs bibliothèques d'ingénierie qui fournissent des données complètes vérifiées et validées par le fabricant de l'équipement.

Le logiciel travaille sous deux normes :

- La norme internationale : CEI (La Commission d'Electrotechnique Internationale).
- La norme Américaine : ANSI (American National Standards Institute).

Nous exploiterons le logiciel pour le calcul des courants de court-circuit en tout point du réseau.

ETAP 12.6 est la version du logiciel utilisée.

V.2 Vérification du calcul manuel

Pour le tronçon sur lequel nous avons effectué le calcul manuel nous avons obtenu les résultats suivants :

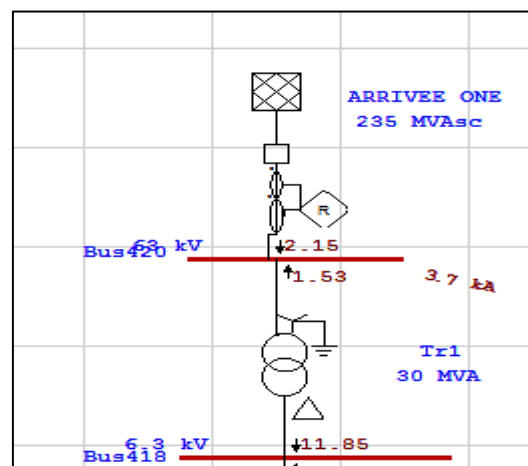


Figure 18 : Exemple de calcul de court-circuit sous ETAP.

Nous pouvons constater que c'est pratiquement les mêmes valeurs calculées manuellement.

IV.3. Calcul des courants de court-circuit au niveau des jeux de barres par ETAP selon la norme CEI 60909

Les installations électriques au complexe Maroc Chimie ont été dimensionnées pour supporter un courant de court-circuit bien déterminé.

Or, le complexe connaît de plus en plus d'extensions et des changements sur sa structure, les valeurs de courant de court-circuit pourraient dépasser les valeurs admissibles par les équipements, ce qui peut provoquer la destruction de ces équipements. Il s'avère donc nécessaire de calculer les nouveaux courants de court-circuit pour pouvoir vérifier si les équipements sont encore en mesure de les supporter.

IV.3.1 Modélisation du réseau électrique de Maroc Chimie

La prise d'écran ci-dessous représente la modélisation sous ETAP du réseau électrique interne de Maroc Chimie :

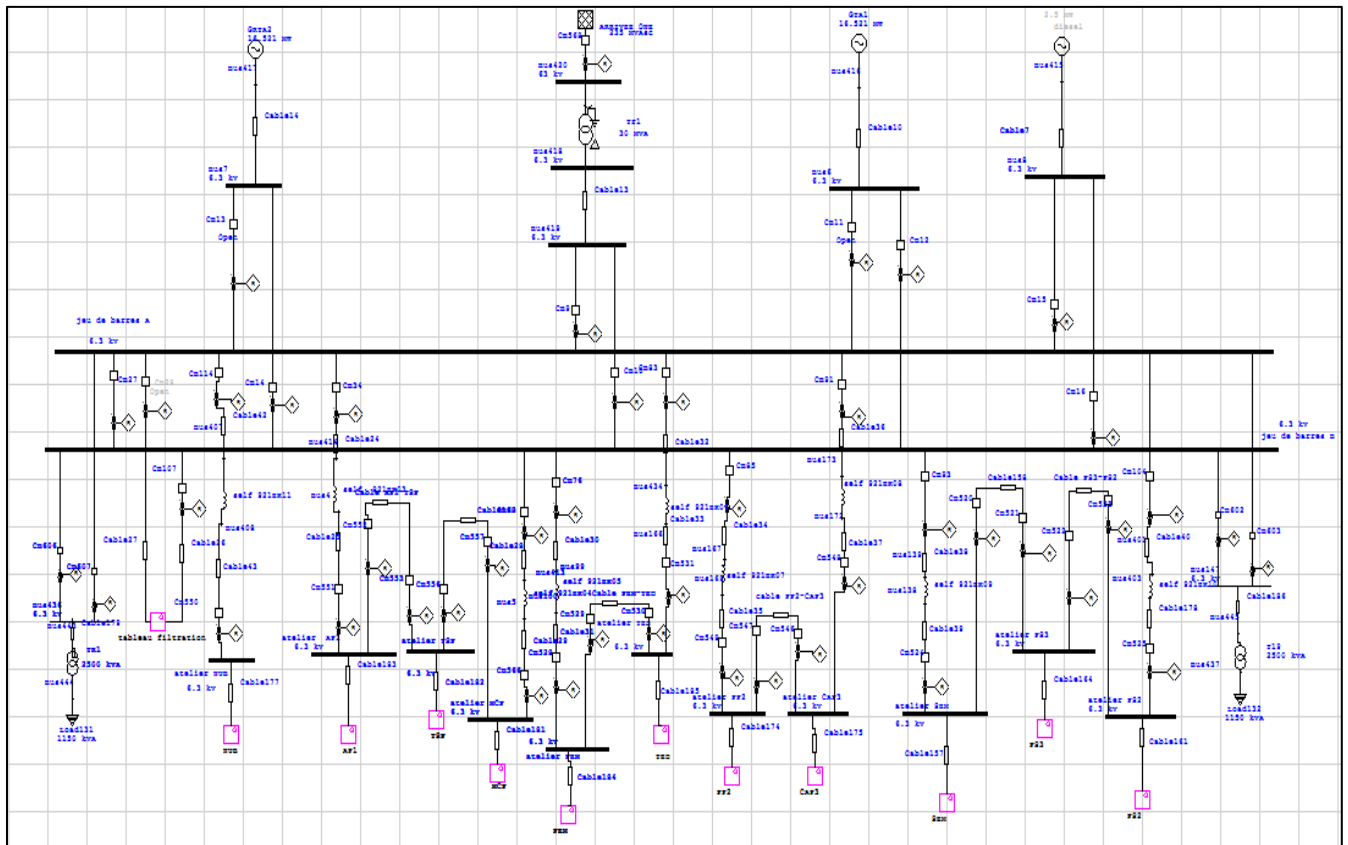


Figure 19 : Schéma du réseau électrique de Maroc Chimie sous ETAP.

Dans le schéma électrique ci-dessus, il figure des composites networks qui comporte les modélisations des ateliers.

IV.3.2 Résultats et analyse du calcul des courants de court-circuit

La prise d'écran sur l'annexe 1 représente les résultats du calcul des courants de court-circuit obtenu par ETAP.

Les différents courants de court-circuit calculés sont regroupés dans le tableau suivant pour le mode d'alimentation par les deux GTA et ONE :

Tableau 5 : Résultats des courants de court-circuit dans les différents ateliers.

Les jeux de barres	I _{sc} (KA)	I _p (KA)	I _k (KA)
La centrale	49.333	124.903	35.23
AP1	24.497	56.770	18.535
TSP	24.555	56.947	18.532
MCP	24.502	56.718	18.531
Tableau de filtration	48.625	122.078	34.697
PEM	20.064	45.332	16.614
TED	20.010	45.288	16.628
PP2	23.785	53.614	18.528
CAP3	23.712	53.323	18.505
SEM	22.923	52.134	17.335
PS3	22.856	51.434	17.305
PS2	22.715	50.933	17.305
NUB	24.906	57.016	19.220

I_{sc} : Courant de court-circuit symétrique ;

I_p : Courant de court-circuit asymétrique ;

I_k : Courant de court-circuit permanent.

➤ **Disjoncteurs HTA des arrivées et départs de la centrale :**

Les disjoncteurs installés à la salle HTA de la centrale sont des disjoncteurs de marque Schneider Electric, faisant partie de la gamme Mcset.

Les caractéristiques de ces disjoncteurs sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Caractéristiques des disjoncteurs de la centrale.

Caractéristiques	Valeurs assignées
Tension de service (kV)	6/8.9
Tension assignée (kV)	12
U _d (kV eff. 1mn)	28
U _p (kV crête)	75
Courant nominal (A)	1250
Pouvoir de coupure (kA)	50
Pouvoir de fermeture (kA)	125

Interprétation :

La valeur du courant de court-circuit maximale symétrique est égale à 49.333 kA, elle est inférieure au pouvoir de coupure des disjoncteurs. La valeur de court-circuit asymétrique est 124.903 KA, elle est aussi inférieure au pouvoir de fermeture.

Les disjoncteurs de la centrale sont bien dimensionnés.

➤ **Disjoncteurs des départs HTA installés dans les salles moyenne tension des ateliers :**

La grande majorité des départs HTA des ateliers sont dotés des disjoncteurs de type Merlin Gerin dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 7 : Caractéristiques des disjoncteurs des ateliers.

Caractéristiques	Valeurs assignées
Tension assignée (kV)	7.2
Up (kV crête)	60
Courant nominal (A)	630
Pouvoir de coupure (kA)	25
Pouvoir de fermeture (kA)	63

Interprétation :

La valeur du court-circuit maximale symétrique est inférieure à 24.906 kA pour tous les ateliers. Cette valeur est inférieure au pouvoir de coupure des disjoncteurs qui est égale à 25 kA. La valeur de court-circuit asymétrique est 57.016 KA, elle est aussi inférieure au pouvoir de fermeture des disjoncteurs qui a une valeur de 63 KA.

Les disjoncteurs des ateliers sont bien dimensionnés.

IV.4. Vérification du dimensionnement des tableaux HTA

Les tableaux suivants donnent les caractéristiques des tableaux des ateliers de la division Maroc Chimie :

Tableau 8 : Caractéristiques du tableau principal et du filtration.

Caractéristique	Valeurs assignées
Tension de service	6/8.9 KV
Tension d'isolement	12 KV
Tenue diélectrique	28 KVrms/1min
Tension nominale	75 KV
Tenue aux chocs de foudre	60 KVc
Fréquence	25 Hz
Tenue électrodynamique	125 KAc
Tenue thermique	50KA rms-1s
Tenue à l'arc interne	42 KA-1s

Tableau 9 : Caractéristiques du tableau de TED, PP2 et TSP.

Caractéristique	Valeurs assignées
Tension de service	6/8.9 KV
Tension d'isolement	12 KV

Tenue diélectrique	28 KVrms/1min
Tension nominale	75 KV
Tenue aux chocs de foudre	60 KVc
Fréquence	25 Hz
Tenue électrodynamique	63 KAc
Tenue thermique du tableau	31.5 KA rms-3s
Tenue à l'arc interne	31.5 KA-1s

Tableau 10 : Caractéristiques du tableau de NUB, PEM, CAP3, SEM, PS2, PS3, PP1 et MCP.

Caractéristique	Valeurs assignées
Tension de service	6/8.9 KV
Tension d'isolement	12 KV
Tenue diélectrique	28 KVrms/1min
Tension nominale	75 KV
Tenue aux chocs de foudre	60 KVc
Fréquence	25 Hz
Tenue électrodynamique	63 KAc
Tenue thermique du tableau	31.5 KA rms-3s
Tenue à l'arc interne	25 KA-1s

IV.4.1 Vérification de la tenue électrodynamique des tableaux des ateliers de Maroc Chimie

Les efforts électrodynamiques les plus intenses sont ceux engendré par les intensités les plus intenses qui peuvent apparaître lors d'un court-circuit. Le courant de court-circuit qui présente la valeur la plus intense est le courant de court-circuit asymétrique triphasée ou l'on note par

$I_{p \text{ triphasé}}$, on compare cette valeur avec la limite admissible par le tableau pour savoir s'il est en mesure de supporter une telle contrainte.

Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs du courant de court-circuit de peak calculé au niveau des tableaux des différents ateliers ainsi que la valeur admissible par chaque tableau.

Tableau 11 : Tenue électrodynamique des tableaux des ateliers de Maroc Chimie.

Les jeux de barres	Ip (KA)	Tenue électrodynamique (KAc)
La centrale	124.903	125
AP1	56.770	63
TSP	56.947	63
MCP	56.718	63
Tableau de filtration	122.078	125
PEM	45.332	63
TED	45.288	63
PP2	53.614	63
CAP3	53.323	63

SEM	52.134	63
PS3	51.434	63
PS2	50.933	63
NUB	57.016	63

Remarque :

Pour la tenue électrodynamique, le courant de court-circuit calculé au niveau de tous les tableaux des différents ateliers présente une valeur inférieure à la limite admissible à l'exception du tableau de la centrale et de filtration qui présentent un fort courant de court-circuit de l'ordre de 124.903KAc, et qu'il pourrait dépasser largement la limite admissible qui est de 125KAc si cet atelier connaissent des extensions dans le futur.

IV.4.2. Vérification de la tenue thermique des tableaux des ateliers de Maroc Chimie

Dans cette partie on va vérifier la contrainte thermique des tableaux. Autrement dit on va calculer la durée maximale pendant laquelle le tableau peut supporter le défaut.

La durée est obtenue en gardant le produit I^2t constant ce qui nous donne la formule suivante :

$$t_{\text{maximal}} = \frac{I_{\text{cc admissible}}^2 * t_{\text{admissible}}}{I_{\text{k calculé}}^2}$$

Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs du courant de court-circuit permanent calculé au niveau des tableaux des différents ateliers ainsi que la valeur admissible par chaque tableau :

Tableau 12 : Tenue thermique des tableaux des ateliers de Maroc Chimie.

Les jeux de barres	I_k (KA)	Courant admissible	$t_{\text{admissible}}$ (s)	t_{maximal} (s) (calculée)
La centrale	35.23	50	1	2.01
AP1	18.535	31.5	3	8.6
TSP	18.532	31.5	3	8.6
MCP	18.531	31.5	3	8.6
Tableau de filtration	34.697	50	1	2.07
PEM	16.614	31.5	3	10.78
TED	16.628	31.5	3	10.76
PP2	18.528	31.5	3	8.67
CAP3	18.505	31.5	3	8.7
SEM	17.335	31.5	3	9.9
PS3	17.305	31.5	3	9.94
PS2	17.305	31.5	3	9.94
NUB	19.220	31.5	3	8.05

Remarque :

On remarque que presque tous les tableaux peuvent supporter le courant de court-circuit calculé pour le mode (GTA1, GTA2 et T1) pour une durée qui dépasse les 8 secondes à

l'exception du tableau de filtration et le tableau principal qui ne peut supporter le défaut que pour 2.07 secondes.

Ces valeurs doivent être prises en considération lors du réglage des organes de protection afin de rester dans les conditions de fonctionnement admissibles par les tableaux

IV.4.3. Vérification de la tenue à l'arc interne des tableaux des ateliers de Maroc Chimie

Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs du courant de court-circuit symétrique calculé au niveau des tableaux des différents ateliers ainsi que la valeur admissible par chaque tableau :

Tableau 13 : Tenue à l'arc interne des tableaux des ateliers de Maroc Chimie.

Les jeux de barres	Isc (KA)	La tenue à l'arc interne (KA)
La centrale	49.333	42
AP1	24.497	31.5
TSP	24.555	25
MCP	24.502	25
Tableau de filtration	48.625	42
PEM	20.064	25
TED	20.010	31.5
PP2	23.785	31.5
CAP3	23.712	25
SEM	22.923	25
PS3	22.856	25
PS2	22.715	25
NUB	24.906	25

Remarque :

Selon les résultats obtenus par ETAP, nous pouvons remarquer que dans le mode normal d'exploitation, le courant de court-circuit calculé dépasse largement la valeur admissible du tableau HTA principale ainsi que celle du tableau HTA filtration. Ce qui pourrait engendrer des dégâts importants sur les jeux de barres.

Ainsi nous pouvons remarquer que les ateliers NUB, MCP et TSP présentent un fort court-circuit qui pourrait dépasser le courant de court-circuit admissible si ces ateliers connaissent des extensions dans le futur.

V. Solutions proposées pour limitation des courants de court-circuit

Nous proposons dans ce qui suit quelques solutions qui ne tiennent compte que du mode d'exploitation GTA1+ GTA1+ONE du réseau et qui est le plus sollicité.

V.1. Solution 1 : changement de trois selfs

Comme première solution, on propose de changer les selfs 921EK03 et 921EK04 de la boucle G1-G11 des ateliers AP1-TSP-MCP, ainsi la self 921EK11 de la boucle G4 de l'atelier NUB par des selfs dont les impédances sont égales et identiques à la self 921EK05 dont les caractéristiques sont :

L nominal	0.793 mH
I nominal	1250 A
Fréquence	50 Hz

Le changement de ces selfs de limitation de courant de court-circuit fera diminuer les valeurs du courant de court-circuit des ateliers concernés.

Les nouvelles valeurs de courant de court-circuit sont données par le tableau ci-dessous :

Tableau 14 : Valeurs de I_{cc} avant et après la solution proposée.

Les jeux de barres	I_{cc} (KA) avant changement	I_{cc} (KA) après changement	I_{cc} Dimensionnée(KA)
La centrale	49.333	49.087	42
AP1	24.497	22.620	25
TSP	24.555	22.675	31.5
MCP	24.502	22.625	25
Tableau de filtration	48.625	48.387	42
PEM	20.064	20.026	25
TED	20.010	19.972	31.5
PP2	23.785	23.736	31.5
CAP3	23.712	23.663	25
SEM	22.923	22.880	25
PS3	22.856	22.813	25
PS2	22.715	22.672	25
NUB	24.906	15.128	25

Interprétation :

On remarque que les ateliers AP1, TSP, MCP et NUB représentent un fort court-circuit de l'ordre de 24.906 KA, et il peut dépasser les valeurs dimensionnées (25 KA) si ces ateliers subiront des extensions dans le futur.

La solution proposée nous a permis de diminuer les courants de court-circuit à une valeur de 22.620 KA pour AP1 et 15.128 pour NUB.

