

N° Ordre...../FHC/UMBB/2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES**



**Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie**  
**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme :**

**MASTER**

Présenté par

**AOUDJIT LOUIZA**  
**DJOUAMA MOHAMED ANESS**

Filière : Hydrocarbures  
Option : Génie Electrique : Electricité Industrielle

**Thème**

---

***Etude et simulation de la protection d'un moteur asynchrone***  
***A double cage avec le logiciel ETAP SOFTWARE***

---

Devant le jury :

Mr. BEDDEK KARIM	MCA	Président
Mme. LACHEKHAB.F	MCB	Examinatrice
Mme .ZAMOUM Y	UMBB	Examinatrice
Mr HAMADACHE.M	UMBB	Promoteur

Année universitaire 2022/2023



## ملخص

نظراً للأهمية مع Moteurs A. D. C في مجمع GL2 / Z، اخترنا كجزء من أطروحة نهاية الدراسة، دراسة التشغيل بالإضافة إلى أجهزة الحماية المرتبطة بهذه المحركات. الهدف من هذه الدراسة هو ضمان أدائها، ومثابرتها، وسلامتها، وتقليل مخاطر الأعطال وتحسين كفاءة الطاقة للأنظمة. أجريت هذه الدراسة باستخدام برنامج **ETAP SOFTWARE**.

### Résumé :

Vue l'importance avec des Moteurs A. D. C dans le complexe GL2/Z, on a choisi dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude, l'étude de fonctionnement ainsi que les dispositifs de protection associée à ces Moteurs.

L'objectif de cette étude est d'assurer leur performance, leur durabilité leur sécurité, minimiser les risques de pannes et optimiser l'efficacité énergétique des systèmes. La réalisation de cette étude a été menée à l'aide du logiciel **ETAP SOFTWARE**.

### Abstract :

Considering the importance with A.D.C Motors, in the GL2/Z complex, we have chosen as part of our final project dissertation, the study of the functioning and protection devieces' associated with these motors,

The objective of this study is to ensure their performance, their durability their safety, minimise the risks of breakdowns and optimise systems' power Efficiency, The realisation of this study has been conducted with the help of **ETAP SOFTWARE**.

# *Remerciement*

*Nous tenons à remercier DIEU tout puissant de nous avoir donné la santé et le courage d'effectuer ce projet de fin d'étude, dans les meilleures conditions.*

*Comme nous tenons à adresser tout autres reconnaissances et gratitude à Mr Hamadache Mohammed notre promoteur, de nous avoir encadrés, suivis et orientés tout au long de notre travail.*

*Nos remerciements les plus chaleureux et notre gratitude la plus sincères à Mr BOUTOUIZGHA MOHAMMED pour sa patience de nous avoir donné le meilleur de son aide pendant notre stage pratique pour enrichir nos connaissances.*

*Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail a :*

*Mes chers parents Les personnes les plus chères.*

*A Mon Mari et mes Enfant (SANA, ALAA, YANI).*

*A mes sœurs et frères.*

*A toute la famille.*

*A tous mes amis.*

*Louiza*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents Les personnes les plus chères,*

*Pour leurs soutiens tout au long de mon parcours  
éducatif, que DIEU les protèges*

*A mes sœurs.*

*A toute la famille.*

*A tous mes amis.*

*Anes*

# Liste des figures

Figure I. 1: complexe GL2Z.....	3
Figure I. 2: Les bacs de stockage du Complexe GL2Z .....	4
Figure I. 3: Schéma général d'exploitation de l'arrivée SONELGAZ .....	7
Figure I. 4: Schéma électrique des sources principales du complexe GL2Z .....	8
Figure I. 5: Schéma électrique des sources principales du complexe GL2Z avec la réactance SW2304 by-passée .....	8
Figure I. 6: Schéma de distribution d'énergie électrique au niveau des sous stations.....	9
Figure I. 7: Schéma de principe d'une partie du réseau électrique 5.5 KV .....	10
Figure I. 8: Schéma simplifié du synchroscope .....	12
Figure I. 9: Schéma de la disposition des disjoncteurs en cas ou SONELGAZ est hors service..	14
Figure I. 10: Schéma de la disposition des disjoncteurs en cas ou la source de SONELGAZ ilote .....	15
Figure I. 11: Schéma de la disposition des disjoncteurs en cas ou source SONELGAZ Est couplée avec le TGA .....	17
Figure I. 12: Schéma de la disposition des disjoncteurs en cas ou source SONELGAZ est couplé avec TG B & C.....	18
Figure I. 13: Schéma de la disposition des disjoncteurs en cas ou la source SONELGAZ est couplée avec les trois TG .....	20
Figure II 1: Le moteur de la pompe eau de mer .....	22
Figure II 2: Vue éclatée d'un moteur asynchrone à rotor en court-circuit.....	23
Figure II 3: Stator d'un moteur asynchrone .....	24
Figure II 4: Rotor bobiné d'un MAS .....	25
Figure II 5: Rotor massif rainuré .....	26
Figure II 6: Rotor massif lisse.....	26
Figure II 7: Rotor à cage .....	26
Figure II 8: Toles magnétiques à double cage.....	27

Figure II 9: Tôle magnétique à double cage.....	28
Figure II 10: le stator d'un moteur à double cage .....	30
Figure II 11: cage supérieure du moteur à double cage .....	30
Figure II 12: anneau de court-circuitage propre.....	31
Figure II 13: anneau de court-circuitage commun .....	31
Figure II 14: encoches à M.D.C rempli d'aluminium .....	31
Figure II 15: représenté le diagramme corrigé des couples des cages supérieures et inférieures ainsi que le couple total du aux deux cages .....	32
Figure II 16: Couple en fonction de la vitesse .....	34
Figure II 17: Vue du rotor de la motopompe (EDM).....	38
Figure II 18: Détail de l'isolation de Bobinage du Stator.....	39
Figure II 19: Le stator du moteur .....	39
Figure II 20: Image d'un élément de condensateur .....	41
Figure II 21: Représentation schématique d'une batterie de condensateurs pour pompe EDM....	41
Figure III. 1: Exemple d'un creux et d'une coupure brève de tension .....	45
Figure III. 2: Relevé de tensions d'un système triphasé déséquilibré.....	46
Figure III. 3: Schéma d'une protection différentielle longitudinale .....	47
Figure III. 4: Schéma d'une protection homopolaire stator avec capteur torique ou TC + neutre à la terre ou impédant.....	47
Figure III. 5: Schéma de la protection mini de tension .....	49
Figure III. 6: Exemple de surtension.....	49
Figure III. 7: Face avant du disjoncteur	Figure III. 8: Face arrière du disjoncteur .....
	52
Figure III. 9: Les relais de protection (motopompe eau de mer).....	54
Figure III. 10: Schéma de fonctionnement simplifié de l'IMM7990.....	55
Figure III. 11: Face avant de l'IMM7990 .....	55
Figure III. 12 : Courbe de réglage de la protection de la motopompe EDM .....	58

Figure III. 13 : Schéma interne du relais .....	59
Figure III. 14 : Réglage du relais.....	59
Figure III. 15 : Schéma du raccordement de l'IAG 7034 .....	60
Figure III. 16 : Schéma interne du relais .....	60
Figure III. 17 : Réglage du relais.....	61
Figure IV. 1: L'auto-surveillance permet de réduire le temps d'indisponibilité de la protection donc augmente la sûreté de l'installation électrique .....	67
Figure V. 1: Architecture modulaire .....	70
Figure V. 2: Face avant de l'IHM avancée .....	71
Figure V. 3: Face arrière de l'IHM avancée .....	72
Figure V. 4: Schéma du raccordement du Sepam M87 sur le moteur de la pompe EDM.....	73
Figure V. 5: condensateur propivar avec fusible internes, constitué de 4 groupes en série, chaque groupe comportant 12 éléments en parallèle protection par fusible interne .....	76
Figure V. 6: fusion du coupe circuit interne du condensateur propivar.....	76

# Sommaire

Introduction Générale.....	1
<b>Chapitre I : La présentation du complexe GL2/Z</b>	
I.1-Introduction .....	3
I.2- Spécification du complexe.....	3
I.3- Les meilleures performances du complexe GL2Z.....	5
I.4- Politique QHSE GL2Z.....	5
I.5- Engagement de la direction .....	6
I.6- Le réseau électrique du complexe GL2Z.....	6
I.6.1- La source de SONELGAZ.....	6
I.6.2- Les trois turbos générateurs.....	7
I.6.3- Le réseau électrique 5.5 kv .....	8
I.6.4- Le réseau électrique 380V .....	9
I.7- Description des tableaux normaux et secours.....	9
I.7.1- Tableau MCC .....	9
I.7.2- Tableau de distribution (SWGR).....	10
I.7.3- Tableaux EMCC.....	10
I.7.4- Tableaux « normaux » et « secours » .....	10
I.8- Les sources électriques de secours .....	10
I.8.1- Secours GL1Z.....	10
I.8.2- Secours SONELGAZ 30/5.5 kV .....	11
I.8.3- Diesel Secourt 2071J .....	11
I.9- Condition de couplage .....	11
I.9.1- Le synchroscope .....	11
I.9.2- La procédure de couplage.....	11

I.10- Délestage électrique.....	12
I.10.1- Premier stade .....	12
I.10.2- Deuxième stade .....	12
I.11- Exploitation du réseau électrique .....	13
I.11.1- Sources SONELGAZ hors service .....	13
I.11.1.1- Position des disjoncteurs .....	13
I.11.1.2- Inconvénients .....	14
I.11.1.3- Le mode de délestage de cette situation.....	14
I.11.2- Source SONELGAZ ilotée .....	15
I.11.2.1- Position des disjoncteurs .....	15
I.11.2.2- Avantages.....	15
I.11.2.3- Inconvénients .....	16
I.11.2.4- Délestage 1 <sup>er</sup> stade mode « A » .....	16
I.11.2.5- Délestage 2 <sup>ème</sup> stade mode « B » .....	16
I.11.3- Source SONELGAZ couplé avec un TG.....	16
I.11.3.1- Avantage .....	17
I.11.3.2- Inconvénient.....	17
I.11.3.3- Délestage 1 <sup>er</sup> stade mode « D » par maximum de courant instantané.....	17
I.11.3.4- Délestage 2 <sup>ème</sup> stade mode « E » par maximum de courant temporisé .....	17
I.11.4- Source SONELGAZ couplé avec deux TG .....	18
I.11.4.1- Avantages.....	18
I.11.4.2 Inconvénients.....	18
I.11.4.3- Délestage 1 <sup>er</sup> stade mode « D » par maximum de courant instantané.....	19
I.11.4.4- Délestage 2 <sup>ème</sup> stade mode « E » par maximum de courant temporisé .....	19
I.11.5- Source SONELGAZ couplé avec trois TG .....	19
I.11.5.1- Avantages.....	20

I.11.5.2- Inconvénients .....	20
I.12- Résumé .....	21
<b>Chapitre II : Etude de moteur de la pompe (EDM)</b>	
II.1-Introduction .....	22
II.2-Les moteurs asynchrones .....	22
II.2.1-Constitution d'un moteur asynchrone triphasé.....	23
II.2.2-Stator .....	24
II.2.3-Rotor.....	24
II.2.3-1- Rotor bobiné .....	24
II.2.3.2- Rotor massif.....	25
II.2.3.3- Rotor à cage d'écureuil.....	26
II.3-Principe de fonctionnement d'un MAS .....	28
II.3.1-Glisement.....	28
II.3.2-Avantages et inconvénients du MAS .....	29
II.3.2.1- Avantages .....	29
II.3.2.2- Inconvénients .....	29
II.4-Moteur Asynchrone à double Cage .....	29
II.5-Principe de fonctionnement d'un moteur à double cage .....	32
II.6-Le circuit équivalent du moteur .....	33
II.7-Les caractéristiques du moteur (pompe EDM) .....	33
II.8-Détail du rotor de la motopompe (EDM) .....	37
II.9-Détail du stator du moteur de la pompe EDM .....	38
II.9.1-Calage du bobinage Statorique.....	39
II.10-Batterie de condensateurs.....	40
II.10.1-Incidence sur les capacitances : complexe (GNL2/Z).....	41
II.10.1.1-Conséquences directes de l'incident sur l'exploitation .....	41

II.10.1.2-Cause de l'incident .....	41
II.11-Procédure de démarrage de la pompe EDM.....	42
II.12-Résumé .....	43
 <b>Chapitre III : La protection de la motopompe (EDM)</b>	
III.1-Introduction.....	44
III.2-Principaux types de défauts moteurs asynchrones.....	44
III.2.1-La surcharge (49) .....	44
III.2.2-Court-circuit (50) .....	45
III.2.3-Coupures, inversion et déséquilibres de phases (46) .....	45
III.2.4-Défaut d'isolement dans le bobinage (87) .....	46
III.2.5-Masse stator (50 N/ 51 N).....	47
II.2.5.1- Neutre à la terre ou impédant.....	48
II.2.5.2- Neutre isolé.....	48
III.2.6-Minimum de tension (27) .....	48
III.2.7-Maximum de tension (59).....	49
III.2.8-Démarrage incomplet ou trop long (48) .....	50
III.2.9-Démarrages fréquents .....	50
III.2.10-Blocage rotor (51 LR).....	50
III.2.11-Minimum d'intensité ou de puissance (37).....	50
III.3-Départ de la pompe EDM .....	51
III.4-Disjoncteur de départ .....	51
III.4.1-Principe de coupure : auto-expansion.....	52
III.5-Les relais de protection utilisés.....	54
III.5.1.-Relais IMM7990 .....	54
III.5.1.1-Introduction .....	54
III.5.1.2-Schéma de fonctionnement simplifié de l'IMM7990.....	55

III.5.1.3-Face avant de l'IMM7990 .....	55
III.5.1.4- Réglage de l'IMM7990 de la pompe EDM (capa hors service) .....	57
III.5.2- Relais IAG 7034.....	58
III.5.2.1-Schéma interne du relais.....	59
III.5.2.2-Description du relais.....	59
III.5.2.3-Réglage du relais .....	59
III.5.2.4-Schéma du raccordement de L'IAG 7034.....	60
III.5.3-Relais TTG 7113.....	60
III.5.3.1-Schéma interne du relais.....	60
III.5.3.2-Description du relais.....	61
III.5.3.3-Réglage du relais .....	61
III.6-Inconvénients de ces relais.....	61
III.7-Fonctionnement de la motopompe EDM avec et sans capa .....	62
III.8-Résumé.....	63
 <b>Chapitre IV : Les relais numériques</b>	
IV.1-Introduction.....	64
IV.2-Caractéristiques principales des relais numériques .....	64
IV.2.1-La formation d'auto surveillance.....	64
IV.2.2-Intégration des fonctions de protection et de contrôle commande .....	65
IV.3-Problèmes posés par les protections numériques.....	65
IV.3.1- Fiabilité du logiciel.....	65
IV.3.2- Dialogue homme machine .....	65
IV.4-Comparaison entre relais analogique et numérique.....	66
IV.4.1- Propriétés des signaux .....	66
IV.4.2- Incidence d'une dégradation de composant.....	66
IV.4.3- Technique de mesure .....	67

IV.5-Analyse fiabilité.....	67
IV.6-Résumé .....	68

## **Chapitre V : Les recommandations**

V.1-Introduction.....	69
V.2-Le SEPAM M87 (Merlin Gerin).....	69
V.3-Architecture modulaire .....	70
V.3.1-Face avant de L'IHM avancée .....	71
V.3.2-Face arrière de L'IHM avancée .....	72
V.4-Schéma du raccordement du Sepam M87 sur le moteur de la pompe EDM .....	73
V.4.1-Module sondes de température MET148-2.....	73
V.5-Réglage du Sepam M87 (capa hors service).....	74
V.6-Avantage de la protection recommandée .....	75
V.7-Solution proposée : batterie de condensateur.....	76
V.7.1-Avantages de ce type de protection .....	77

## **Chapitre VI : Utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour la modélisation et l'analyse des systèmes électriques**

VI.1- Introduction.....	78
VI.2- Modélisation des composants du réseau électrique avec ETAP.....	82
VI.2.1- POWER GRID .....	82
VI.3- Modélisation des composants du réseau électrique dans ETAP : CÂBLE - Heesung XLPE .....	85
VI.3.1- BUS BAR .....	86
VI.4- Modélisation Moteur 4,6 MW .....	87
VI.4.1- Nameplate (plaque signalétique) .....	88
VI.4.2- LOAD (la charge).....	89
VI.4.3- L'impédance du moteur .....	90
VI.5- Le modele du moteur .....	91

VI.5.1- L'inertie du moteur .....	92
VI.6- Conclusion .....	93
VI.7- Analyse du flux de charge dans un réseau électrique avec ETAP .....	93
VI.7.1- Introduction .....	93
VI.7.2- Conclusion .....	95