V.2. Solution 2 : Ajout des selfs de limitation dans les arrivées

Ajouter des selfs de limitation dans les arrivées du transformateur, GTA1 et GTA2, semblables à la self 921EK05, dont les caractéristiques sont :

L nominal	0.637 mH
I nominal	2500 A
Fréquence	50 Hz

Le changement dans le schéma du réseau est représenté par la figure suivante :

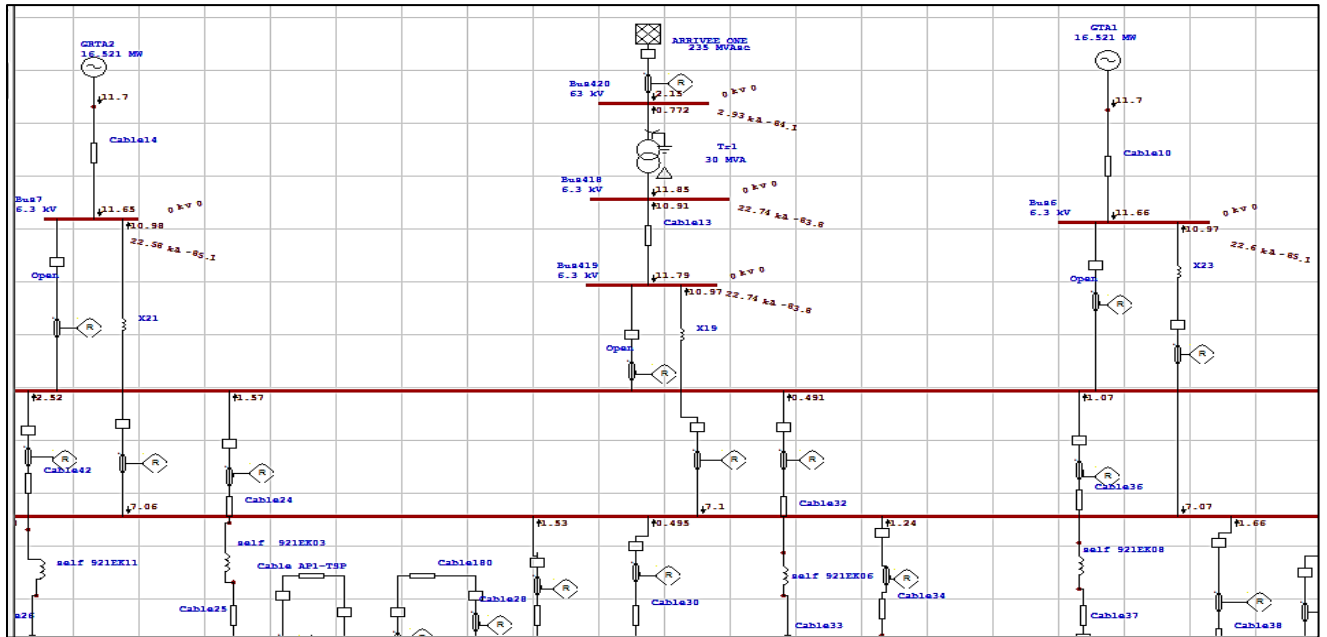


Figure 20 : Schéma du réseau électrique après la solution proposée.

Les nouvelles valeurs du courant de court-circuit sont données par le tableau ci-dessous :

Tableau 15 : Valeurs de I_{cc} avant et après la solution proposée.

Les jeux de barres	I_{sc} (KA) avant changement	I_{sc} (KA) après changement	I_{sc} Dimensionnée(KA)
La centrale	49.333	35.536	42.1
API1	24.497	21.032	25.2
TSP	24.555	21.083	31.6
MCP	24.502	21.037	25.2
Tableau de filtration	48.625	35.176	42.1
PEM	20.064	17.461	25.2
TED	20.010	17.411	31.6
PP2	23.785	20.385	31.6
CAP3	23.712	20.327	25.2
SEM	22.923	19.922	25.2
PS3	22.856	19.870	25.2
PS2	22.715	19.746	25.2
NUB	24.906	21.209	25.2

Interprétation :

On remarque que le courant de court-circuit de chaque atelier est diminué ainsi les nouvelles valeurs calculées sont bien évidemment inférieures aux valeurs admissibles par chaque tableau.

V.3. Solution 3 : limiteur de courant à supraconducteur résistif

Un limiteur de courant à supraconducteur résistif est constitué d'un élément en supraconducteur qui conduit le courant en conditions normales. En cas de court-circuit, cet élément sort de son état supraconducteur et son impédance augmente fortement. Pour éviter sa destruction par surchauffe, un élément impédant doit être placé en parallèle : bobine ou résistance. Cet élément évite également que le courant soit complètement interrompu ce qui entraînerait une surtension sur le réseau. On peut aussi utiliser un limiteur de courant à supraconducteur résistif entre le transformateur, les alternateurs et le tableau principal en lui imposant un seuil de courant critique $I_C = 11 \text{ KA}$.

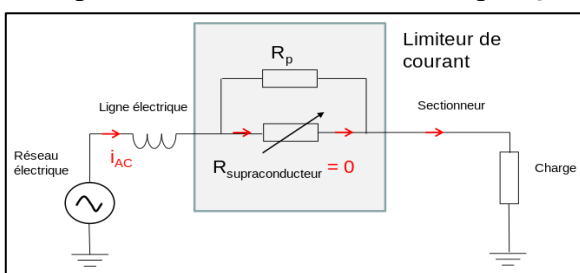


Figure 21 : En temps normal, l'élément supraconducteur à une résistance nulle.

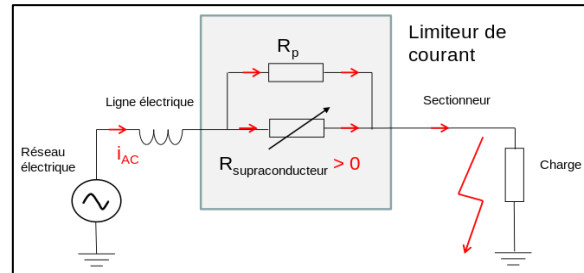


Figure 22 : cas de court-circuit, l'élément supraconducteur retourne à l'état normal et limite le courant.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons calculé les courants de court-circuit tout d'abord manuellement à l'aide de la méthode des impédances, ensuite nous avons vérifié les résultats obtenus à l'aide du calculateur ETAP-HT. Les calculs sont presque identiques.

Une fois que le calcul des courants de court-circuit a été fait, nous avons vérifié le pouvoir de coupure et de fermeture des disjoncteurs, et nous avons constaté qu'ils sont encore en mesure de supporter les courants de court-circuit dans la marche normale du réseau électrique.

Ensuite, nous avons fait la vérification du dimensionnement des tableaux HTA installés au niveau de la division MC, tout en comparant les valeurs du courant de court-circuit asymétrique avec les limites admissibles de la tenue électrodynamique par chaque tableau, et celles symétriques avec les valeurs admissibles de la tenue à l'arc interne, et nous avons calculé la durée acceptable lors de l'apparition d'un défaut afin de vérifier la tenue thermique.

D'après les résultats obtenus, on a déduit que tous les tableaux sont bien dimensionnés à l'exception des tableaux HTA : de la centrale, de filtration et des ateliers NUB, MCP et TSP qui présentent de forts courants de court-circuit. Afin de résoudre ces anomalies, on a proposé quelques solutions qui permettent de limiter les courants de court-circuit : ajout des selfs au niveau des arrivées des sources d'alimentation et changement de celles installées aux départs des ateliers NUB, MCP et TSP, et utilisation du limiteur de courant qui présente une solution efficace afin d'éviter les conséquences des déclenchement généraux. Le calcul de court-circuit constitue un point de départ pour le réglage de la protection.

Dans le chapitre suivant nous allons traiter les réglages de la protection des différents équipements.

Chapitre 5 :

Réglages des protections et étude de la sélectivité

I. Introduction

Dans presque tous les cas, un défaut provoque une interruption d'alimentation et de production. L'interruption qui, du fait des contraintes économiques, est de moins en moins acceptable.

L'arrêt d'exploitation peut cependant être circonscrit à une zone du réseau selon le lieu du défaut, l'efficacité des protections et la technique de sélectivité mise en œuvre.

La fiabilité des protections est un facteur essentiel de la sécurité et de la disponibilité d'une installation électrique. Les constructeurs de dispositifs de protection poursuivent, lors du développement et de la fabrication, un double objectif : être sûr du déclenchement (sécurité) et ne pas avoir de déclenchement intempestif (disponibilité) [3].

La division Maroc Chimie a connu plusieurs modifications au niveau du réseau électrique. Et à cause des déclenchements permanents de quelques départs, on est obligé de vérifier les réglages actuels des relais de protection afin d'étudier la sélectivité pour assurer la disponibilité et la continuité de l'énergie électrique au sein de ce complexe. Ceci fait l'objet du présent chapitre.

II. Les dispositifs de protection

II.1. Le 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.

Un disjoncteur est l'association d'un ensemble de contacts, avec un pouvoir de coupure et d'un système de protection en cas de défaut.

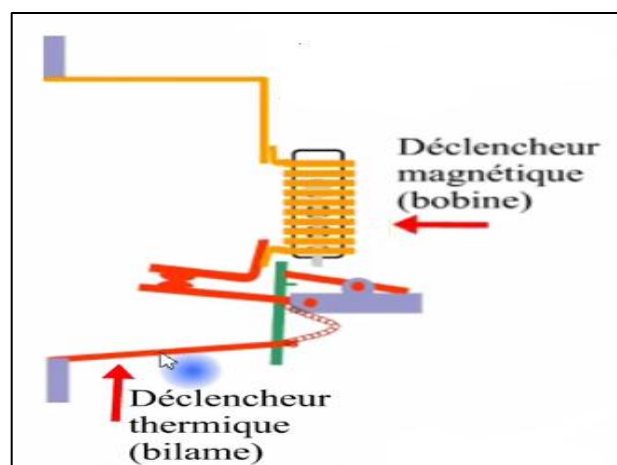


Figure 23 : Constituants du disjoncteur.

Il existe plusieurs types de disjoncteurs :

- Les disjoncteurs magnétiques : qui assure la protection contre le court-circuit ;
- Les disjoncteurs thermiques : qui assure la protection contre les surcharges ;
- Les disjoncteurs magnétothermiques, qui assure la protection contre le court-circuit ainsi que les surcharges ;
- Les disjoncteurs électroniques : qui réalisent les fonctions des déclencheurs thermiques et ou magnétiques, tout en disposant d'une large plage de réglage (du niveau de déclenchement, du délai de déclenchement) ;
- Les disjoncteurs magnétothermiques différentiels : qui assure la protection contre le court-circuit, les surcharges et la protection des personnes contre les contacts indirects.

La figure suivante regroupe la caractéristique de déclenchement thermique et celle magnétique afin d'obtenir la courbe complète de déclenchement du disjoncteur. Elle indique que si on se trouve à droite et /ou au-dessus de la courbe, on aura le déclenchement.

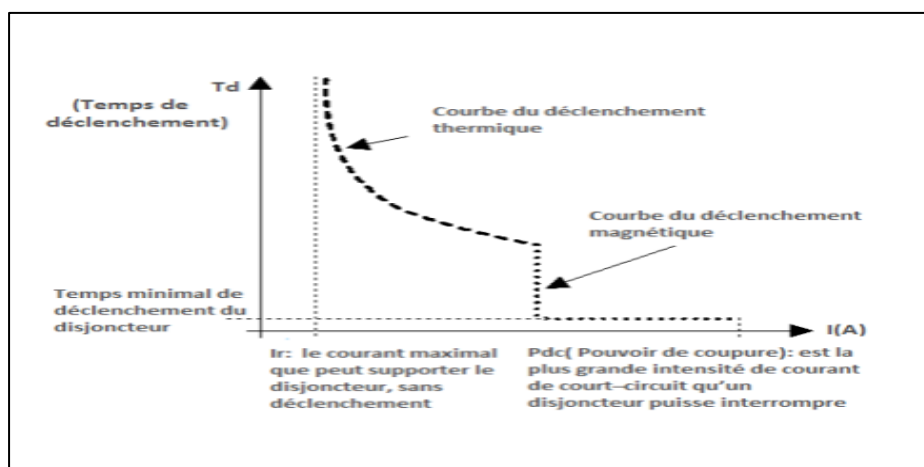


Figure 24 : Courbe de déclenchement magnétothermique.

II.2. Relais de protection

Un relais de protection est un dispositif automatique qui donne des ordres de sortie destinés à la commande d'un disjoncteur pour la mise hors tension d'un circuit lorsque l'état de ses grandeurs électriques qui l'alimentent, franchit un seuil déterminé.

Presque la majorité des relais utilisés au sein de Maroc Chimie sont de type SEPAM, ce dernier est un relais performant pour la protection des réseaux de distribution et les postes HT/MT. Il se présente comme suit :

- **SEPAM série 80** : pour les applications personnalisées, il se compose de : 43 entrées logiques, 23 sorties à relais, éditeur d'équations logiques, 2 ports de communication Modbus, 16 entrées sondes, cartouche mémoire amovible, pile pour conservation des historiques, IHM de commande locale, logiciel de programmation Logipam.

Le relais de protection SEPAM est associé au capteur de courant ou transformateur de courant. Comme il n'est pas possible de brancher directement les relais sur le réseau MT, les informations qu'ils reçoivent proviennent de transformateurs de courant TC (1A ou 5A).

Du point de vue électrique, les TC ont plusieurs rôles :

- Délivrer à leur secondaire une intensité, image fidèle de celle qui circule, dans le conducteur concerné,

- Protéger les circuits de mesure et de protection de toute détérioration lorsque survient un défaut sur le réseau MT.

Avec cette image de l'intensité dans le conducteur MT, le relais élabore à son tour un ordre de déclenchement en fonction du type de protection qu'il réalise et des valeurs auxquelles qu'il a été préréglé [seuil(s), temporisation(s)...]. Cet ordre est transmis à un ou Plusieurs appareils de coupure (disjoncteur ...)

La figure suivante représente la salle moyenne tension de la centrale de Maroc Chimie :



Figure 25 : Salle MT de la centrale Maroc Chimie.

II.3. Généralités sur la sélectivité

Il y a sélectivité des protections, si un défaut survenant à un point quelconque de l'installation est éliminé par l'appareil de protection placé immédiatement en amont de ce défaut et, si possible, par lui seul.

La sélectivité est TOTALE si, pour toute valeur de I_{cc} triphasé (I_{k3}) présumé, seul le dispositif AVAL fonctionne ou PARTIELLE si le dispositif AVAL fonctionne seul jusqu'à une valeur de court-circuit inférieure à I_{cc} présumé, au-delà AMONT et AVAL fonctionnent.

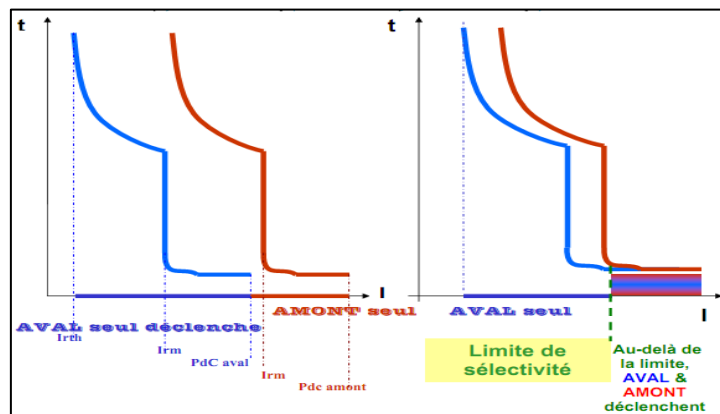


Figure 26 : Sélectivité totale et partielle.

Améliorer la sélectivité revient généralement à « freiner » le déclenchement du disjoncteur considéré par rapport au déclenchement des disjoncteurs situés en aval dans l'installation.

Cet objectif est réalisé :

- Soit en utilisant un écart entre les seuils de déclenchement, c'est la sélectivité ampèremétrique ;
- Soit en retardant de quelques dizaines ou centaines de millisecondes le déclenchement du disjoncteur amont, c'est la sélectivité chronométrique ;
- Soit en communiquant d'un disjoncteur à l'autre l'information de dépassement de seuil, c'est la sélectivité logique. [4]

La sélectivité des protections utilisée au sein de Maroc Chimie est totale. Elle est de type chronométrique.

Les types des courbes des protections utilisés :

- Temporisation à temps indépendant, ou temps constant (DT : Definite Time) : la figure 1 de l'annexe 2 fait apparaître que le temps de déclenchement de la protection est constant (réglage de la temporisation T) au-delà du seuil de courant I_s .
- Temporisation à temps dépendant (Extremly Inverse) : la figure 2 de l'annexe 2, fait apparaître que le temps de déclenchement de la protection est d'autant plus court que le courant est élevé, au-delà du seuil de courant I_s .

III. Réglages des protections du réseau Maroc Chimie

III.1. Réglages des protections du transformateur HTB/HTA

Le transformateur est un élément particulièrement important d'un réseau.

Il est nécessaire de le protéger efficacement contre tous les défauts susceptibles de l'endommager, qu'ils soient d'origine interne ou externe. Le choix d'une protection dépend souvent de considérations technico-économiques liées à sa puissance.

Un transformateur de puissance peut être soumis à deux types de défauts :

- ✓ **Les défauts internes** : court-circuit entre spires ou entre enroulements et la cuve du transformateur, défaut sur le circuit magnétique ou mauvais fonctionnement du système de refroidissement, de pompage de l'huile.
- ✓ **Les défauts externes** : court-circuit sur le réseau que le transformateur alimente, surcharge ou surtensions électriques d'origine interne ou atmosphérique.