## **Chapitre VII : Acceleration motor analysis**

VII.1- introduction .....	96
VII.2- Les courbes montrés par ETAP .....	103
VII.2.1- Motors real power demand.....	103
VII.2.2- Motor reactive power demand.....	103
VII.2.3- Motor torque.....	103
VII.2.4- Motor speed.....	104
VII.2.5- Load torque .....	104
VII.2.6- Motor line current.....	105
VII.2.7- Motor terminal voltage (bus base) .....	105
VII.2.8- Motor terminal voltage (motor base) .....	105
VII.2.9- Acceleration torque .....	106
VII.2.10- Bus voltage.....	106
VII.2.11- Motor terminal current .....	106
VII.2.12- Motor real power output.....	107
VII.2.13- Motor slip .....	107
VII.3- Conclusion.....	108

## **Chapitre VIII : Protection du Moteur 4.6 MW:**

VIII.1- L'étude de la surintensité avec ETAP .....	109
VIII.2 Etude comparative des performances des relais IMM 7990 et Sepam M87 dans la détection des surintensités avec logiciel ETAP.....	111

VIII.2.1- La protection numérique simulée SEEPAM M87 .....	111
VIII.2.2- Le transformateur de courant (TC) associé.....	112
VIII.2.3- Le disjoncteur HT associé.....	113
VIII.2.4- La protection analogique simulé IMM 7990. ....	115
VIII.3- Etude de surintensité .....	115
VIII.4- Conclusion .....	118
Conclusion Générale .....	119
Bibliographie	

# *Introduction Générale*

## Introduction Générale

---

### Introduction Générale

Le gaz naturel joue un rôle essentiel dans l'économie de l'Algérie. L'Algérie est en fait l'un des plus grands producteurs et exportateurs de gaz naturel au monde. Ses vastes réserves de gaz naturel ont contribué de manière significative à l'économie du pays.

L'Algérie possède d'importantes réserves de gaz naturel, estimées à près de 4,5 millions de mètres cubes. Ces réserves sont principalement situées dans les régions du Sahara, telles que le bassin de Hassi R'Mel et le bassin d'In Amenas. La société nationale algérienne, Sonatrach, joue un rôle clé dans l'exploration, la production et l'exportation du gaz naturel.

L'industrie du gaz naturel en Algérie est une source majeure de revenus pour le gouvernement. Les recettes tirées de l'exportation du gaz naturel contribuent à une part importante du budget de l'État. Cependant, l'Algérie fait également face à des défis dans ce secteur, tels que la nécessité de diversifier son économie et de promouvoir d'autres secteurs pour réduire sa dépendance à l'égard des revenus pétroliers et gaziers.

Le gaz naturel en Algérie joue un rôle crucial dans l'économie du pays en tant que source d'exportation et de revenus pour le gouvernement. Les vastes réserves de gaz naturel de l'Algérie lui permettent de jouer un rôle important sur le marché mondial du gaz.

Le complexe GL2/Z est considéré comme l'une des plus importantes usines de liquéfaction de gaz naturel en Algérie. Lors du démarrage de cette usine son alimentation en énergie électrique était fournie par trois turboalternateurs, jusqu'à l'ajout de la sous-station électrique SONELGAZ (60 kv) durant la rénovation du complexe par la société américaine d'engineering « pullman Kellogg ».

La source SONELGAZ est relativement stable mais néanmoins il arrive parfois que des perturbations inhérentes à cette dernière provoquent des déclenchements périodiques qui influent sur les objectifs de production du complexe.

Parmi les équipements les plus importants dans le complexe GL2Z les six pompes eau de mer, ces dernières fournissent l'eau pour les dessaleurs EDM ainsi que le refroidissement des condenseurs des turbines.

Ces pompes consomment plus que la moitié de l'énergie fournie par les quatre sources. Ce qui rend leur bon fonctionnement et le suivi de la protection électrique d'une grande importance.

## **Introduction Générale**

---

Suite à l'importance stratégique des pompes EDM dans le complexe, on a choisi d'étudier le moteur de cette pompe et sa protection électrique globale existante ainsi les perspectives de rénovation des relais obsolètes par des relais numériques plus performants comme projet de fin d'étude.

L'objectif de ce travail consiste à :

- Etudier les caractéristiques du moteur de la pompe EDM.
- Connaitre les défauts du moteur.
- Etude des différents relais de protections actuelles.
- Contrôle des protections de départ du moteur et vérification des réglages.
- Comparer les relais de protections existants avec les relais de la nouvelle génération.
- Recommandation.
- Mise en place d'un nouveau logiciel (ETAP SOFTWARE).

# *Chapitre I :*

*La présentation du complexe  $GL_2/\mathbb{Z}$*

### I.1-Introduction

Le complexe industriel du gaz naturel GL2/Z (voir Figure I.1) est le dernier-né des ensembles dans la zone industrielle d'Arzew (450 km d'Alger).

- Signature du contrat : 09 février 1976.
- Lancement des travaux d'engineering : 15 avril 1977.
- Pose de la première pierre : 27 février 1978.
- Première production de GNL : 11 février 1981.
- Première expédition de GNL : 20 juillet 1981.
- Rénovation du complexe : 1992 à 1996.
- Certification du complexe ISO9001-2000 : 05 novembre 2002.

Situé à Bethioua entre le complexe GP1Z à l'Est et le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1Z à l'Ouest.



**Figure I. 1: complexe GL2Z**

### I.2- Spécification du complexe

Le complexe GL2Z a pour objectif la liquéfaction du gaz naturel avec possibilité d'extraction du propane, du butane, de la gazoline et du gaz de charge.

Le complexe GL2Z est la plus récente usine de liquéfaction du gaz naturel en Algérie. Il est conçu pour liquéfier 41.25 millions de mètres cubes par jour de gaz naturel en provenance des champs gaziers de HASSI R'MEL. Cette liquéfaction permet de réduire son volume de près de 600 fois à une température de  $-160^{\circ}\text{C}$  facilitant. Ainsi son transport par les méthaniers. (L'objectif est de traiter 10.5 milliards de  $\text{m}^3$  de gaz naturel par an).

GL2Z a été mis en place par la Société Américaine PULLMAN KELLOGG. Il s'étend sur une superficie de 72 hectares. La capacité de production du complexe est de 18.000.000  $\text{m}^3/\text{an}$  à

## Chapitre I : La présentation du Complexe GL2/Z

l'aide des six (06) trains de production identiques d'une capacité de production de 3.000.000 m<sup>3</sup>/an chacun. Le GNL est stocké dans trois bacs calorifugés d'une capacité de 100.000 m<sup>3</sup> chacun (voir Figure I.2). Par un procédé de fractionnement du gaz (Air Products), on récupère du propane à 380.000 tonnes/an, du butane à 330.000 tonnes/an, de la gazoline à 200.000 tonnes/an et de l'hélium. Le propane et le butane sont acheminés par canalisation vers le Complexe GP1Z alors que la gazoline est stockée dans un bac de stockage de 14.000 tonnes pour être exportée, l'hélium est conditionné est fourni à HELIOS pour sa commercialisation.



**Figure I. 2: Les bacs de stockage du Complexe GL2Z**

### Caractéristiques GL2Z :

- Possession de postes de chargement de GNL : (Réception de méthaniers de 30000 à 125.000 m<sup>3</sup>).
- Prise d'eau de mer : 6 x 30.900 m<sup>3</sup>/h.
- Production d'électricité : 3 x 20 mégawatts (couplée au réseau national).
- Production d'eau dessalée : 5 x 45 m<sup>3</sup>/h.
- Destination de la production :
  - GNL et Gazoline : Europe et Etats-Unis.
  - Butane et propane : Vers GP1Z qui se charge de leur commercialisation.
  - Gaz de charge : Vers l'usine HELIOS pour la production de l'hélium.

En plus de ces installations, d'autres installations auxiliaires existent, à savoir les installations pour la production des utilités telles que :

- Les systèmes de dessalement et de circulation de mer.
- Les systèmes de traitement et d'évacuation des eaux usées.
- Les réseaux d'interconnexion électrique entre les trains.

Le gaz naturel (GN) acheminé de Hassi R'mell par gazoduc est traité, purifié, liquéfié, stocké et chargé à bord des navires (Méthaniers).

Les six trains de liquéfaction reçoivent par voies de canalisation un débit de 270.000 m<sup>3</sup>/h de GN chacun. Dans chaque train, le gaz qui y arrive est traité pour éliminer le gaz carbonique, la vapeur d'eau (éléments indésirables car ils se solidifient à basse température et bouchent les tubulures). Il subit ensuite une démercurisation pour être ensuite pré-refroidi dans les

## **Chapitre I : La présentation du Complexe GL2/Z**

---

échangeurs de propane à 30.6°C, après cela, le gaz naturel est fractionné, pour extraire l'éthane, le propane, le butane et l'hélium conditionné au niveau de l'unité D'HELIOS. Enfin, le gaz naturel est refroidi dans l'échangeur principal jusqu'à sa température de liquéfaction (-162°C) à pression atmosphérique pour être ensuite stocké dans les bacs avant son expédition.