➤ Protection contre les défauts internes :

Protection Masse – Cuve

Cette protection est faiblement temporisée installée sur la connexion de mise à la terre de la masse du transformateur, elle constitue une solution simple et efficace contre les défauts internes entre un enroulement et la masse ; elle nécessite d'isoler le transformateur par rapport à la terre et détecter le courant qui transite sur la seule liaison reliant la cuve du transformateur à la terre par l'intermédiaire du TC tore installé sur cette dernière.

Protection Buchholz

Pour les transformateurs de l'huile, des dispositifs sensibles au dégagement de gaz et au déplacement d'huile provoqués par un court-circuit entre spires d'une même phase ou un court-circuit entre phases

Parmi ces dispositifs, le relais Buchholz à deux contacts qui protège le transformateur contre ces défauts internes, quand un arc électrique ou une surchauffe se développe à l'intérieur des enroulements, il y'a dégagement de gaz par évaporation de l'huile.

Un faible dégagement de gaz fait déclencher un seul contact qui donne naissance uniquement à une alarme, tandis qu'un dégagement important des gaz provoque le déclenchement d'un deuxième contact et la mise hors service du transformateur par le disjoncteur.

Contrôle de la température

Les transformateurs de puissance sont équipés de sondes thermostatiques pour le contrôle de la température. On distingue : une sonde thermostatique réglée à 90 ou 100°C, son action entraîne instantanément le déclenchement du transformateur, deux autres sondes, réglées respectivement à 65°C et 55°C pour le démarrage des aéroréfrigérants de réserve et la commande de leur arrêt, et une sonde thermostatique réglée à 80°C, son action entraîne une signalisation sur l'élévation de la température.

Protection contre le manque de la circulation d'huile

Le fonctionnement des pompes de circulation d'huile de refroidissement des transformateurs est contrôlé par l'intermédiaire de clapets dont la position indique la circulation d'huile ou l'arrêt des pompes. Ces clapets actionnent des contacts pour signaler au bout de 5 minutes le manque de circulation d'huile.

Ce dispositif est aussi associé à un relais ampérométrique qui contrôle la charge du transformateur.

L'ensemble provoque le déclenchement du transformateur après une temporisation de 20 minutes, en cas d'arrêt de fonctionnement des pompes et lorsque la charge du transformateur est supérieure de 20 % à la charge nominale.

➤ Protection contre les défauts externes

La protection contre les défauts externes entre phases et surcharge est assurée par la protection à maximum de courant à temps inverse et à temps constant (50/51).

Le réglage de ces deux fonctions de protections se fait en tenant compte du courant nominal du transformateur (Full Load Amperes) et du courant d'enclenchement du transformateur (Inrush Current).

En effet lorsqu'un transformateur est mis sous tension, ceci provoque une pointe de courant transitoire pouvant atteindre jusqu'à 20 fois le courant nominal avec une constante de temps pouvant aller de 0.1s à 0.7s. Ce phénomène est dû à la saturation du circuit magnétique qui provoque l'apparition d'un courant magnétisant important. Il correspond à une manœuvre normale d'exploitation du réseau ; donc il ne doit pas être vu comme un défaut par les protections qui devront laisser passer la pointe d'enclenchement.

Les protections actuelles utilisés au niveau du relais situé en amont et en aval du transformateur sont données par les tableaux suivants :

Coté HTB en amont du transformateur :

Tableau 16 : Réglages du relais amont du transformateur.

Amont du transformateur : Type de relais :GE Multilin F650						
Protection			Réglages			
Fonction	Code ANSI	Sensor	Courbe	Pickup	Seuil du courant	Temporisation
Max de I	50/51	400/5	IEC-curve C	3.09	247.2A	0.02s
Max de I	50/51		DT	15	1200A	0.25s
Max de Io	50N/51N	1/1	DT	1	1A	2s

Coté HTA en aval du transformateur :

Tableau 17 : Réglages du relais aval du transformateur

Aval du transformateur : Type de relais : Relais Sepam Gerlin Merin série 80 F650						
Protection			Réglages			
Fonction	Code ANSI	Sensor de TC	Courbe	Pickup	Seuil du courant	Temporisation
Max de I	50/51	3000/5	DT	1	3000A	2.2s
Max de I	50/51		DT	2.2668	6800A	1s
Thermique	49		DT	0.9164	2749A	30 min
Max de I	67		DT	1.3334	4000A	0.4s
Max de Io	50N/51N	1/1	DT	1	630A	0.1s

Pour s'assurer de la validité de ces réglages, nous utiliserons le logiciel « ETAP » pour tracer le TCC (Time Current Curve) correspond au relais du transformateur :

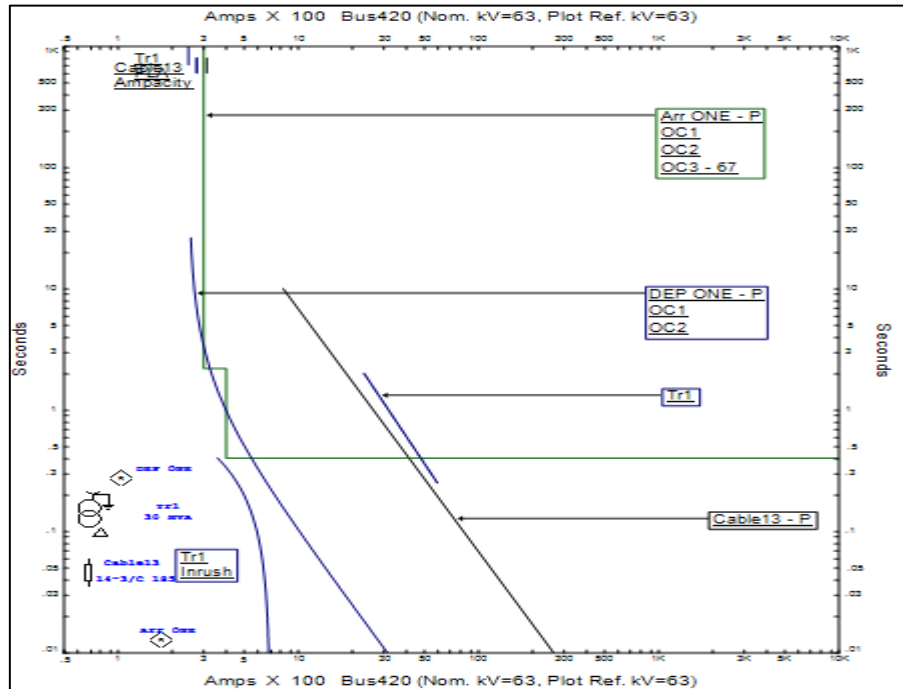


Figure 27 : TCC relatif au transformateur et au câble HTA.

Interprétation :

La courbe du relais est en dessous de la courbe de détérioration du transformateur et celle du câble. La courbe du relais est ainsi en dessus de la courbe du courant d'enclenchement du transformateur. Il n'y a donc aucun risque d'un déclenchement indésirable après la mise sous tension du transformateur.

Les figures ci-dessous montrent l'ordre de déclenchement des disjoncteurs et les courbes de sélectivité dans les deux cas.

Défaut en amont du transformateur :

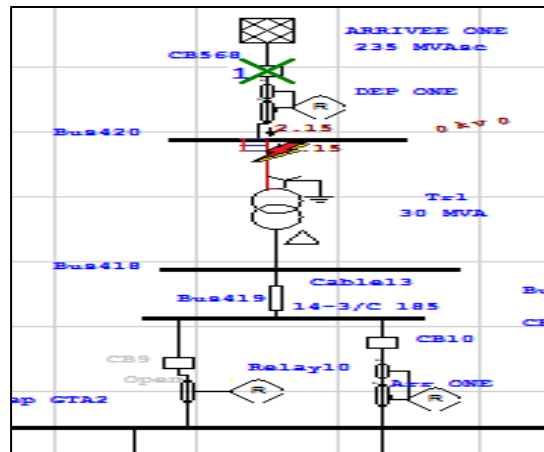
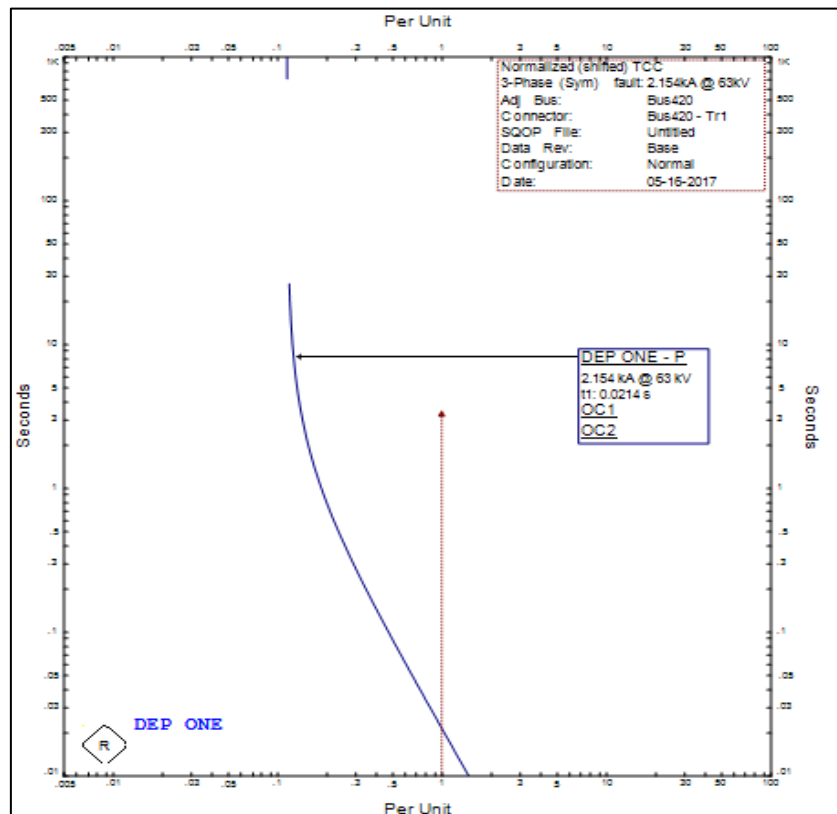


Figure 28 : Localisation du défaut.



Défaut en aval du transformateur :

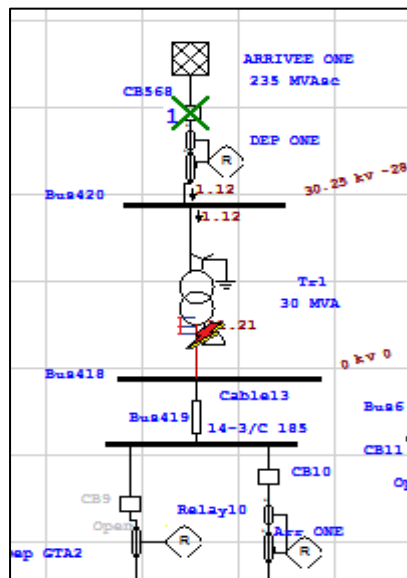


Figure 30 : localisation du défaut.

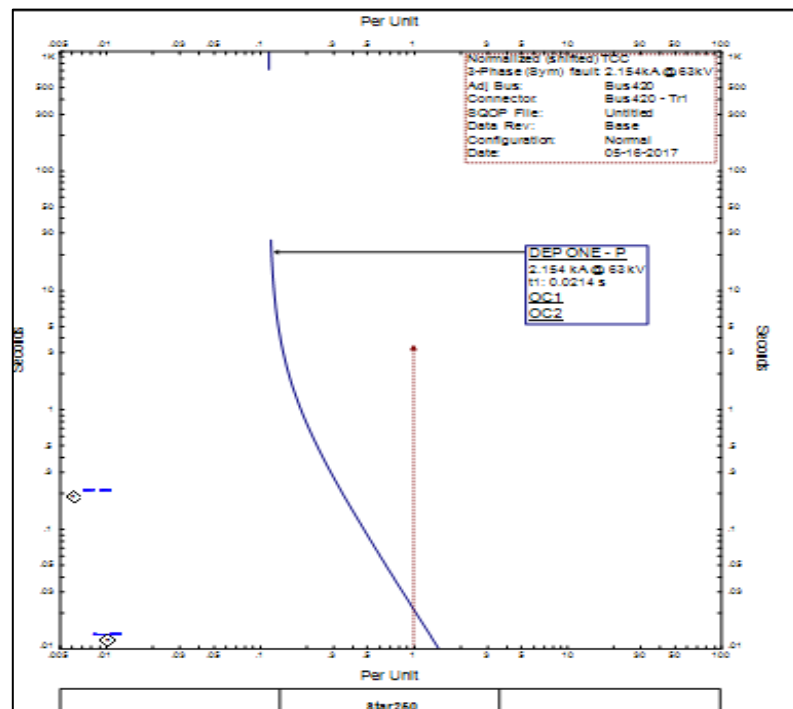


Figure 31 : Graphique de coordination des protections.

Commentaires :

D'après les courbe de déclenchement des relais de protection on remarque qu'après l'apparition du défaut au niveau du primaire ou secondaire du transformateur c'est le relais en aval du transformateur qui déclenche en 0.0214 secondes. La protection est assurée.

III.2. Réglage de protection des départs moteurs HTA

Le réglage est réalisé en tenant compte du courant nominal du moteur ainsi que de sa caractéristique de démarrage.

Les moteurs sont aussi protégés contre l'échauffement provoqué soit par :

- Un déséquilibre qui donne toujours naissance à la composante inverse ce qui fait chauffer d'avance le moteur ;
- Un démarrage trop long causé par une surcharge ou par une alimentation insuffisante ;
- Un blocage rotor causé par la charge du moteur ;
- Des démarrages trop fréquents causé par la mise sous tension d'un moteur lorsque le nombre maximum de démarrages autorisés est atteint.

Etude de cas : Pompe eau de mer du tableau de l'atelier PEM :

Tableau 18 : Caractéristiques de la pompe.

Pompe eau de mer BP01	
Caractéristiques	Valeurs
Puissance active (KW)	445
Facteur de puissance	0,74
Tension nominal (KV)	6.3

Courant nominal (A)	55
Courant de démarrage (A)	6.In
Rendement (%)	95,3
Temps de démarrage (s)	1,5
Paire de pôles	7

Les réglages adoptés pour la protection à temps dépendante et indépendante :

Tableau 19 : Réglages de la protection du relais départ pompe.

Type de relais : Relais Sepam Gerlin Merin série 80					
Protection			Réglages		
Fonction	Code ANSI	Sensor de TC	Courbe	Seuil du courant	Temporisation
Max de I	50/51	100/5	DT	700 A	0.05s
			DT	1260A	0.1s
			ST	60A	5s
Thermique	49		Thermal	58A	40 min
Thermique	49		Thermal	58A	10 min
Démarrage trop long	48		DT	145A	10s
Rotor bloqué	51LR		DT	145A	0.5s
Déséquilibre	46		DT	8.7A	2s
Min de U	27		DT	80% Un	1.5s
Sonde température	49T	-	Suivant recommandations du constructeur		
Max de I₀	50N/51N	1/1	DT	15A	0.05

Pour s'assurer de la validité de ces réglages, nous utiliserons le logiciel « ETAP » pour tracer le TCC (Time Current Curve) correspond au relais du Pompe :

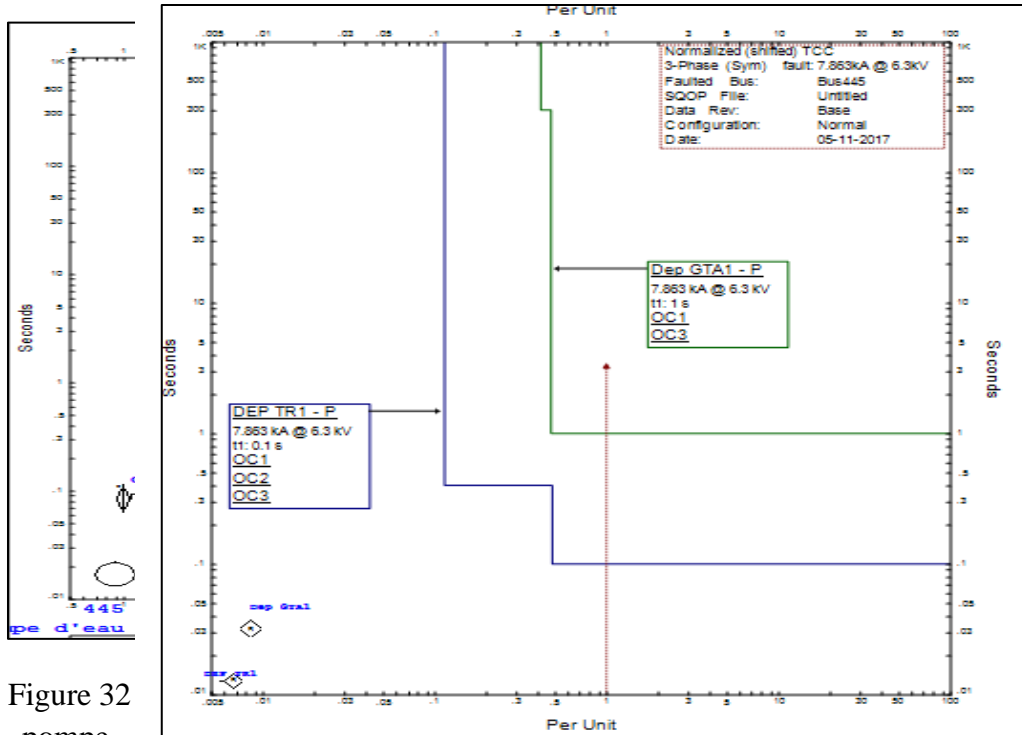


Figure 32 pompe.