### **I.3- Les meilleures performances du complexe GL2Z**

#### **Records de production :**

- Production journalière GNL : 67.669 m<sup>3</sup> (Record réalisé le 27/01/1996).
- Production mensuelle GNL : 1.947.379 m<sup>3</sup> (Record réalisé en janvier 1999).
- Production annuelle GNL : 18.887.110 m<sup>3</sup> (Record réalisé en 1998).
- Production annuelle (mobile) GNL : 20.469.427 m<sup>3</sup> (Record réalisé en Aout 1999).

#### **Records de capacité contractuelle installée (C.C.I) :**

- 1997 : 18.710.220 m<sup>3</sup>, soit 105%.
- 1998 : 18.887.110 m<sup>3</sup>, soit 106%.
- 1999 : 19.963.337 m<sup>3</sup>, soit 112.03%.
- 2003 : 18.684.304 m<sup>3</sup>, soit 104.85%.

#### **Les grands projets du complexe GL2Z :**

- Rénovation des installations du complexe entre 1992 et 1996 par l'installation de quatre nouvelles chaudières d'une capacité de 400 tonnes chacune, le remplacement des principales turbines à vapeurs, l'ajout d'une sous station électrique de 60 kv alimentée par SONELGAZ, le remplacement de la centrale de climatisation, ainsi que la mise en place d'un système électronique de contrôle et de régulation (DCS) à la place de l'ancien système pneumatique.
- Réalisation de l'école de feu.
- La mise en place du système PHD (Process Historic Database).
- La certification du système de management de la qualité à la norme ISO9001-2000 par SGS ICS.
- Le projet de certification HSE.

### **I.4- Politique QHSE GL2Z**

(Qualité, environnement, santé et sécurité au travail)

La présente politique (qualité, environnement, Health and Safety) est fondée sur le souci de niveau d'excellence à atteindre afin de satisfaire les attentes des clients et de toutes les autres parties intéressées.

#### **Les objectifs essentiels sont :**

- La satisfaction permanente des clients et des autres parties intéressées.
- L'amélioration des conditions de travail.
- La préservation de l'environnement.

- Le développement des techniques de prévention des risques industriels et des incidents.
- L'amélioration continue des performances.
- Le développement de ressources humaines.

### **I.5- Engagement de la direction**

Pour atteindre les objectifs de sa politique, le complexe GL2Z s'engage avec la ferme volonté à :

- Veiller au respect des exigences légales en matière de qualité, environnement, santé et sécurité au travail.
- Promouvoir la communication avec les clients et les parties intéressés.
- Prendre en compte les attentes des clients et des parties intéressés et veiller à leur pleine satisfaction.
- Favoriser un environnement de travail approprié à l'amélioration constante des compétences du personnel.
- Assurer au personnel une formation aux concepts QHSE par une meilleure implication et participation.
- Veiller à l'ancrage de cette dynamique des progrès au sein du complexe.
- Instaurer la culture QHSE au sein du complexe GL2Z.

Enfin, le complexe GL2Z occupe actuellement une place importante dans la production de GNL sur le marché international.

Le complexe pilote de l'activité aval, GL2Z aura à lever d'autres défis afin d'honorer ces engagements avec ces différents partenaires. L'important, est de savoir comment entretenir et fiabiliser plus ces unités de production afin d'allonger leur durée de vie avec les meilleures performances possibles sans pour autant compromettre les aspects sécuritaires et environnementaux.

### **I.6- Le réseau électrique du complexe GL2Z**

Le réseau électrique du complexe GL2Z est alimenté par deux sources à connaître :

- La source de SONELGAZ.
- Les trois turbogénérateurs.

#### **I.6.1- La source de SONELGAZ**

La source de SONELGAZ est reliée au réseau électrique GL2Z par le poste 60kv ce dernier à deux lignes d'arrivée.

La première ligne normale provenant directement de Marsa el Hadjadj poste 220/60 kv et la deuxième ligne secours commune à GL2Z et GP1Z, provenant également du même poste 220/60 kv.

Les quatre départs issus des jeux de barre alimentés par les deux lignes SONELGAZ servent à alimenter :

## Chapitre I : La présentation du Complexe GL2/Z

- Le complexe GL2Z à travers le transformateur TR2300.
- Le complexe GL1Z à travers deux transformateurs.
- Le complexe HELIOS à travers les deux transformateurs TR2900 et TR2901.

Le schéma général d'exploitation est représenté dans la Figure I.3 où le disjoncteur MHP est fermé et GPL ouvert en stand-by, ces deux (02) disjoncteurs sont manœuvrés par GL2Z à la demande et sur instruction de SONEMGAZ. On peut basculer d'une arrivée à une autre sans coupure, par couplage des deux (02) lignes.

Le disjoncteur de couplage et les (04) disjoncteurs de départs sont normalement fermés.

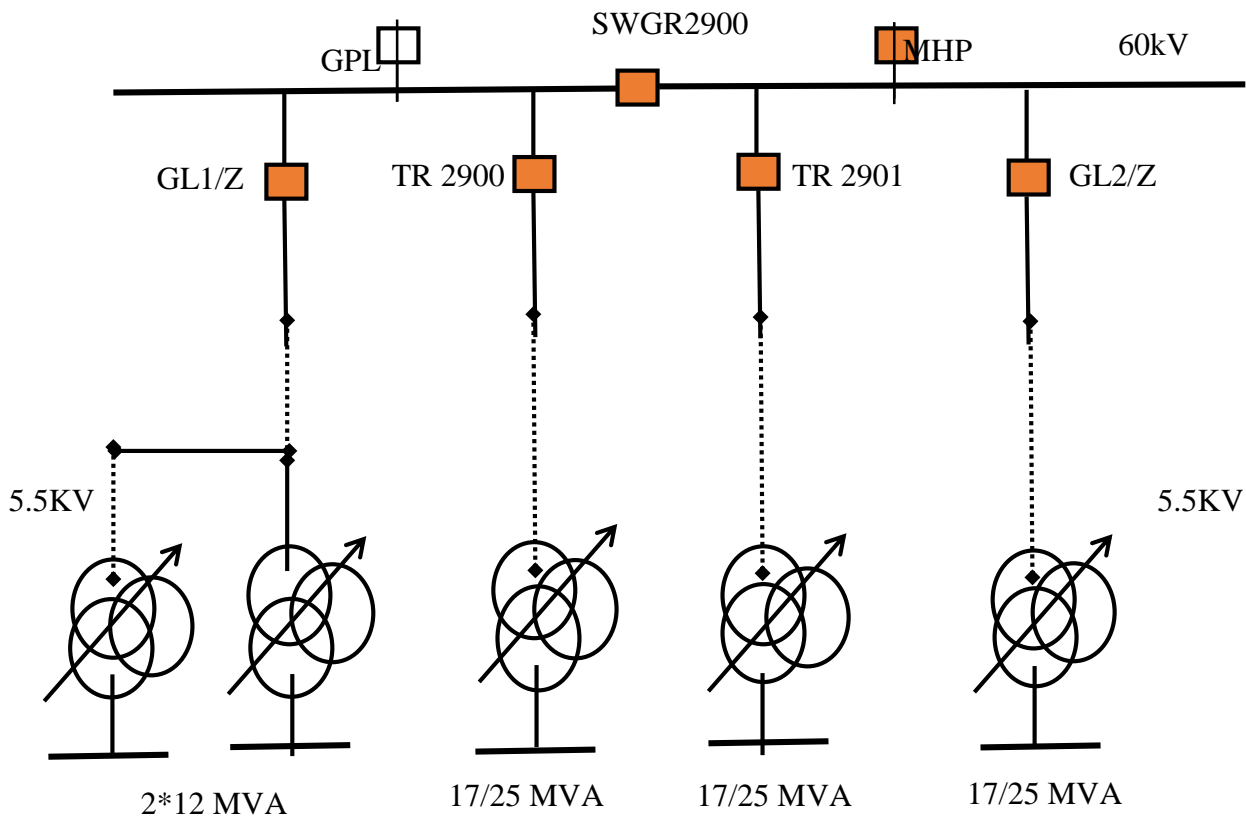


Figure I. 3: Schéma général d'exploitation de l'arrivée SONELGAZ

### I.6.2- Les trois turbos générateurs

Les trois générateurs débitent sur les jeux de barres SWGR2301, SWGR2302 et SWGR2303 sur lesquels sont raccordées les charges électriques du complexe GL2Z (pompe EDM, sous station process, nouvelles chaudière et off site...)

Les sources peuvent être couplées entre elles sur le jeu de barre de synchronisation SWGR 2300 à travers des réactances de limitation de courant de court-circuit.

Le réseau électrique présente une flexibilité d'exploitation puisque la source SONELGAZ peut être couplée au jeu de barre commun ou ilotée sur jeu de barre SWGER2304.

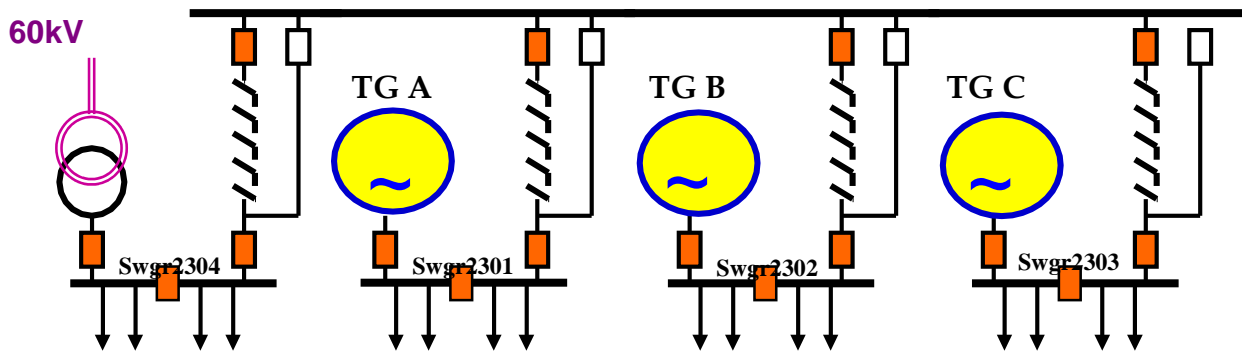


Figure I. 4: Schéma électrique des sources principales du complexe GL2Z

### I.6.3- Le réseau électrique 5.5 kv

Les turbos générateurs produisent l'énergie électrique à une tension égale à 5.5 kv. Cette dernière est aussi fournie par la source de SONELGAZ après avoir subi à une transformation. Les réactances mises en parallèle avec les quatre sources limitent les courants de court-circuit Figure I.5. Ces réactances peuvent réduire les courants de court-circuit à des valeurs différentes selon la situation d'exploitation :

- SONELGAZ seule, toutes réactances by-passées, sans charger sur le réseau : 13 kA.
- Un TG seul, toutes réactances by passées, sans charges sur le réseau : 21 kA.
- 2 TG, 2 réactances en service, sans charges sur le réseau : 27 kA.
- 2 TG + SONELGAZ, 3 réactances en service, sans charges sur le réseau : 30 kA.
- 3 TG + SONELGAZ, 4 réactances en service, sans charges sur le réseau : 32 kA.
- 3 TG + SONELGAZ, 4 réactances en service, avec 45 MW de charges : 41 kA.

En cas de régime perturbé des sources sur les SWGR2301 à 2304, les réactances génèrent des chutes de tension non négligeables, c'est pourquoi elles sont by-passées.

## Chapitre I : La présentation du Complexe GL2/Z

Le réseau 5.5 kV composé par les trois jeux de barres principaux SWGR1, SWGR2, SWGR3, SWGR4 alimente d'autres jeux de barres ainsi que des charges importantes tel que :

- Les pompes EDM.
- Les motos ventilateurs ABB.
- Les motos-pompes des chaudières alimentaires.
- Les pompes GNL.
- La pompe incendie.

### I.6.4- Le réseau électrique 380V

Les charges de petite puissance sont alimentées par le réseau électrique 380 V à partir de la sous station qui a une ou deux alimentations normales et une alimentation secours.

Le transformateur secourt ETR à une puissance apparente plus faible que le transformateur normal TR, car il n'alimente que les charges prioritaires lors de l'interruption de l'alimentation normale Figure I.6.

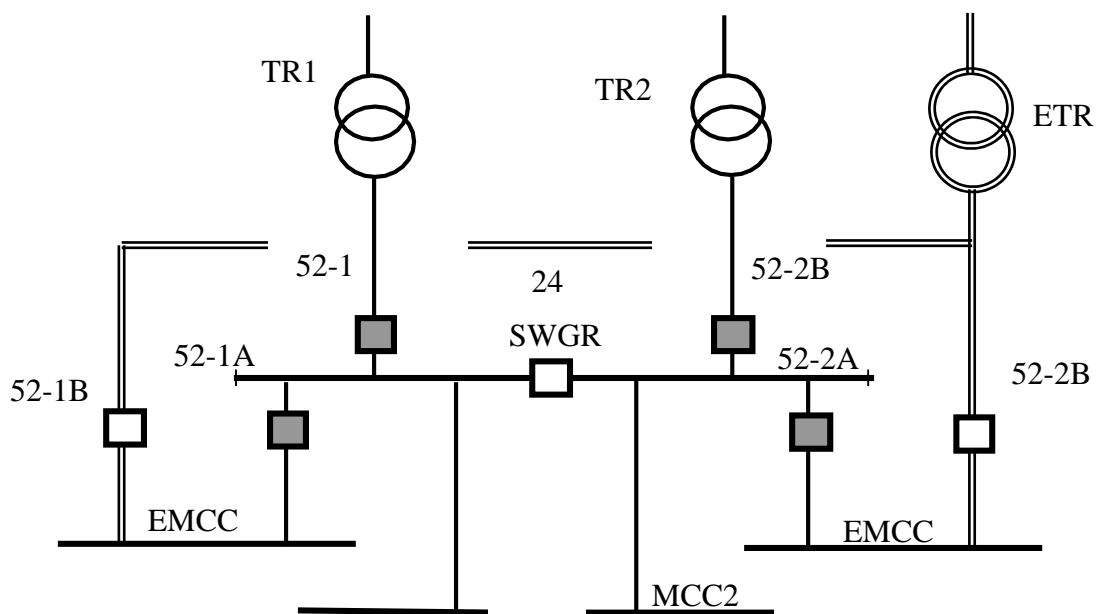


Figure I. 6: Schéma de distribution d'énergie électrique au niveau des sous stations

### I.7- Description des tableaux normaux et secours

#### I.7.1- Tableau MCC

MCC signifie « Motor Control Center ». Ce sont des tableaux 5.5 kV ou 380 V constitués de « Départs » alimentant des équipements électriques, exemple : Les moteurs, UPS, Chargeurs, éclairage... etc. Figure I.7.

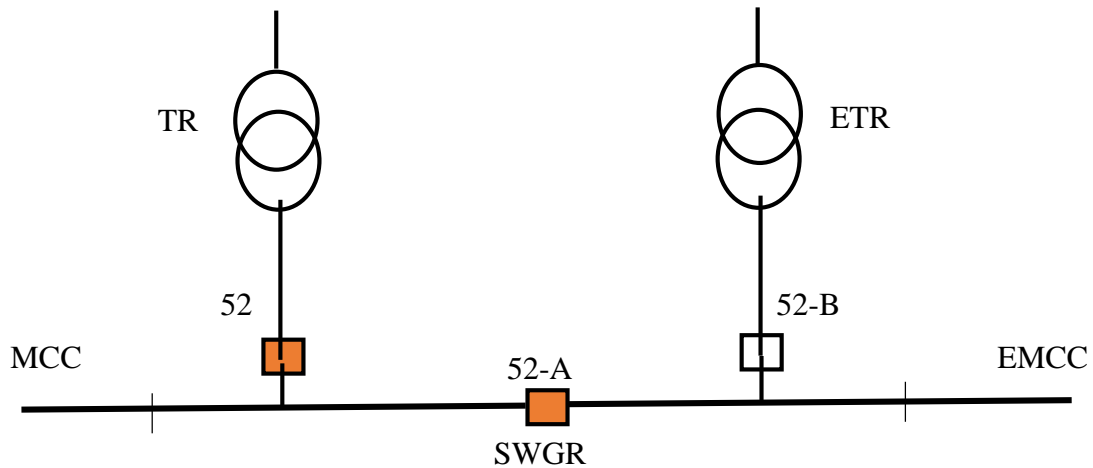


Figure I. 7: Schéma de principe d'une partie du réseau électrique 5.5 KV

### I.7.2- Tableau de distribution (SWGR)

SWGR est l'abréviation de « Switcher » que l'on peut traduire par « tableau de distribution ». Ce sont des tableaux électriques (60 Kv, 5.5 Kv ou 380 V) qui ont pour rôle principal de distribuer l'énergie vers d'autres tableaux : SWGR ou MCC.

### I.7.3- Tableaux EMCC

EMCC signifie « Emergency Motor Control Center ». Ce sont des tableaux 5.5 kV ou 380 V qui alimentent des charges prioritaires afin d'assurer la sécurité des installations et du personnel comme les équipements de sécurité, les pompes de graissage secours, les MOV stratégiques, les UPS, les chargeurs et éclairage de secours.