: TCC de la

Interprétation :

La courbe de démarrage du moteur est en dessous de celle du relais de protection on constate alors que le réglage de la protection moteur est insensible au courant de démarrage de celui-ci. Donc il n'y a aucun risque de déclenchement intempestif de la protection lors du démarrage du moteur.

VI. Etude de la sélectivité du réseau Maroc Chimie [5]

VI.1. Sélectivité vis-à-vis des défauts entre phases

VI.1.1. Fonctionnement sur GTA1 : défaut entre phases au secondaire de TR1

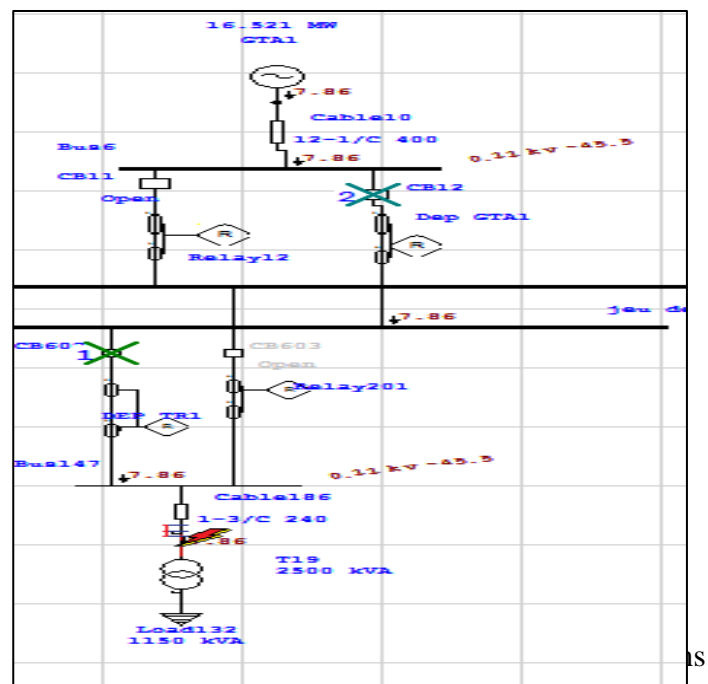
Les réglages actuels sont représentés par le tableau suivant :

Tableau 20 : Réglages actuels des protections de TR1.

Relais	Type	Set	AINSI	Courbe	Rapport CT	Pickup	Seuil de I (A)	Seuil du temps (s)
DEP-GTA1	Sepam80	1	50/51	DT	2000/5	1.875	3750	1
	Sepam80	1	49RMS	DT	2000/5	2268	2268	1800
	Sepam80	1	67	DT	2000/5	2.35	4700	0.4
DEP-TR1	Sepam80	1	50/51	DT	250/5	3.6	900	0.4
	Sepam80	2	50/51	DT	250/5	15.2	3800	0.1
	Sepam80	3	50/51	DT	250/5	16	4000	0.1

Les figures ci-dessus représentent les séquences de déclenchement des disjoncteurs et le graphique de coordination des protections sous ETAP :

Figure 33 : Localisation du défaut.



Commentaires :

Le défaut est vu par le relais de protection du transformateur TR1 et par celui situé sur le GTA1. La protection est assurée. Le défaut est éliminé en 0.1s par la protection départ transformateur, et après un intervalle de 0.9s, il est éliminé par la protection du relais situé en aval du GTA1, et puisque l'intervalle de déclenchement proposé qui assure la sélectivité entre les protections est >0.2s. alors la sélectivité est assurée à ce niveau.

Nous utilisons le logiciel « Etap » pour tracer le TCC (Time Current Curve) correspond au relais du transformateur. La courbe du relais est en dessous de la courbe de détérioration du transformateur. La courbe du relais est ainsi en dessus de la courbe du courant d'enclenchement du transformateur. Il n'y a donc aucun risque d'un déclenchement indésirable après la mise sous tension du transformateur (figure 35).

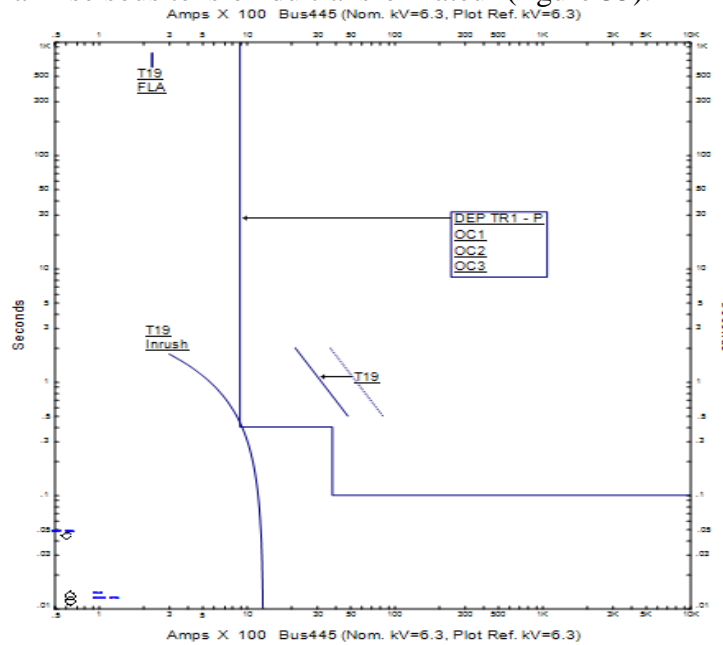


Figure 35 : Courbe d'enclenchement du transformateur TR1.

La séquence des opérations et le graphique de coordinations des protections dans le cas du défaut entre phases au primaire du TR1 (fonctionnement sur GES) sont représentés par l'annexe 3 (cas 1).

VI.1.2. Fonctionnement sur GTA1 : Défaut entre phases aux bornes du moteur 924IP01B (200KW)

Les réglages actuels sont représentés par le tableau ci-dessous :

Tableau 21 : Réglages actuels des protections utilisés.

Relais	Type	Set	AINSI	Courbe	Rapport CT	Pickup	Seuil de I(A)	Seuil du temps (s)
DEP - moteur 924IP01B	Sepam80	1	50/51	DT	100/5	10	1000	0.1
	Sepam80	2	50/51	DT	100/5	0.3	30	0.3
	Sepam80	1	48/51LR	DT	100/5	0.58	58	10
	Sepam80	2	48/51LR	DT	100/5	0.58	58	0.5
DEP-filtration	Sepam80	1	50/51	DT	1000/5	3.75	3750	0.7
	Sepam80	2	50/51	Extremly inverse	1000/5	0.5	500	10
	Sepam80	3	50/51	DT	1000/5	4	4000	0.7
ARR-filtration	Sepam80	1	50/51	DT	1000/5	3	3000	0.4
DEP-GTA1	Sepam80	1	50/51	DT	200/5	1.875	3750	1

	Sepam80	2	49RMS	DT	200/5	1.634	3268	1800
	Sepam80	1	67	DT	200/5	2.35	4700	0.4
Couplage -JDB	Sepam80	1	50/51	DT	4000/5	0.9376	3750	0.9

La séquence des déclenchements des disjoncteurs et la courbe de coordinations des protections sous ETAP sont représentées par les figures suivantes :

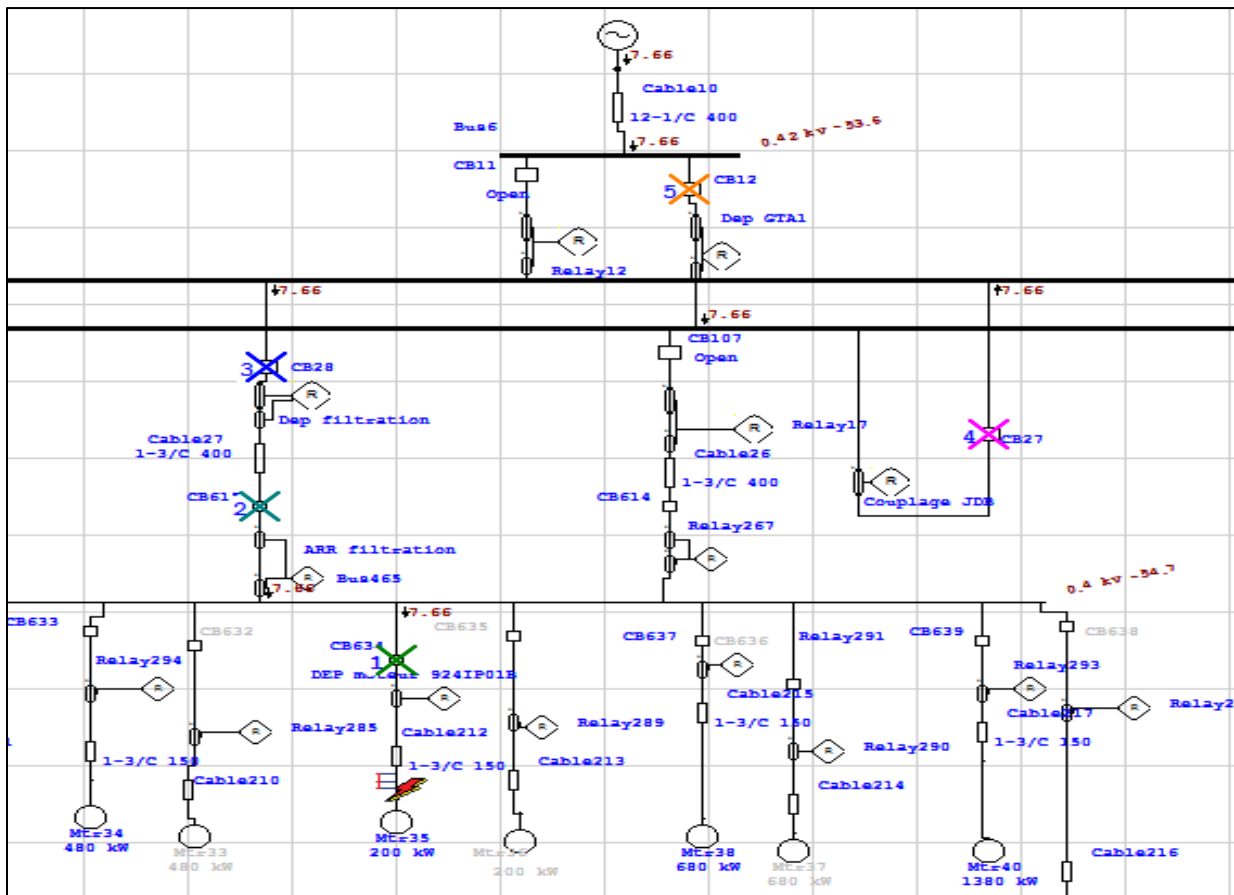


Figure 36 : Localisation du défaut.

Les courbes de la sélectivité entre les protections :

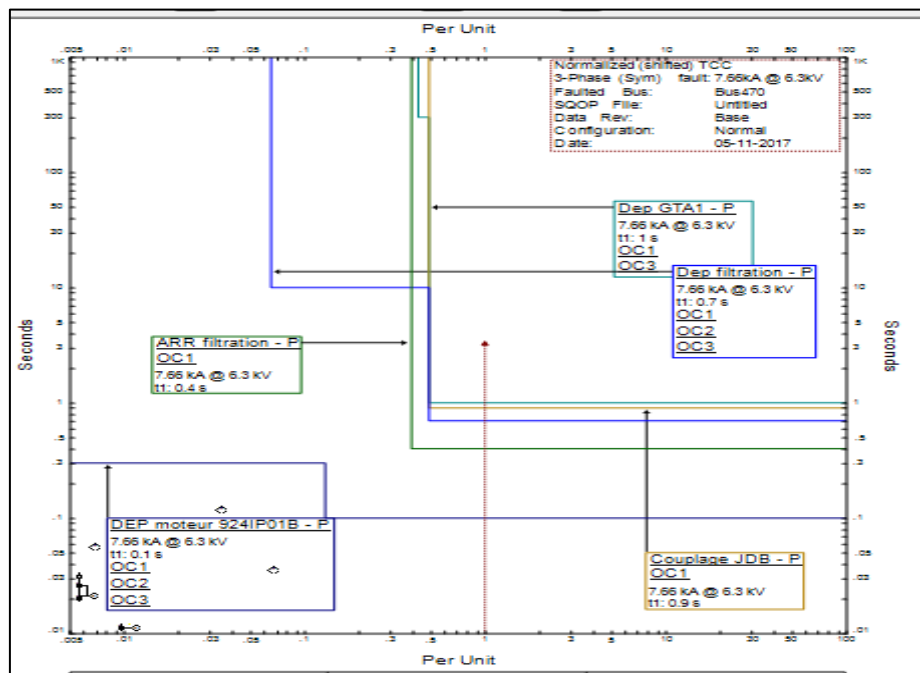


Figure 37 : Graphique de coordination des protections.

Commentaires :

Le défaut est vu par le relais des protections moteur et par ceux situés en amont. La protection est assurée.

Le défaut est éliminé en 0.1s par les protections du relais de départ-moteur et par celles d'arrivée- tableau de filtration en 0.4s. Après 0.3s, le défaut est vu par le relais départ-filtration et par celui du couplages-JDB en 0.9s.

Mais comme le défaut persiste toujours, les protections du relais départ-GTA1 déclenchent ensuite en 1s, et puisque l'intervalle de déclenchement proposé qui assure la sélectivité entre les protections est >0.2s. Alors la sélectivité n'est assurée à ce niveau.

Afin de remédier à ce problème on propose les réglages suivants pour le relais du départ GTA1 :

Tableau 22 : Réglages proposés.

	Réglages actuels		Réglages proposés	
	Seuil de I	Seuil du temps	Seuil de I	Seuil du temps
DEP-GTA1	3750	1	3750	1.2

Le nouveau graphique de coordination des protections est représenté par la figure ci-dessous :

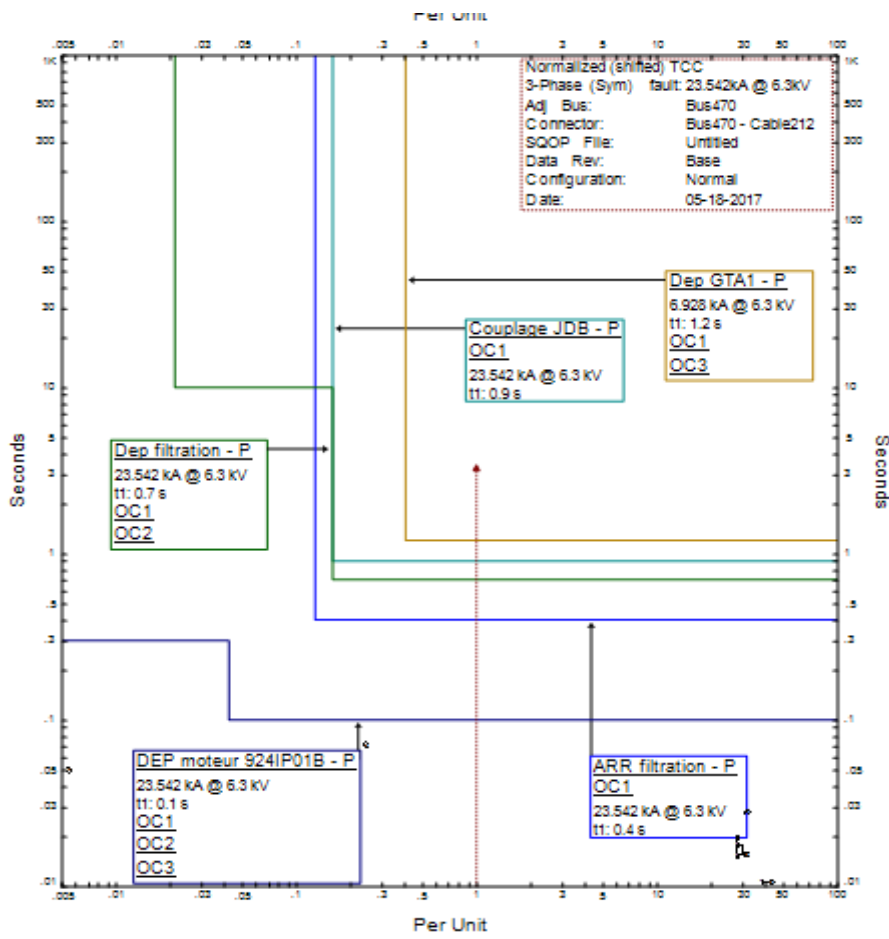


Figure 38 : Graphique de coordination des protections.

Commentaires :

D'après ce graphique de coordination des protections, on remarque que l'intervalle entre toutes les protections est bien respecté, il est $>0.2s$. On conclue que la sélectivité est assurée. Les courbes de sélectivités et les réglages adoptés sont identiques pour tous les moteurs du tableau de filtration.

La séquence des opérations dans le cas du défaut entre phases sur un tableau aval self dans le cas de fonctionnement sur GTA1, boucle Ouverte (PEM-TED) est représentée par l'annexe 3 (cas 2).

VI.1.3. Mode normal : défaut entre phases sur un câble aval self, boucle TED-PEM ouverte

Les réglages actuels sont représentés par le tableau suivant :

Tableau 23 : Réglages actuels des protections de la boucle TED-PEM.