### I.7.4- Tableaux « normaux » et « secours »

Les tableaux « Normaux » (MCC) sont alimentés par le réseau « normal » du Complexe à travers les transformateurs « normaux » (TR). Le réseau normal est celui qui est raccordé aux sources électriques principales du complexe : Turbo générateurs ou la source de SONELGAZ.

Les tableaux « secours » (EMCC) sont habituellement alimentés par le réseau « normal ». En cas de perte du réseau « normal », un automatisme assure l'alimentation des EMCC par le réseau « secours », à partir des transformateurs de secours ETR. Ces automatismes sont les dispositifs de « Transferts Electriques ».

## I.8- Les sources électriques de secours

### I.8.1- Secours GL1Z

GL1Z fournit à partir d'un départ 5.5 kV de ses utilités une alimentation secours 5.5 kV d'une capacité de 5 MVA. Cette alimentation permet d'alimenter la totalité des tableaux secours (EMCC) 380 V du complexe ainsi que certains moteurs 5.5 kV alimentés par des EMCC

5.5 kV : pompe incendie, lavage d'écran, compresseur d'air sur le EMCC2003 pompe de chargement sur EMCC2102.

### I.8.2- Secours SONELGAZ 30/5.5 kV

Cette source n'est pas disponible actuellement car la sous-station 30 kV localisée à GL1Z est hors service. GL1Z envisage la réhabilitation de cette sous-station.

Si elle est remise en service, cette source aura une capacité de 5 MVA, proche de la capacité du secours GL1Z. Elle permettra d'alimenter la zone ADM, les EMCC 380 V du complexe et les moteurs alimentés par les EMCC 5.5 kV cité ci-dessus.

### I.8.3- Diesel Secourt 2071J

Le diesel Secours doté d'une capacité de 2 MW ne permet pas de démarrer des moteurs 5.5 kV de plus de 400 KW. Il peut seulement alimenter des EMCC 380 V et la pompe de lavage d'écran 2201 JAM sur l'EMCC 2003. Il existe des verrouillages qui interdisent la mise en service du 2020 JD, de la pompe incendie 2260 JAM et des pompes de chargement 2102 JA et 2101 JB.

## I.9- Condition de couplage

Pour coupler convenablement l'alternateur au réseau, il faut que les trois conditions citées ci-dessous soient réunies :

- La tension de l'alternateur à coupler doit être égale à celle du réseau.
- La fréquence de la tension de l'alternateur à coupler doit être égale à celle du réseau.
- La succession des phases de l'alternateur et celle du réseau doivent être les mêmes.
- Pour pouvoir égaliser la fréquence entre le TG et le réseau en utilisant le synchroscope.

### I.9.1- Le synchroscope

Lorsque la clef de synchro est positionnée, le synchroscope est mis en service :

- Si l'aiguille ne tourne pas, cela signifie que le « couplage sur jeu de barre est mort » ou anomalie.
- L'aiguille tourne vite lorsque l'écart de fréquence entre TG et SWGR est élevé, elle tourne de plus en plus lentement lorsqu'on cherche à égaliser les fréquences.
- L'angle existant entre la position zéro et l'aiguille indique le déphasage entre les deux sources. Comme la montre la Figure I.8.
- Risque de fonctionnement en moteur quand l'aiguille tourne dans le sens d'horaire.

### I.9.2- La procédure de couplage

- Egalisation des tensions.
- Egalisation des fréquences : amener l'aiguille à tourner lentement dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

- Fermer le disjoncteur de couplage quand l'aiguille est dans la fenêtre « 5 minutes / + 5 min ». Sens d'horaire.
- 

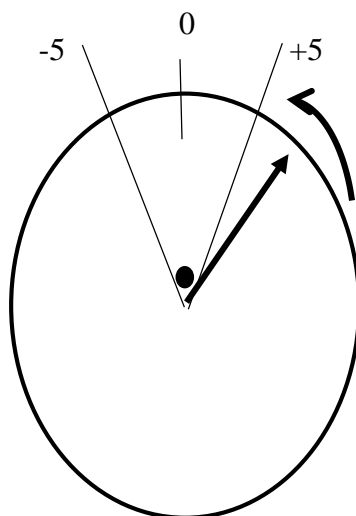


Figure I. 8: Schéma simplifié du synchroscope

### I.10- Délestage électrique

Lorsque les sources électriques disponibles ne suffisent pas à alimenter la totalité des charges électriques de GL2Z, elles risquent de déclencher par surcharge. Il est alors nécessaire de « délester » (déclencher) des charges (Load Shedding) pour maintenir les sources électriques en service. Ce délestage se fait en deux temps.

#### I.10.1- Premier stade

On déleste seulement des charges sans impact sur la production, telles que la zone administrative et les Off-sites. En général on déleste aussi une pompe eau de mer (présélectionnée à l'avance) en démarrant automatiquement la turbopompe auxiliaire d'eau de mer. Lorsque le 1<sup>er</sup> Stade de délestage est insuffisant pour éviter la surcharge des sources, on passe automatiquement au deuxième stade.

#### I.10.2- Deuxième stade

Délestage de tous les trains et les pompes eau de mer en service. On sacrifie donc volontairement la production pour maintenir en ligne les utilités et les sources électriques, ceci afin d'éviter un déclenchement total du complexe. Il y a six modes de délestage pour les deux stades à savoir :

- Mode A (minimum de fréquence, minimum de tension et maximum de courant).
- Mode B (minimum de fréquence).
- Mode D (minimum de fréquence).
- Mode E (minimum de fréquence).
- Mode D (minimum de courant instantané).

- Mode E (maximum de courant temporisé).

Les surcharges des sources peuvent être détectées :

- Soit par des relais à **mini fréquence**. Lorsque seuls les turbogénérateurs sont en service, la surcharge électrique se traduit par un ralentissement des groupes et donc une **baisse de fréquence**.
- Soit par des relais à **maximum de courant** (généralement associés aux positions des disjoncteurs).

Lorsque SONELGAZ est couplée avec les TG, une surcharge des sources se traduit instantanément par une surintensité sur l'arrivée TR2300 : un relais à max de I sur cette arrivée permet d'initier des délestages dans la marche couplée avec SONELGAZ.

### I.11- Exploitation du réseau électrique

Le réseau électrique GL2Z peut être exploité en plusieurs modes. Au vu que sa structure électrique permet de choisir plusieurs schémas d'exploitations. Généralement la situation des trois turbos générateurs et la source SONELGAZ imposent le choix du fonctionnement.

Les schémas d'exploitation du réseau électrique GL2Z sont :

- Source SONELGAZ hors service.
- Source SONELGAZ ilotée.
- Source SONELGAZ couplé avec un TG.
- Source SONELGAZ couplé avec deux ou trois TG.

#### I.11.1- Sources SONELGAZ hors service

Quand SONELGAZ est hors service les trois alternateurs doivent compensées la puissance délivrée par SONELGAZ. Comme le montre la Figure I.9.

Outre, cette situation ne permet pas la marche des six trains de production, vu le vieillissement des alternateurs. Cette insuffisance engendre un manque à produire (d'un train).

##### I.11.1.1- Position des disjoncteurs

- Disjoncteur de l'arrivée TR2300 est ouvert.
- Disjoncteur « liaison réactance » ou « couplage barres » fermé sur SWGR2304.
- By-pass fermé.
- Disjoncteur « liaison/isolément » réactance et de couplage des turbos générateurs fermé sur SWGR2301 0 2303.

SWGR 2300

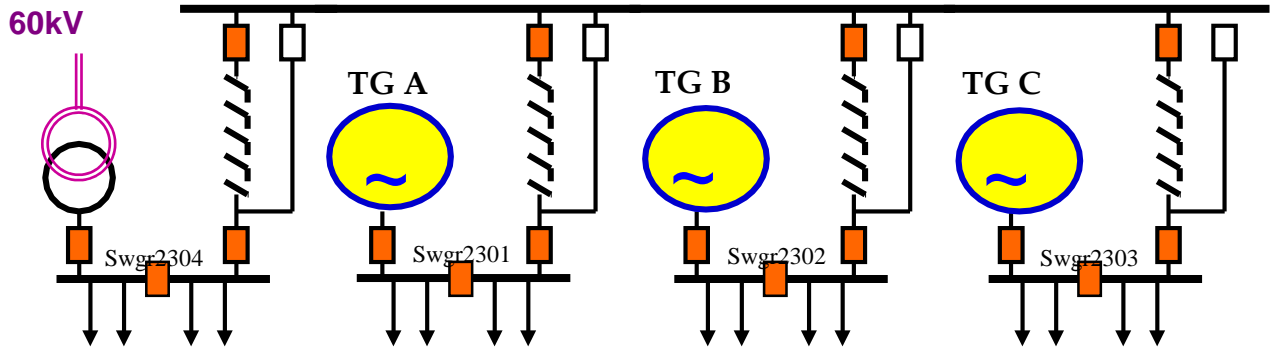


Figure I. 9: Schéma de la disposition des disjoncteurs en cas où SONELGAZ est hors service

### I.11.1.2- Inconvénients

- L'obligation de faire travailler les alternateurs à leurs pleines charges, donc risque de déclenchement par la vibration, haute température... etc.
- La perte d'un alternateur engendre le délestage de mode D ou E qui a par conséquent une perte d'un ou des trains de production (voir point ci-dessous).
- L'instabilité d'un des TG peut influencer les autres TG, au vu qu'ils sont couplés sur le même jeu de barre.