Relais	Type	Set	AINSI	Courbe	Rapport CT	Pickup	Seuil de I(A)	Seuil du temps(s)
DEP-CT	Sepam80	1	50/51	DT	1250/5	2.4	3000	0.7
	Sepam80	1	67	DT	1250/5	0.576	720	5

Arr-ONE	Sepam80	1	50/51	DT	3000/5	1	3000	2.2
	Sepam80	2	50/51	DT	3000/5	2.2668	6800	1
	Sepam80	1	67	DT	3000/5	1.3334	4000	0.4
DEP-GTA1	Sepam80	1	50/51	DT	200/5	1.875	3750	1
	Sepam80	1	49RMS	DT	200/5	1.634	3268	1800
	Sepam80	1	67	DT	200/5	2.35	4700	0.4
DEP-GTA2	Sepam80	1	50/51	DT	200/5	1.875	3750	1
	Sepam80	1	49RMS	DT	200/5	1.634	3268	1800
	Sepam80	1	67	DT	200/5	2.35	4700	0.4

Le graphique de coordination des protections sous ETAP est représenté par la figure suivante :

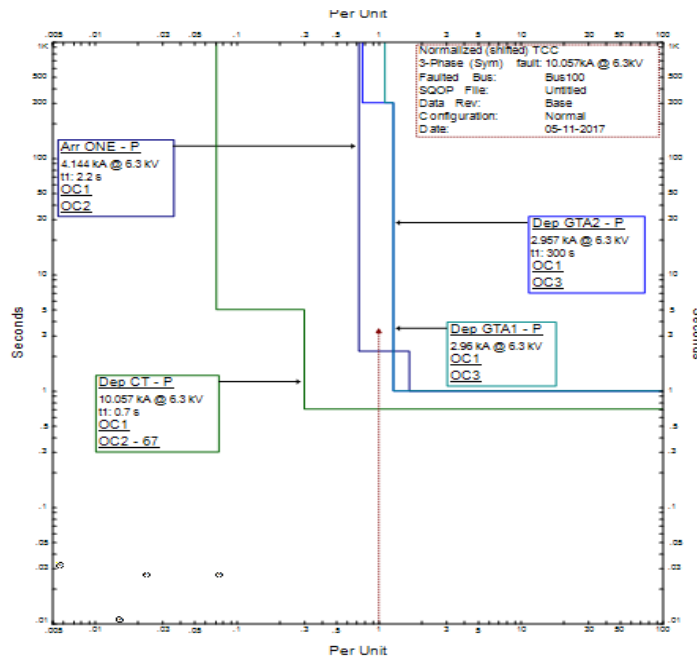


Figure 39 : Graphique de coordination des protections.

Commentaires :

Le défaut est vu par le relais de protection départ vers la self et par le relais d'arrivée-ONE. Le défaut devrait être éliminé par les protections du relais situé en amont des arrivées GTA1 et 2, donc la protection n'est assurée.

Pour remédier à ce problème on diminue les seuils du courant des protections 50/51 des deux groupes de 3750 A à 2800 A.

Autrement, le défaut est éliminé par départ vers la self en 0.7s. L'intervalle proposé de déclenchement proposé entre les protections (>0.2s) permet d'assurer la sélectivité, et il est bien respecté.

Les séquences de déclenchements des disjoncteurs et les courbes de coordination des protections avec les nouveaux seuils de réglages sont représentées par les figures ci-dessous :

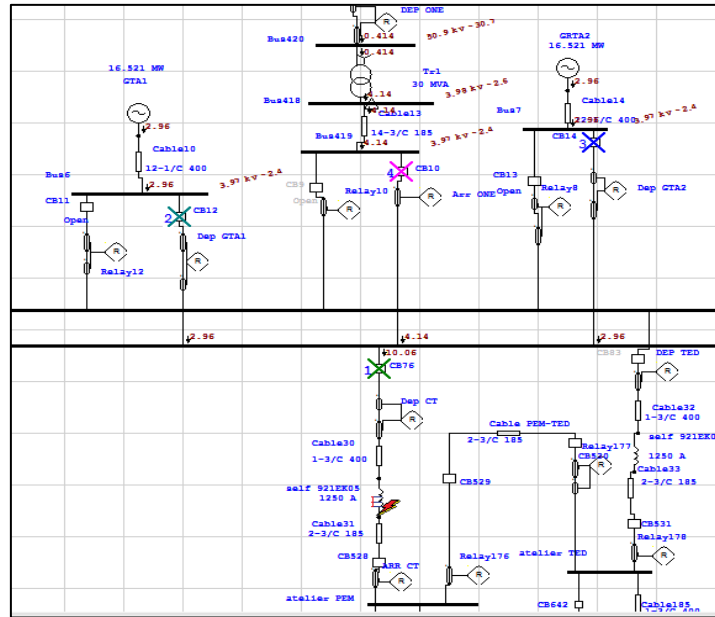


Figure 40 : Localisation du défaut.

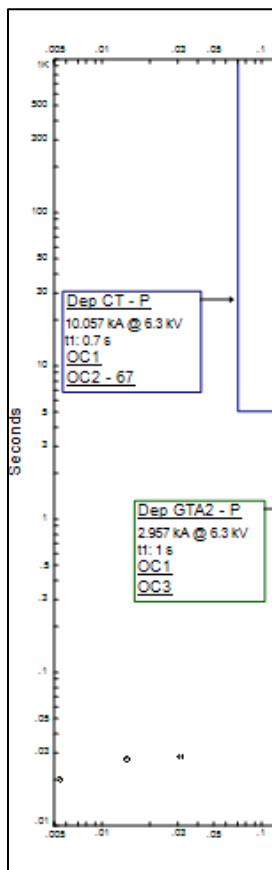


Figure 41 : Graphique de coordination des protections.

Commentaire :

Le défaut est éliminé par toutes les protections des relais en amont du défaut entre phases sur le câble aval-self, donc la protection est bien assurée tout en assurant la sélectivité entre ces protections.

La séquence des opérations et le graphique de coordinations des protections dans le cas du défaut entre phases sur le jeu de barres de l'atelier AP1, boucle AP1-TSP-MCP fermée (mode normal) sont représentés par l'annexe 3 (cas 3).

VI.1.4. Mode normal : défaut entre phases sur le câble d'arrivée du GTA1

La séquence des déclenchements des disjoncteurs et la courbe de coordinations des protections sous ETAP sont représentées par les figures suivantes :

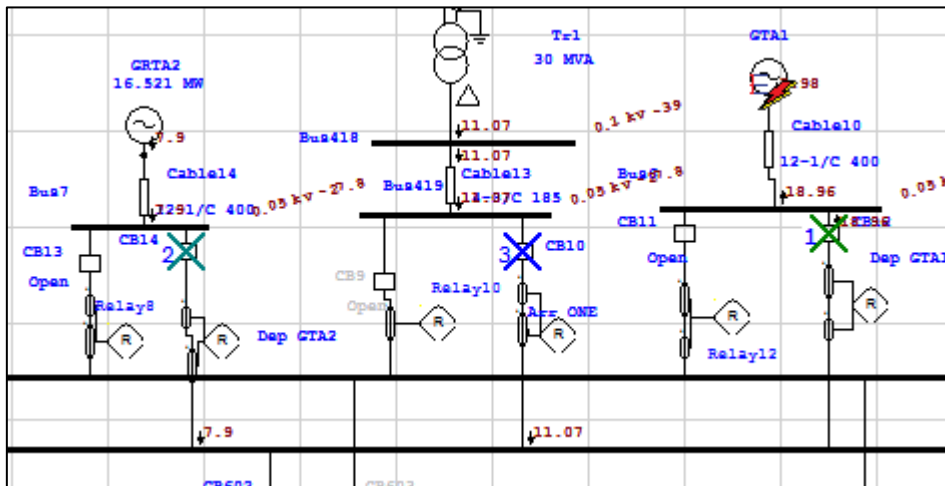


Figure 42 : Localisation du défaut.

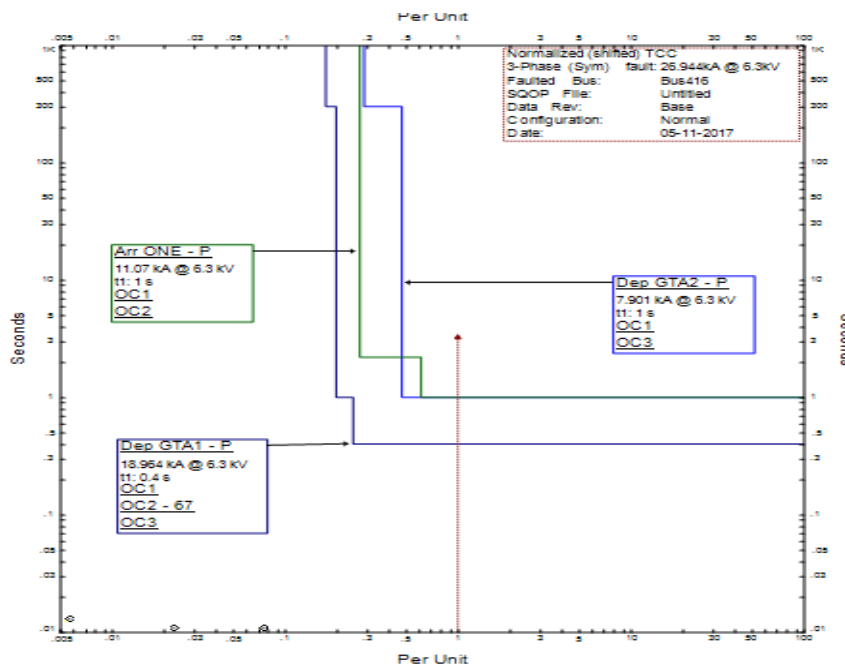


Figure 43 : Graphique de coordination des protections.

Commentaires :

Le défaut est vu par les protections max de I de toutes les arrivées, ainsi que par la protection directionnelle du départ GTA1. La protection est donc assurée. C'est la protection directionnelle du départ GTA1 qui déclenche en premier (0.4s) et élimine le défaut. Donc la protection est assurée.

Le défaut est éliminé par les protections des deux relais départ-GTA2 et arrivée-ONE en 1s. L'intervalle proposé de déclenchement entre les protections n'est pas respecté, donc la sélectivité n'est pas assurée.

Afin de remédier à ce problème on augmente le seuil du temps de la protection 50/51 de l'arrivée-ONE à 1.2s.

Les séquences de déclenchements des disjoncteurs et les courbes de coordination des protections avec les nouveaux seuils de réglages sont représentées par les figures ci-dessous :

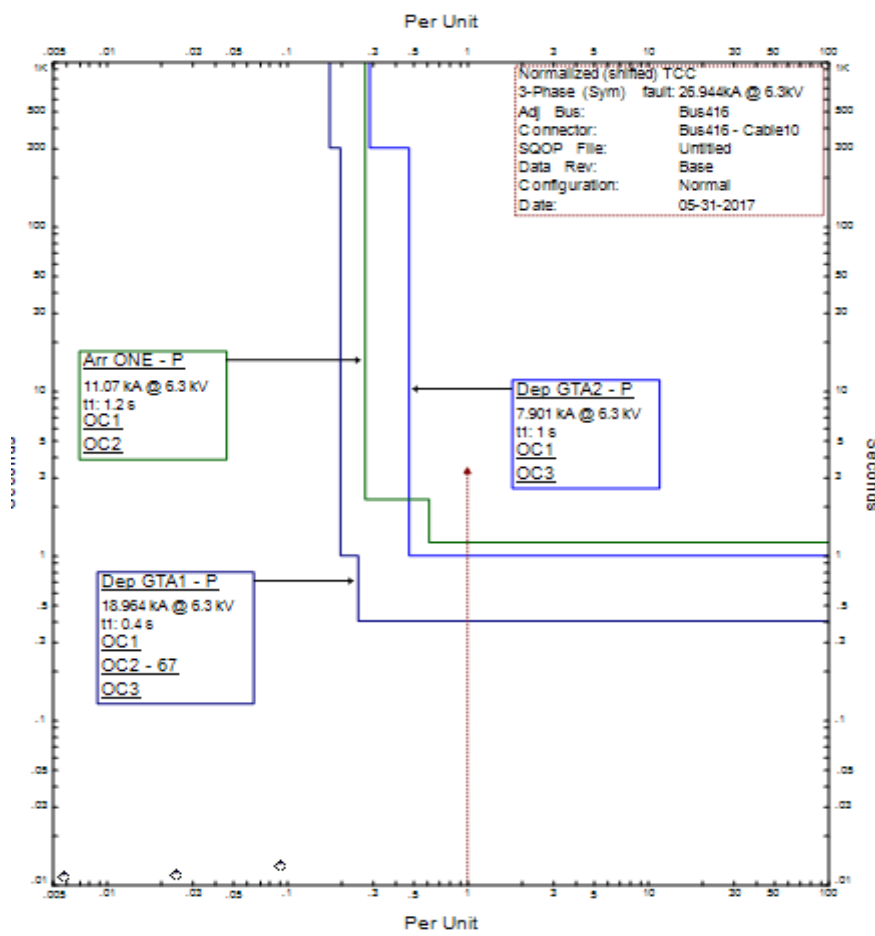


Figure 44 : Graphique de coordination des protections.

Commentaire :

L'intervalle proposé entre les protections des relais en amont est bien respecté alors la sélectivité est assurée.

VI.2. Sélectivité vis-à-vis des défauts entre phase et terre

VI.2.1. Mode normal : défaut phase-terre sur le jeu de barres principal

Les réglages actuels sont représentés par les tableaux suivants :

Tableau 24 : Réglages phase-terre actuels des protections des arrivées.

Relais	Type	Set	AINSI	Courbe	Rapport CT	Pickup	Seuil de I(A)	Seuil du temps(s)
DEP GTA1	Sepam80	1	67N	DT	5/5	0.8	4	0.4
DEP GTA2	Sepam80	1	50N/51N	DT	10/5	0.8	8	0.5
	Sepam80	1	67N	DT	10/5	0.4	4	0.4
ARR ONE	Sepam80	1	50N/51N	DT	630/5	1	630	0.1

Tableau 25 : Réglages phase-terre actuels des protections tension résiduelle des arrivées.

Relais	Type	Set	AINSI	Courbe	Seuil de la tension (V)	Seuil du temps(s)
DEP GTA1	Sepam80	1	59N	DT	30% Un	1.3
DEP GTA2	Sepam80	1	59N	DT	30% Un	1.3
ARR ONE	Sepam80	1	59N	DT	30% Un	1

Les protections utilisées comme alarme sur les arrivées GTA1, GTA2 et ONE sont de type protections à maximum de tension résiduelle et ne peuvent pas être représentées sur le graphique temps/courant

La protection arrivée ONE déclenche en premier en 1s. Mais comme le défaut persiste toujours, les protections arrivées GTA (1 et 2) déclenchent ensuite en 1.3s.

Ces protections 59N des arrivées sont utilisées comme alarme (et non pas déclenchement), afin d'assurer une continuité de service dans ce cas.

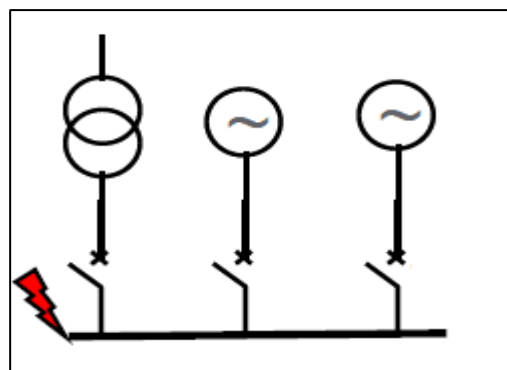


Figure 45 : Localisation du défaut.

VI.2.2. Mode normal : défaut phase-terre au primaire du TR1

Les réglages actuels sont représentés par le tableau suivant :

Tableau 26 : Réglages phase-terre actuels des protections utilisées.

Relais	Type	Set	AINSI	Courbe	Rapport CT	Pickup	Seuil de I(A)	Seuil du temps(s)
DEP TR1	Sepam80	1	50N/51N	DT	100/5	4	20	0.1
	Sepam80	1	67N	DT	100/5	0.4	2	0.4

La localisation du défaut et le graphique de sélectivité sous ETAP sont représentés par les figures suivantes :

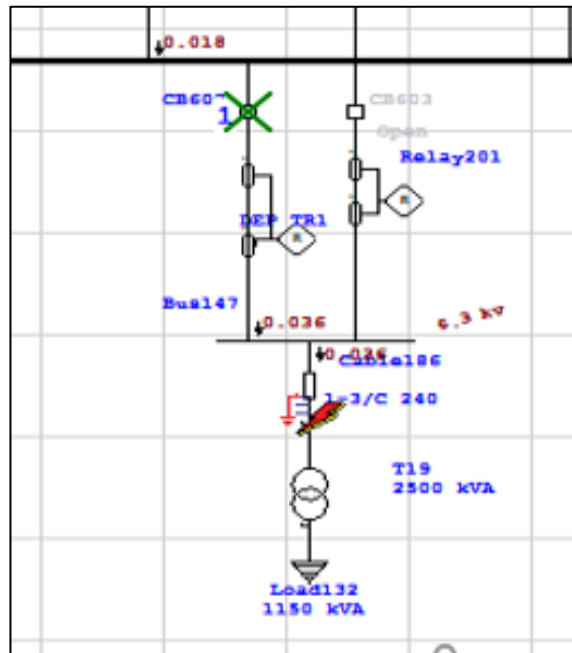


Figure 46 : localisation du défaut.