### I.11.1.3- Le mode de délestage de cette situation

Il y a deux stades de délestage pour cette situation à savoir :

- **Délestage 1<sup>er</sup> stade mode « D » par mini fréquence :**

Si la fréquence atteint  $f1 = 48.5$  HZ sur SWGR2304, le relais mini fréquence excite le relais de délestage Mode « A », qui a comme actions :

- Démarrage de la turbopompe EDM.
- Déclenchement départ ADM + départ « off-sites » des SWGR2303, 2303 et 2304.
- Déclenchement pompes EDM présélectionnées localisées sur SWGR2301 à 2304 sauf (2200 JF).
- ESD + fermeture MOV eau de mer des trains présélectionnés.

- **Délestage 2<sup>ème</sup> stade mode « E » par mini fréquence :**

Si la fréquence atteint  $f2 = 47.5$  HZ sur SWGR2304 ou sur les 3 SWGR2301/2302/2303, le relais mini fréquence excite le relais de délestage mode « B », qui a comme actions :

- Démarrage de la turbopompe EDM.
- Déclenchement départ ADM + départs « off-sites » des SWGR2302, 2303 et 2304.
- Déclenchement de toutes les pompes EDM sauf 2200 JF.
- ESD + fermeture MOV eau de mer de tous les trains.

### I.11.2- Source SONELGAZ ilotée

Dans cette situation la puissance délivrée au réseau électrique GL2Z est partagée sur les turbos générateurs GL2Z et la source SONELGAZ. Ce mode d'exploitation présente des avantages et des inconvénients qui peuvent être néfaste sur la production comme le montre la Figure I.10.

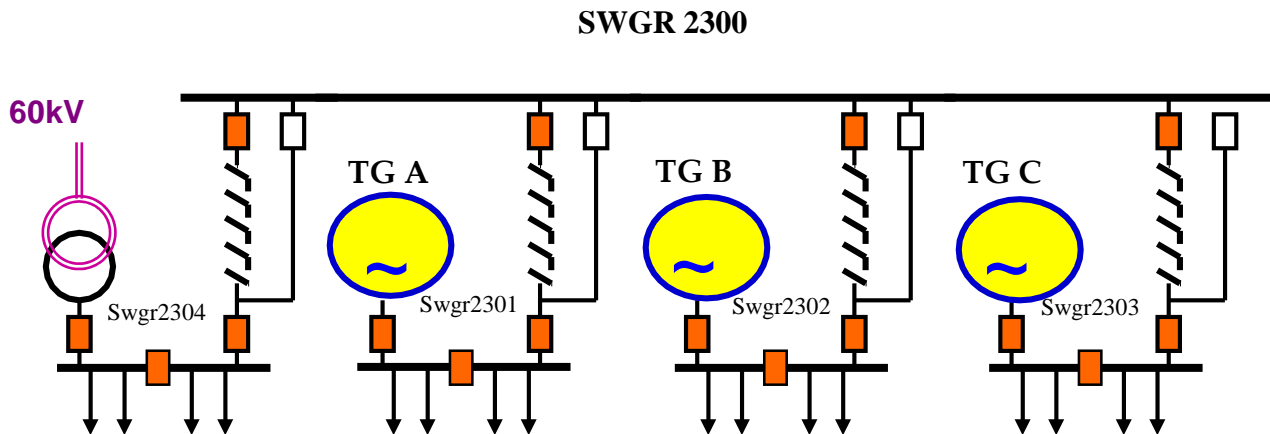


Figure I. 10: Schéma de la disposition des disjoncteurs en cas où la source de SONELGAZ ilote

#### I.11.2.1- Position des disjoncteurs

L'exploitation de SONELGAZ ilotée peut être effectuée selon les deux cas suivants :

1. Disjoncteur « liaison réactance » ou « couplage barres » ouvert sur SWGR2304.
2. Disjoncteurs « liaison réactance » et « couplage barres » fermés sur SWGR 2301 à SWGR2303.

#### I.11.2.2- Avantages

- Soulagement des turbes générateurs car ils peuvent fonctionner à des régimes inférieurs au régime pleine charge.
- En cas d'instabilité du réseau électrique SONELGAZ on perd seulement les charges du SWGR2304, les autres SWGR de 2301 à 2303 seront à l'abri des perturbations qui peuvent être engendrées lors de déséquilibre de la source SONELGAZ (chute de tension, pompage, perte de la source SONELGAZ...). Donc le risque de déclenchement des trains de production alimenté par les trois TG sera évité.
- En cas d'instabilité du réseau électrique alimenté par les trois TG, les charges alimentées par SONELGAZ ne seront pas perturbées ou on peut maintenir la production des deux trains.

### I.11.2.3- Inconvénients

- En cas de perte d'un ou deux TG on ne pourra pas exploiter la source SONELGAZ pour compenser le manque de puissance (conséquence ESD des trains de production alimentés par le TG ou les TG concernés).
- Le cout d'énergie électrique consommée de la source SONELGAZ sera élevé.
- Remarque : le vieillissement des trois turbos générateurs rend impossible de compenser le manque de puissance en cas de perte de la source SONELGAZ.

### I.11.2.4- Délestage 1<sup>er</sup> stade mode « A »

Le délestage mode « A » peut être activé par trois relais :

- Relais correspondant à la mini fréquence : si la fréquence atteint  $f1 = 48.5$  HZ sur les 3 SWGR2301/2302/2303.
- Relais maximum de courant instantané : si  $I = 2700$  A sur un seul TG en service.
- Relais mini tension : si  $U < 0.65 U_n - 0.5$  secondes, sur un SWGR ou le TG est en service.
- **Action de délestages :**
  - Démarrage de la turbopompe EDM.
  - Déclenchement départs « off-sites » des SWGR2302 et 2303.
  - Déclenchement pompes EDM présélectionnées localisées sur SWGR2301 à 2303.
  - ESD et fermeture MOV eau de mer des trains présélectionnés.

### I.11.2.5- Délestage 2<sup>ème</sup> stade mode « B »

Le délestage mode « B » peut être activé par le relais mini fréquence  $f2 = 47.5$  HZ sur les 3 SWGR2301/2302/2303.

- **Actions de délestages :**

Démarrage de la turbopompe EDM + les actions suivantes :

- Déclenchement départ « off-sites » des SWGR2302 et 2303.
- Déclenchement de toutes les pompes EDM localisées sur SWGR2301 à 2303.
- ESD + fermeture MOV eau de mer de tous les trains.

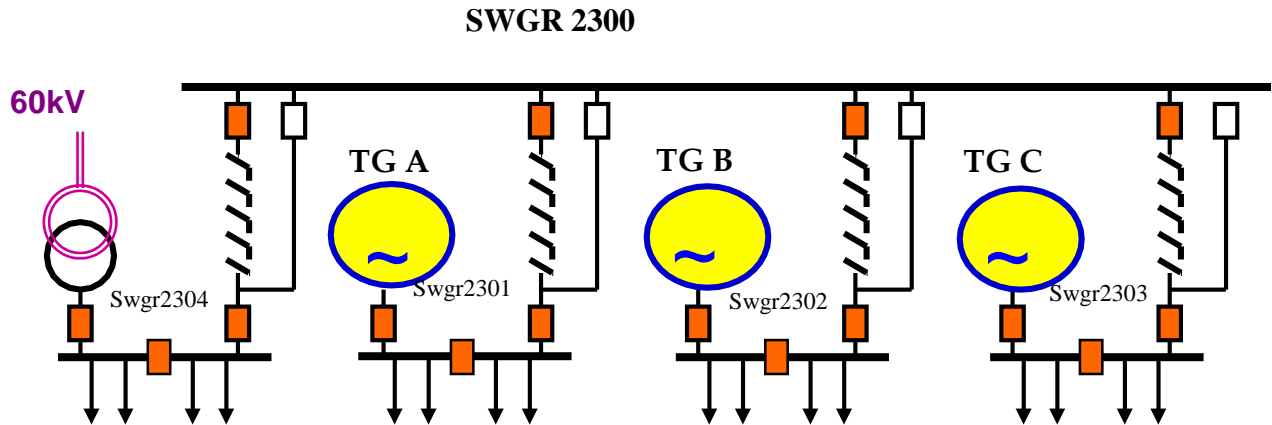
### I.11.3- Source SONELGAZ couplé avec un TG

Avec cette situation, on ne peut pas assurer l'alimentation du réseau électrique du complexe GL2Z. Il est nécessaire de faire fonctionner tous les turbos pompes au lieu des motos pompes et utilisé la source SONELGAZ avec le maximum de puissance pour pouvoir satisfaire la demande d'énergie électrique. Comme le montre la Figure I.11.