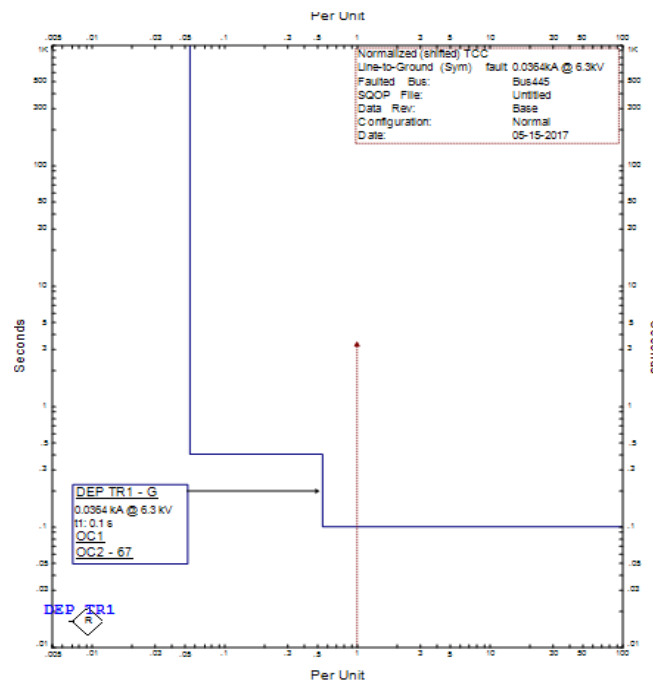


Figure 47 : Graphique de coordination des protections.

Commentaires :

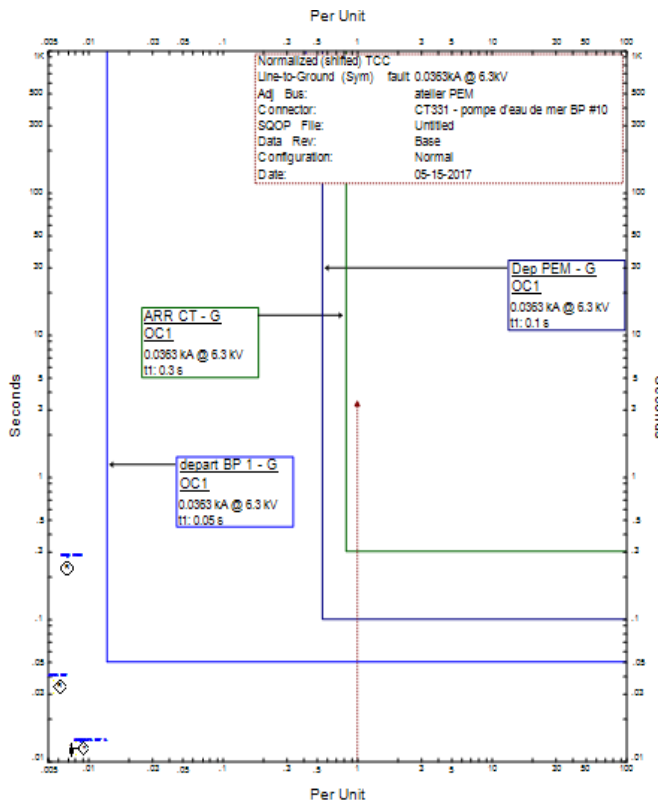
Le défaut est vu par la protection directionnelle du départ transformateur, ainsi que par les protections à maximum de tension résiduelle des arrivées. La protection est assurée. Le défaut est éliminé en 0.1s par la protection 67N du départ transformateur. L'intervalle de déclenchement proposé entre les protections (>0.2 s) permet d'assurer la sélectivité

VI.2.3. Mode normal : défaut phase-terre aux bornes du moteur BP1

Les réglages actuels sont représentés par le tableau suivant :

Tableau 27 : Réglages phase-terre actuels des protections utilisées.

Relais	Type	Set	AINSI	Courbe	Rapport CT	Pickup	Seuil de I(A)	Seuil du temps(s)
DEP PEM	Sepam80	1	50N/51N	DT	3/5	6.668	20	0.1
	Sepam80	1	67N	DT	3/5	1	3	0.7
ARR PEM	Sepam80	1	50N/51N	DT	30/5	1	30	0.3
DEP moteur BP1	Sepam80	1	50N/51N	DT	5/5	3	15	0.05
	Sepam80	2	50N/51N	DT	5/5	2	10	0.5
	Sepam80	3	50N/51N	DT	5/5	4	20	0.1
	Sepam80	1	67N	DT	5/5	13	65	0.1



Le graphique de sélectivité sous ETAP sont représentés par la figure suivante :

Commentaires :

Le défaut est vu par les protections 50N/51N et 67N des départ moteur, arrivée centrale et départ PEM, ainsi que par les protections à maximum de tensions résiduelle des arrivées. La protection est assurée.

Le défaut est éliminé par la protection 51N/50N de départ moteur en 0.05s en premier, mais comme le défaut persiste toujours, il sera éliminé ensuite par les protections 51N/50N en 0.1s de départ PEM et de l'arrivée centrale en 0.3s.

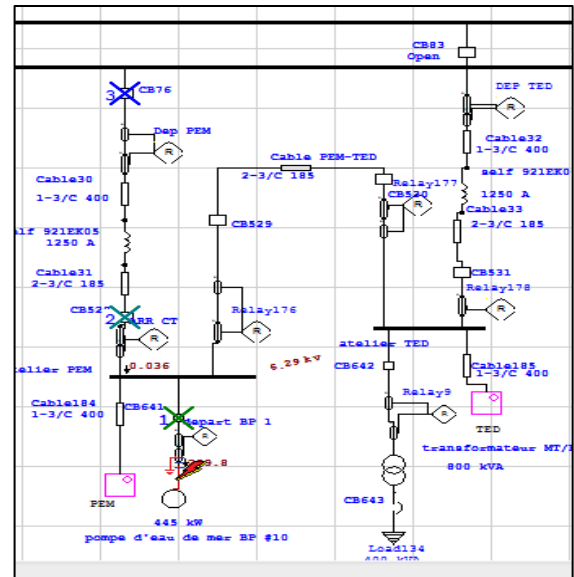
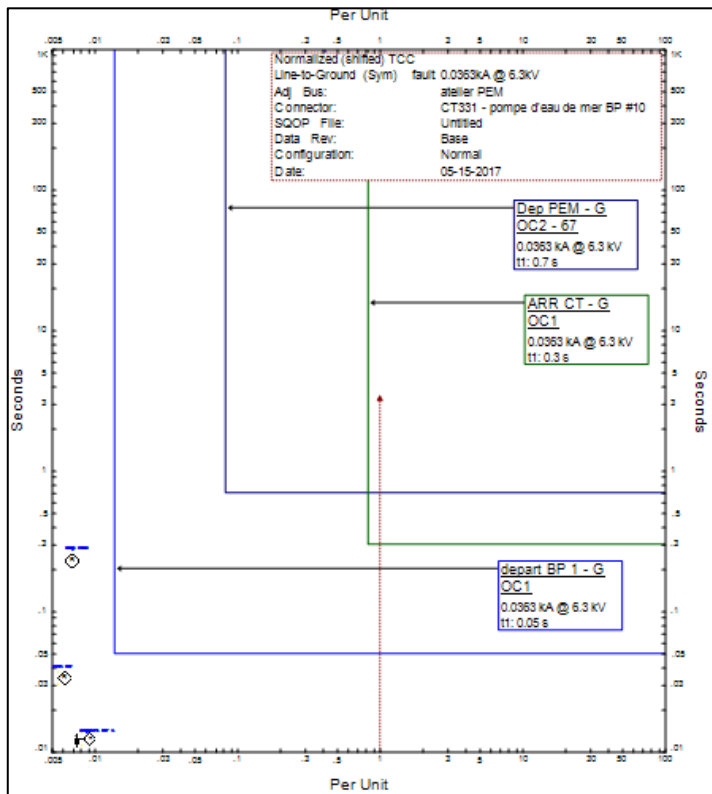
La sélectivité n'est pas assurée.

Figure 48 : Graphique de coordination des protections.

Solution proposée :

On néglige la protection 50N/51N du relais de protection de départ PEM en gardant que la protection 67N.

La localisation du défaut et le graphique de sélectivité sous ETAP sont représentés



par les figures suivantes :

Figure 50 : Localisation du défaut.

Figure 49 : Graphique de coordination des protections.

Commentaires :

Le défaut est éliminé par la protection 50N/51N de départ moteur en 0.05s mais comme le défaut persiste toujours il sera éliminé par la protection arrivée centrale en 0.3s et par celle de départ-PEM en 0.7s.

L'intervalle de déclenchement entre les protections est $>0.2s$ permet d'assurer la sélectivité.

La sélectivité est assurée.

VI.2.4. Mode normal : défaut phase-terre sur un tableau aval self, boucle fermée (boucle PP2-CAP3)

Les réglages actuels sont représentés par le tableau suivant :

Tableau 28 : Réglages phase-terre actuels des protections utilisées.

Relais	Type	Set	AINSI	Courbe	Rapport CT	Pickup	Seuil de I(A)	Seuil du temps(s)
ARR PP2	Sepam80	1	50N/51N	DT	5/5	5	25	0.15
	Sepam80	2	50N/51N	DT	5/5	2.5	12.5	0.9
	Sepam80	1	67N	DT	5/5	0.6	3	0.4
DEP CAP3	Sepam80	1	50N/51N	DT	5/5	5	25	0.15
	Sepam80	2	50N/51N	DT	5/5	2.5	12.5	0.9

La localisation du défaut et le graphique de sélectivité sous ETAP sont représentés par les figures suivantes :

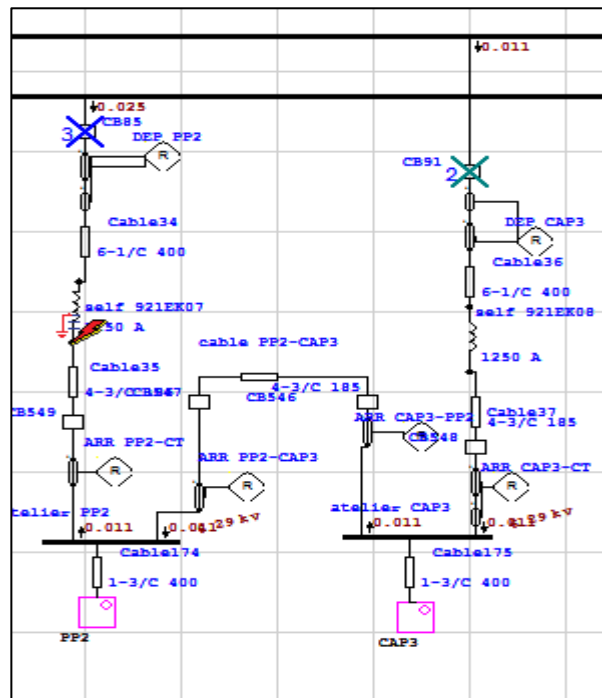


Figure 51 : Localisation du défaut.

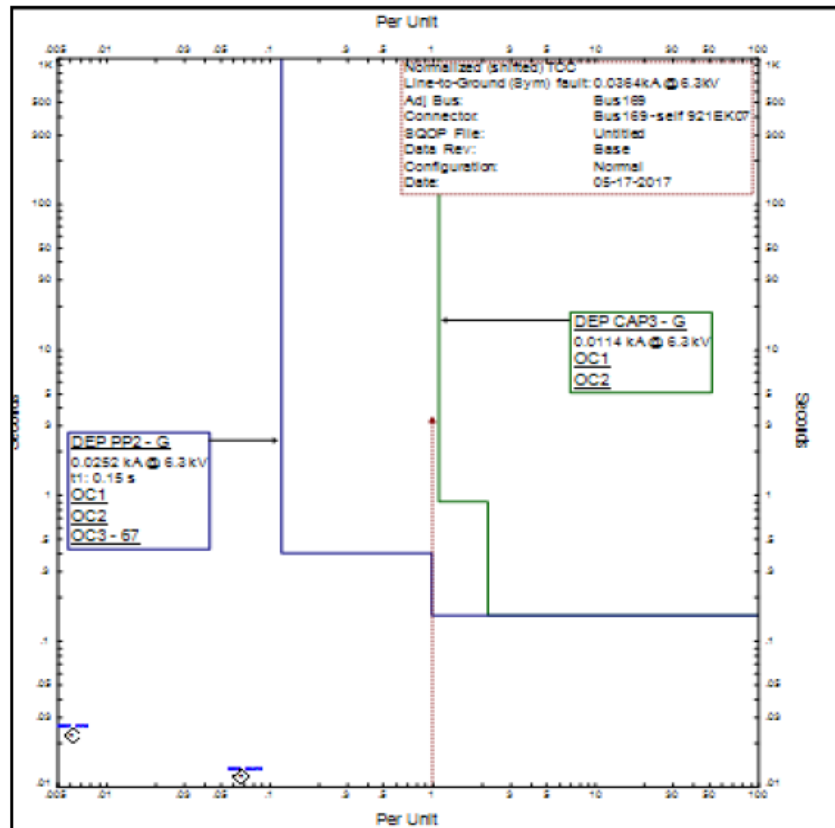


Figure 52 : Graphique de coordination des protections.

Commentaires :

Le défaut est éliminé en 0.05s par la protection 50N/51N de départ PP2 en 0.15s, et il n'est pas vu par la protection du départ CAP3, donc la protection n'est pas assurée.

Solution proposée :

On ajoute une protection 50N/51N au relais du départ CAP3 qui a un seuil du courant de 11A pour une durée de 0.15s, elle permet la détection du défaut par ce relais

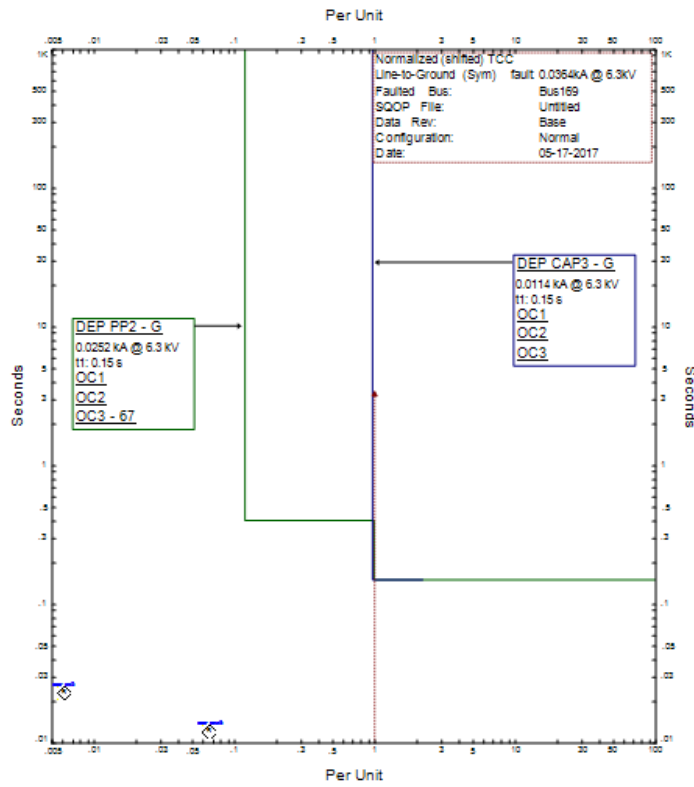


Figure 53 : Graphique de coordination des protections.

Commentaire :

Par ces nouveaux réglages, le défaut est éliminé en 0.15s par les deux relais départ-selfs, ainsi que par les protections à maximum de tension résiduelle des arrivées. La protection est assurée.

L'intervalle de déclenchement proposé entre les protections de départ-selfs et celles des relais en amont est >0.2s. La sélectivité est assurée.

Sur l'annexe 3, on a représenté les courbes de coordination des protections et la séquence des opérations dans le cas du mode normal lors du défaut phase-terre sur le jeu de barres SEM de la boucle SEM-PS3-PS3 (cas 4).

Les courbes de coordinations des protections et la séquence des opérations dans le cas du fonctionnement sur GES : défaut phase-terre sur les bornes de GES est représenté par l'annexe 3 (cas 5).

VI.3. Le logiciel « SFT2841 »

Les différents réglages présentés dans cette partie doivent être introduit dans les relais SEPAM. Pour ce faire, deux méthodes se présentent : Soit par le biais de l'interface du relais soit par la connexion avec un ordinateur en utilisant le logiciel « SFT2841 ».

La figure ci-dessous présente une vue globale de la fonction de protection à maximum de courant de phase et comment faire entrer les réglages proposés.

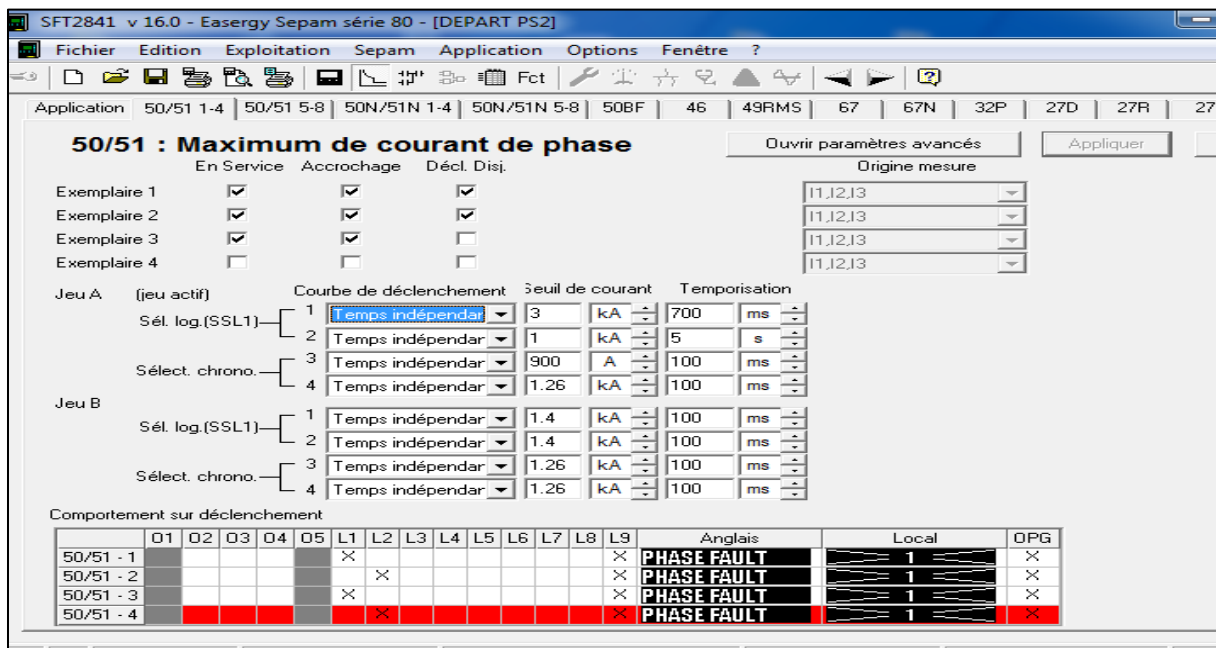


Figure 54 : Logiciel « SFT2841 ».

Le logiciel dispose de 8 seuils de réglages pour la fonction de protection 50/51 et 50/51N et permet de choisir le jeu de réglages adopté. Ainsi nous pouvons choisir les fonctions de protection qu'on souhaite régler.

V. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué les réglages des différents relais pour assurer la protection des équipements.

Nous avons détaillé le réglage de la protection à maximum de courant de phase et terre qui sont les deux défauts les plus fréquents au niveau du réseau électrique. Ces réglages ont été effectués par le logiciel ETAP, pour pouvoir tracer les Time Current Curve et simuler la sélectivité en injectant un défaut triphasé ou monophasé et vérifier l'ordre des déclenchements des disjoncteurs.

Pendant notre étude de la sélectivité du réseau électrique de MC, nous avons remarqué que lorsqu'on a l'apparition d'un défaut soit entre phases ou phase-terre au niveau de de quelques parties, la séquence des déclenchements des disjoncteurs situés en amont de ce défaut n'est pas respectée, et par conséquent la protection n'est pas assurée.

Lors de la simulation de ces parties du réseau électrique étudié sous ETAP, on a constaté que l'intervalle entre les protections est inférieur à 0.2s (intervalle proposé), alors la sélectivité n'est pas assurée à ce niveau.

La sélectivité chronométrique est le type utilisé au sein du complexe, et afin de résoudre les problèmes de la sélectivité, on a proposé de nouveaux réglages des seuils du temps pour assurer la sélectivité et isoler la partie du défaut tout en laissant les autres parties saines en service, et par conséquent diminuer le nombre de déclenchements généraux de la division.

Dans nos simulations nous avons tenu compte de la structure du réseau (en antenne pour la NUB, boucle double sens, boucle un sens).

Conclusion générale

L'objectif principal de notre projet de fin d'études est de faire une étude du système de contrôle-commande des groupes turboalternateurs du complexe Maroc Chimie. Ceci nous a permis de connaître le fonctionnement et la commande de ces groupes qui font partie du réseau électrique dont on a étudié la sélectivité par la suite.

Dans un premier temps, nous avons commencé par une étude descriptive du système de contrôle-commande PCS7 des groupes turboalternateurs en expliquant son architecture fonctionnelle. Ce système permet le pilotage, la surveillance et le contrôle des équipements avec l'intervention à distance d'un opérateur humain tout en assurant un degré de souplesse et de sécurité.

Dans un deuxième temps, nous avons fait une description du réseau électrique de Maroc Chimie en donnant les caractéristiques des différentes sources tels que les deux groupes turboalternateurs, la ligne ONE et le groupe de secours Diesel. Ces sources alimentent deux transformateurs basse tension l'un en service, l'autre en secours, un tableau de filtration qui contient quatre pompes en service et quatre en secours, un atelier NUB alimenté en antenne et quatre boucles : la première contient trois ateliers AP1, TSP et MCP, la deuxième contient deux ateliers PEM et TED, la troisième contient deux ateliers PPII et CAP3 et la quatrième boucle contient trois ateliers PSEM, PSIII et PSII. Chaque atelier est composé des consommateurs (moteurs et transformateurs).

Ensuite, notre étude s'est focalisée sur le calcul des courants de court-circuit manuellement et par le logiciel ETAP suivant la norme CEI60909. Ceci pour pouvoir vérifier la tenue dynamique, tenue thermique et celle à l'arc interne des tableaux électriques et nous avons proposé quelques solutions techniques pour les ateliers dont le courant de court-circuit calculé est proche du courant de court-circuit admissible afin d'éviter les anomalies qui peuvent apparaître.

La dernière partie de ce projet consistait à faire une étude de réglage des protections numériques. En effet, nous avons paramétré les relais SEPAM pour vérifier la sélectivité de tous les disjoncteurs, donc pour les disjoncteurs ayant le problème de sélectivité, autrement dit qui ne respecte pas l'intervalle de déclenchement entre les protections ($\geq 0.2s$). Nous avons proposé de nouveaux réglages assurant la protection de l'équipement à protéger et permettant d'éviter les déclenchements intempestifs qui peuvent perturber le fonctionnement normal du réseau. Le réglage a été fait sur le logiciel ETAP, pour pouvoir ainsi tracer le Time Current Curve et faire des simulations de la sélectivité afin de vérifier les réglages proposés.

Enfin, sur l'aspect formation, nous pouvons confirmer que la réalisation de ce projet au sein du groupe OCP, nous a donné la possibilité de nous familiariser avec l'environnement de travail de l'ingénieur et de nous rendre compte des contraintes et des exigences du milieu industriel. Elle a ainsi constitué pour nous, une expérience professionnelle très riche et fructueuse aussi bien sur le plan technique que sur le plan relationnel.

Annexes

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus	kV	3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
		I _k	i _p	I _k	I _k	i _p	I _b	I _k	I _k	i _p	I _b	I _k	I _k	i _p	I _b	I _k
atelier AP1	6.300	24.497	56.770	18.535	22.654	52.498	22.654	22.654	20.623	47.791	20.623	20.623	23.656	54.821	23.656	23.656
atelier CAP3	6.300	23.712	53.323	18.505	21.509	48.369	21.509	21.509	20.010	44.996	20.010	20.010	22.773	51.211	22.773	22.773
atelier MCP	6.300	24.502	56.718	18.531	22.637	52.403	22.637	22.637	20.626	47.746	20.626	20.626	23.662	54.776	23.662	23.662
atelier NUB	6.300	24.906	57.016	19.220	23.055	52.778	23.055	23.055	21.066	48.224	21.066	21.066	24.155	55.297	24.155	24.155
atelier PEM	6.300	20.064	45.332	16.614	18.863	42.619	18.863	18.863	17.026	38.468	17.026	17.026	19.582	44.244	19.582	19.582
atelier PP2	6.300	23.785	53.614	18.528	21.599	48.685	21.599	21.599	20.067	45.233	20.067	20.067	22.853	51.512	22.853	22.853
atelier PS2	6.300	22.715	50.933	17.305	20.682	46.376	20.682	20.682	19.147	42.933	19.147	19.147	21.816	48.919	21.816	21.816
atelier PS3	6.300	22.856	51.434	17.305	20.757	46.709	20.757	20.757	19.255	43.329	19.255	19.255	21.945	49.383	21.945	21.945
atelier SEM	6.300	22.923	52.134	17.335	20.914	47.566	20.914	20.914	19.308	43.913	19.308	19.308	22.003	50.042	22.003	22.003
atelier TED	6.300	20.010	45.288	16.628	18.885	42.742	18.885	18.885	16.986	38.443	16.986	16.986	19.530	44.202	19.530	19.530
atelier TSP	6.300	24.555	56.947	18.532	22.668	52.570	22.668	22.668	20.666	47.928	20.666	20.666	23.713	54.992	23.713	23.713
atelierAP1	6.300	24.497	56.770	18.535	22.654	52.498	22.654	22.654	20.623	47.791	20.623	20.623	23.656	54.821	23.656	23.656
atelierCAP3	6.300	23.712	53.323	18.505	21.509	48.368	21.509	21.509	20.010	44.996	20.010	20.010	22.773	51.211	22.773	22.773
atelierMCP	6.300	24.502	56.718	18.531	22.637	52.403	22.637	22.637	20.626	47.746	20.626	20.626	23.662	54.775	23.662	23.662
atelierNUB	6.300	24.906	57.016	19.220	23.055	52.777	23.055	23.055	21.066	48.224	21.066	21.066	24.155	55.297	24.155	24.155
atelierPEM	6.300	20.064	45.332	16.614	18.863	42.619	18.863	18.863	17.026	38.468	17.026	17.026	19.582	44.244	19.582	19.582
atelierPP2	6.300	23.785	53.614	18.528	21.599	48.685	21.599	21.599	20.067	45.233	20.067	20.067	22.853	51.512	22.853	22.853
atelierPS2	6.300	22.715	50.933	17.305	20.682	46.376	20.682	20.682	19.147	42.933	19.147	19.147	21.816	48.919	21.816	21.816
atelierPS3	6.300	22.856	51.434	17.305	20.757	46.709	20.757	20.757	19.255	43.329	19.255	19.255	21.945	49.383	21.945	21.945
atelierSEM	6.300	22.923	52.134	17.335	20.914	47.566	20.914	20.914	19.308	43.913	19.308	19.308	22.003	50.042	22.003	22.003
atelierTED	6.300	20.010	45.287	16.628	18.885	42.742	18.885	18.885	16.986	38.443	16.986	16.986	19.530	44.202	19.530	19.530
atelierTSP	6.300	24.555	56.947	18.532	22.668	52.570	22.668	22.668	20.666	47.928	20.666	20.666	23.712	54.992	23.712	23.712

Annexe 1 : Courants de court-circuit calculés par ETAP

Annexe 2 : Protection a maximum de courant (DT) et (Extremly Inverse)

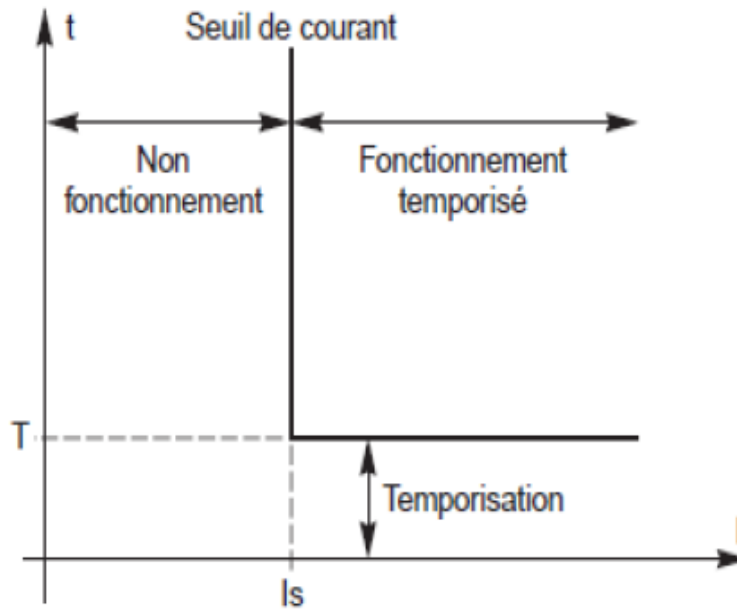


Figure 1 : Temps indépendant DT.

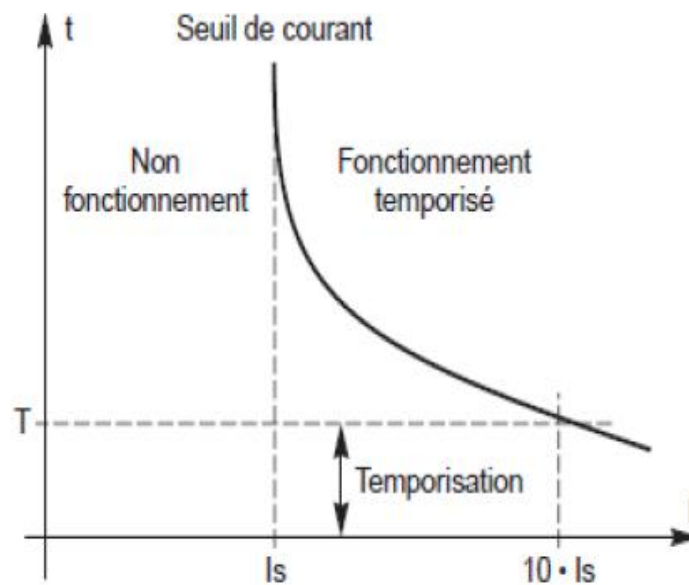
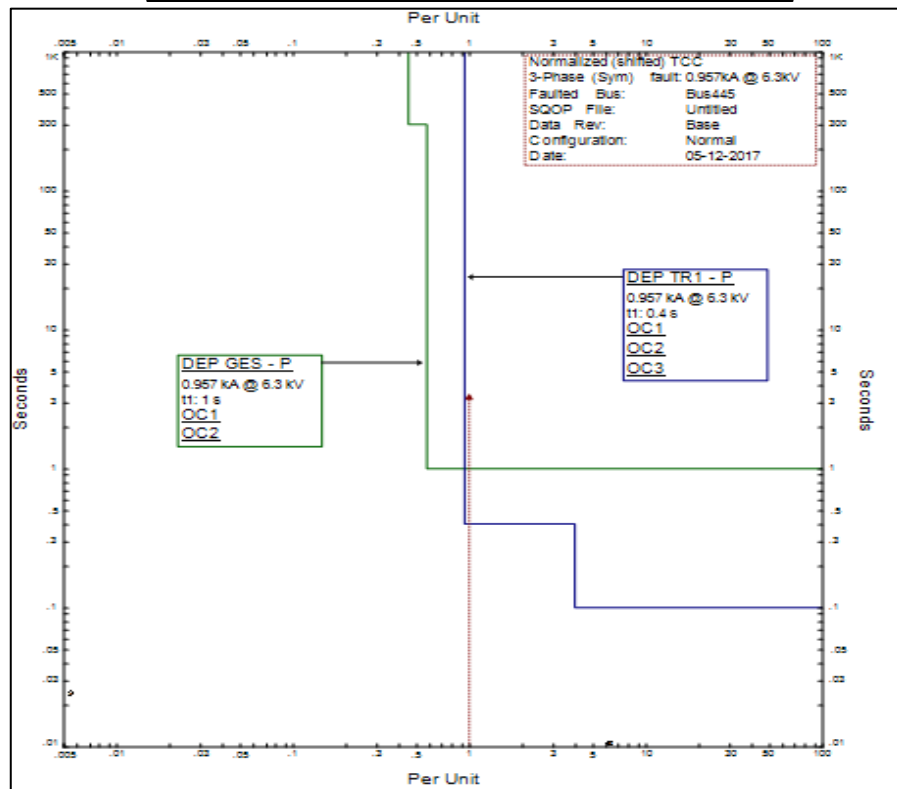
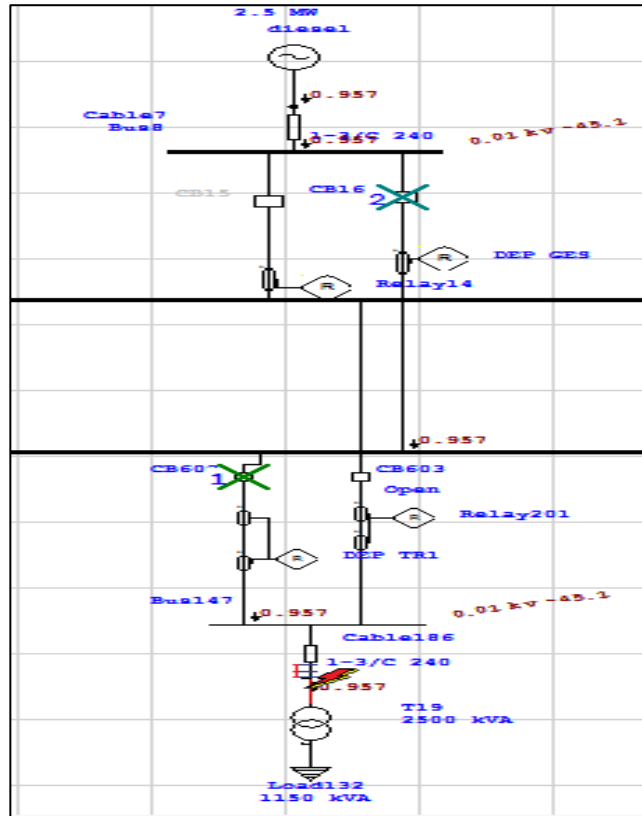


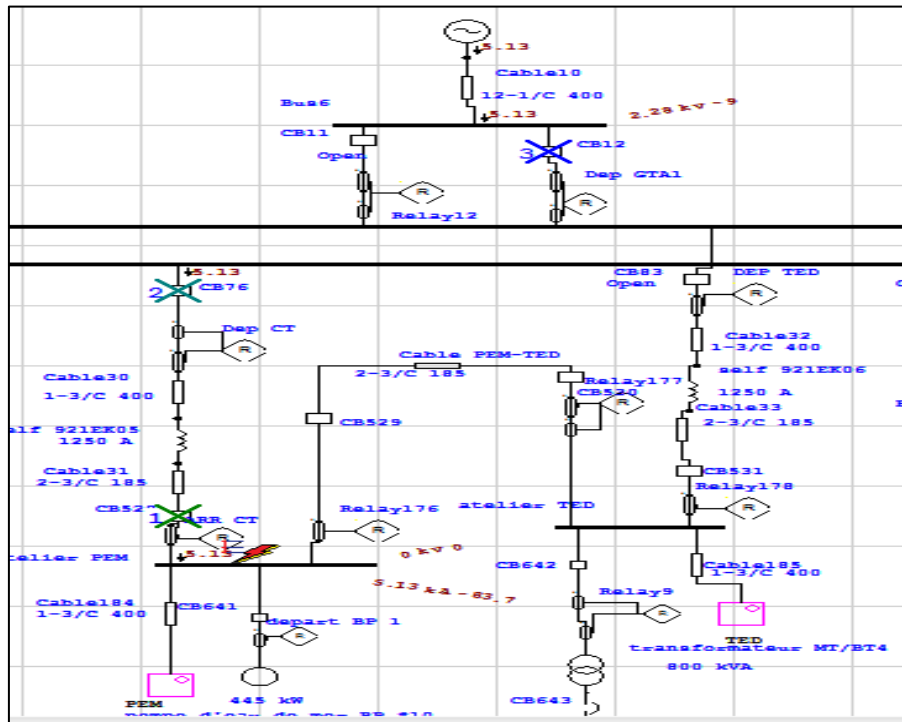
Figure 2 : Temps Inverse ou dépendant (Extremly Inverse).

Annexe 3 :
Cas 1 :
 sur GES défaut
 primaire du TR1

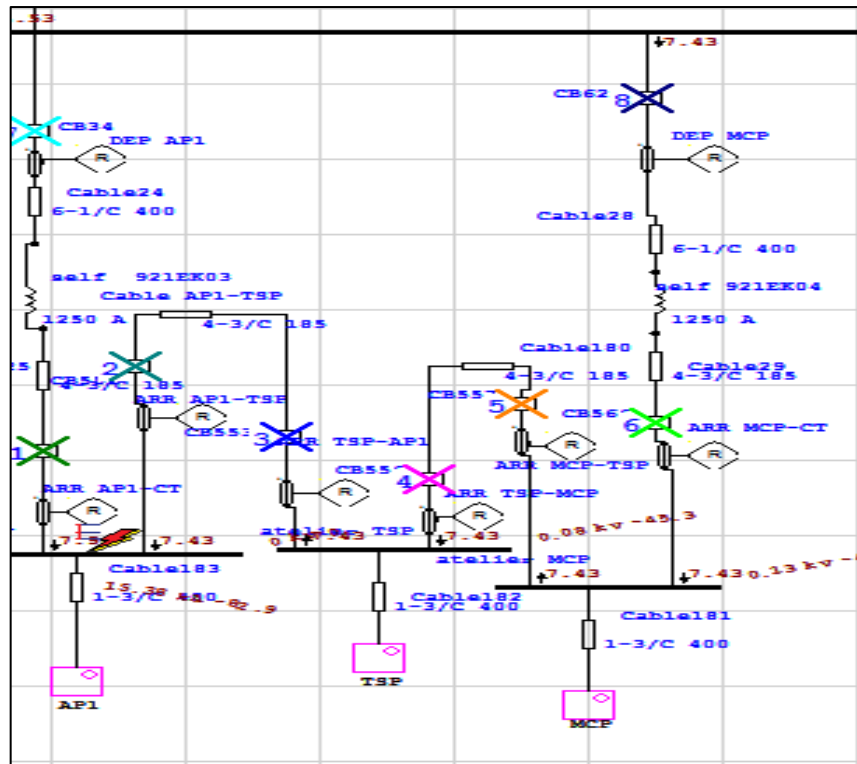
fonctionnement
 entre phases au



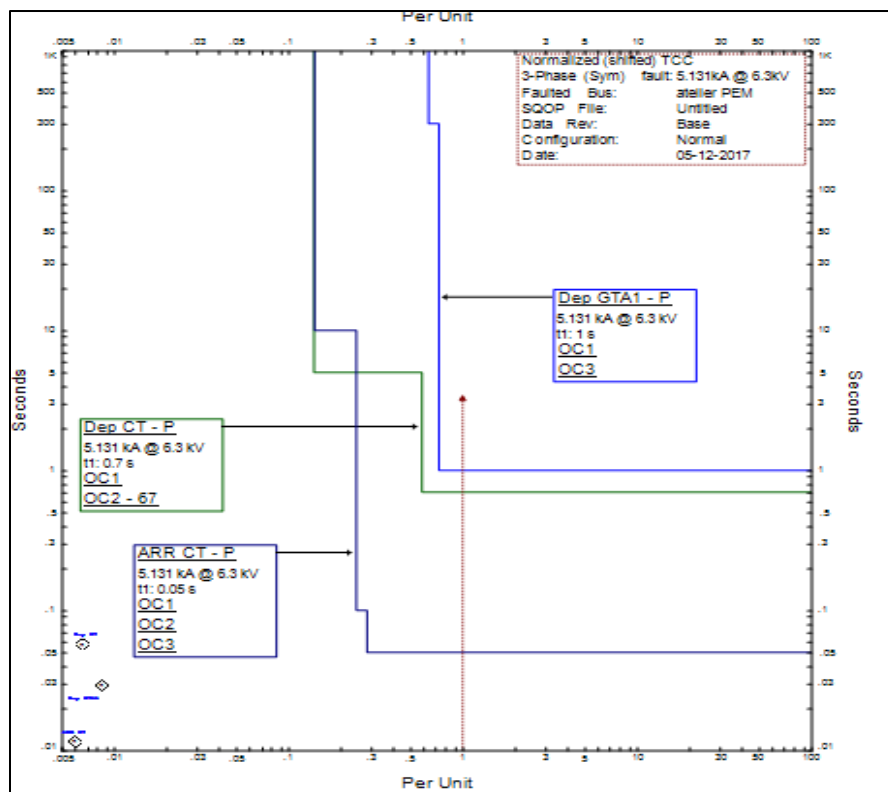
Cas 2 :



Fonctionnement sur GTA1 : défaut entre phases sur un tableau aval self, boucle Ouverte (PEM-TED)

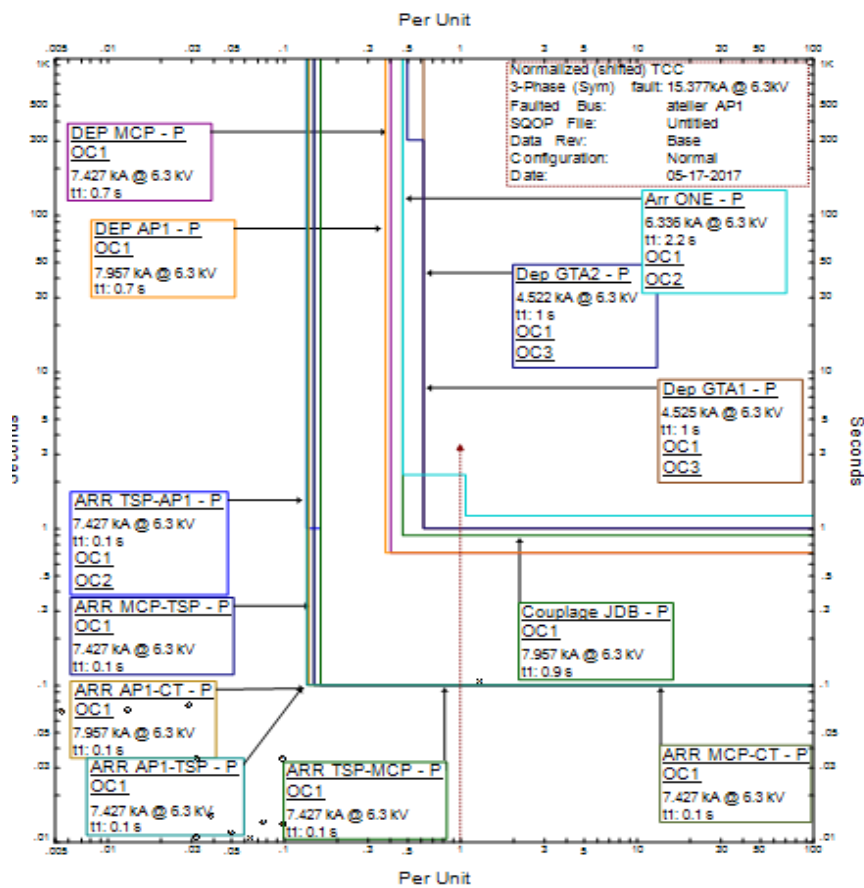


Cas 3 : Mode normal :
défaut entre phases sur le barres AP1, boucle AP1-MCP fermée

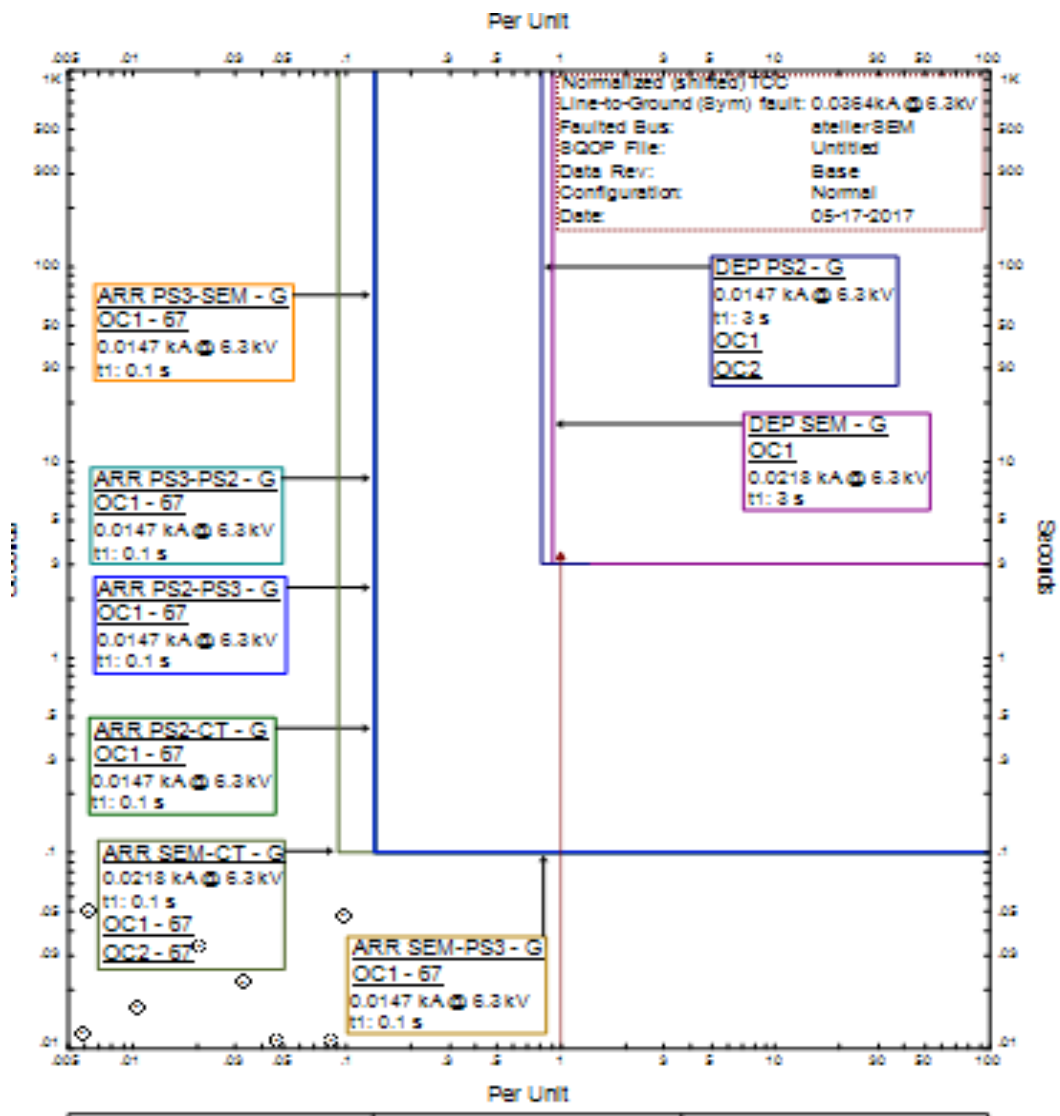


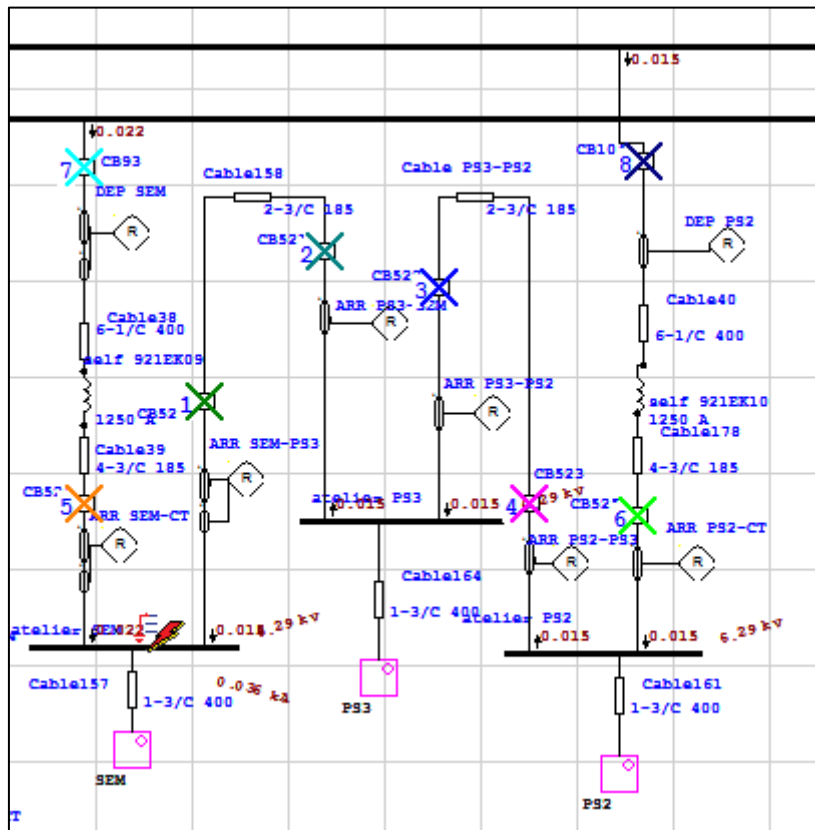
jeu de TSP-

Cas 4 :
normal :
phase-terre
jeu de barres
boucle
(SEM-PS3-

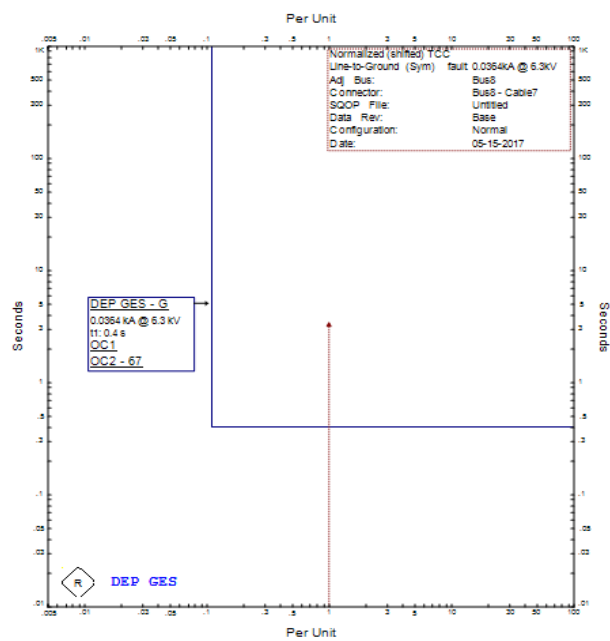
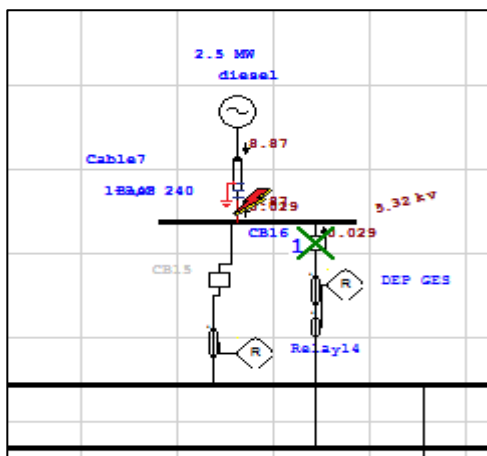


Mode
défaut
sur le
SEM,
fermée
PS2)





Cas 5 : Fonctionnement sur GES : défaut phase-terre sur les bornes de GES



Références

[1] <http://www.automation-sense.com/blog/les-systemes-numeriques-de-contrôle-commande-ou-sncc.html> (10/03/2017).

[2] “Guide technique Merlin Gerin Moyenne tension guide de conception MT” Schneider Electric Industrie SA.

[3] Cahier technique n° 174 : “protection des réseaux HTA industriels et tertiaires” - Schneider Electric. André SASTRE. Édition décembre 1994.

[4] Cahier technique n° 201 : “Sélectivité avec les disjoncteurs de puissance basse tension”. - Schneider Electric. JP Nereau.

[5] “Etude de sélectivité Maroc Phosphore LITWIN”, rapport Project No. IITPF5607.