Position des disjoncteurs :

- Disjoncteur « liaison réactance » ou « couplage barres » fermés sur SWGR2304.
- Disjoncteurs « liaison réactance » et « couplage barres » fermés sur SWGR2301 ou 2302 ou bien 2303.

- By-pass fermé (2301, 2302) ou (2301, 2303), ou bien (2302, 2303).



**Figure I. 11: Schéma de la disposition des disjoncteurs en cas où source SONELGAZ Est couplée avec le TGA**

### I.11.3.1- Avantage

- Possibilité d'utiliser la source SONELGAZ pour alimenter d'autres charges existantes sur les SWGR 2301 à 2303.
- En cas de perte du TG on peut garder certaines charges alimentées par les SWGR2302 à 2303 (selon la configuration présentée par le schéma ci-dessus).

### I.11.3.2- Inconvénient

- Augmentation de la consommation d'énergie électrique de la source SONELGAZ.
- En cas d'instabilité du réseau électrique SONELGAZ on peut avoir l'écrasement du TG, donc on risque un déclenchement total.

### I.11.3.3- Délestage 1<sup>er</sup> stade mode « D » par maximum de courant instantané

Le délestage mode D peut être activé par le relais maximum de courant sur arrivée TR2300 : 3000 A instantané (relais 50). Ce relais excite aussi le relais de délestage mode « A » qui a pour actions :

- Démarrage de la turbopompe EDM.
- Déclenchement départ ADM + départ « off-sites » des SWGR2302, 2303 et 2304.
- Déclenchement pompes EDM présélectionnées localisées sur SWGR2301 à 2304 (sauf 2200 JF).
- ESD + fermeture MOV eau de mer des trains présélectionnés.

### I.11.3.4- Délestage 2<sup>ème</sup> stade mode « E » par maximum de courant temporisé

Le délestage mode D peut être active par le relais maximum de courant sur arrivée TR2300 : 3120 A temporisé (relais 51). Ce relais excite aussi le relais de délestage mode « B » qui comme actions :

- Démarrage de la turbopompe EDM.
- Déclenchement départ ADM + départ « off-sites » des SWGR2302, 2303 et 2304.
- Déclenchement de toutes les pompes EDM sauf 2200 JF.
- ESD + fermeture MOV eau de mer de tous les trains.

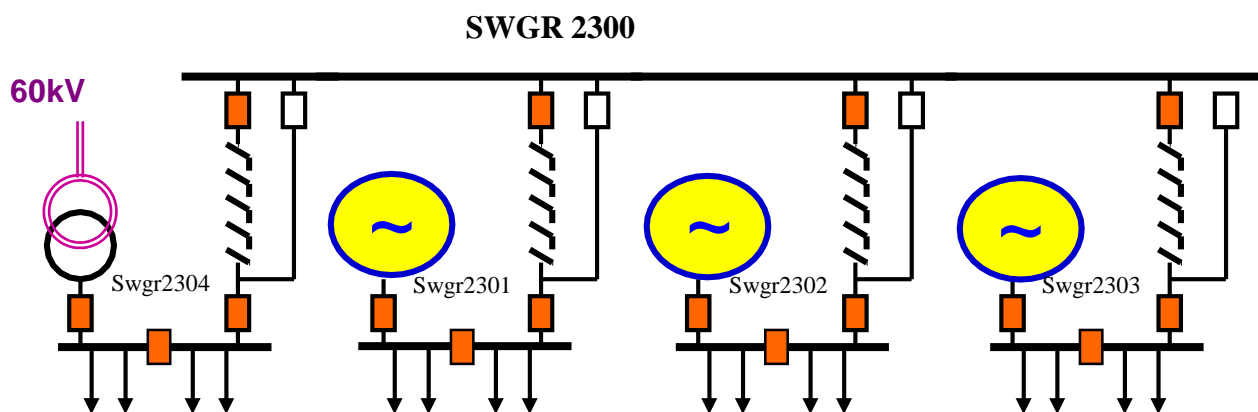
### I.11.4- Source SONELGAZ couplé avec deux TG

Cette situation est moins critique que celle d'un seul TG couplé avec SONELGAZ. Elle peut être avantageuse plus au moins selon les TG disponible et leurs puissances maximales délivrées comme le montre la Figure I.12.

- **Position des disjoncteurs :**

(SONELGAZ + 2 TG).

- Disjoncteur « liaison réactance » ou « couplage barres » fermé sur SWGR2301 à 2304.
- By-pass ouvert 2302 à 2304 et by-pass 2301 fermé.



**Figure I. 12: Schéma de la disposition des disjoncteurs en cas où source SONELGAZ est couplé avec TG B & C**

#### I.11.4.1- Avantages

- Minimisation du coût d'énergie électrique de la source SONELGAZ.
- Possibilité d'utiliser la source SONELGAZ pour alimenter d'autres charges existantes sur les SWGR de 2301 à 2303.
- Possibilité d'utiliser les deux TG pour alimenter d'autres charges existantes sur les SWGR 2304 en cas de perte de la source SONELGAZ.

#### I.11.4.2 Inconvénients

- En cas d'instabilité du réseau électrique SONELGAZ ont pu avoir l'écrasement des deux TG, donc on risque un déclenchement total.

- En cas de perturbation (pompage) d'un TG on risque de perturber tout le réseau.

### I.11.4.3- Délestage 1<sup>er</sup> stade mode « D » par maximum de courant instantané

Le délestage mode D peut être active par le relais maximum de courant sur arrivée TR2300 : 3000 A instantané (relais 50). Ce relais excite aussi le relais de délestage mode « A » qui comme actions :

- Démarrage de la turbopompe EDM.
- Déclenchement départ ADM + départ « off-sites » des SWGR2302, 2303 et 2304.
- Déclenchement pompes EDM présélectionnées localisées sur SWFR2301 à 2304 (sauf 2200 JF).
- ESD + fermeture MOV eau de mer des trains présélectionnés.

### I.11.4.4- Délestage 2<sup>ème</sup> stade mode « E » par maximum de courant temporisé

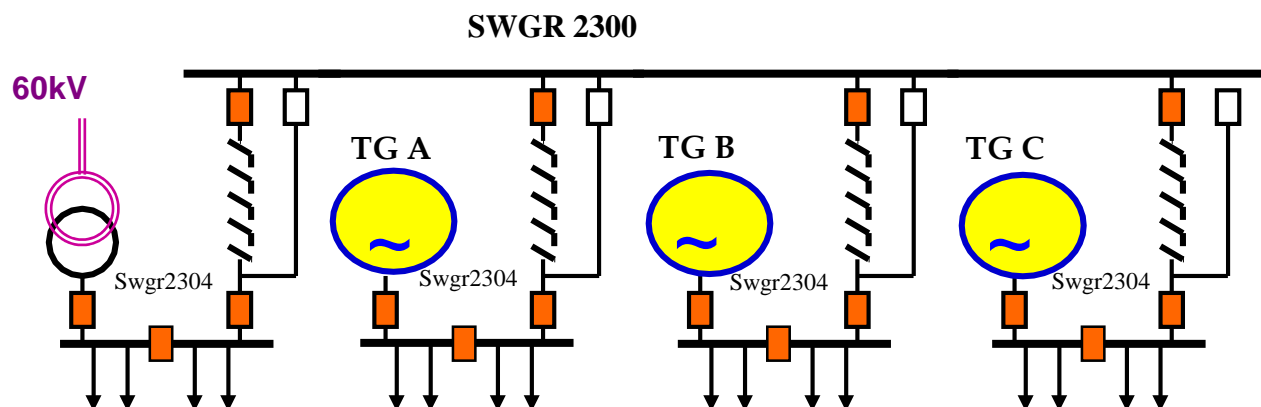
Le délestage mode D peut être active par le relais maximum de courant sur arrivée TR2300 : 3120 A temporisé (relais 51). Ce relais excite aussi le relais de délestage mode « B » qui comme actions :

- Démarrage de la turbopompe EDM.
- Déclenchement départ ADM + départ « off-sites » des SWGR2302, 2303 et 2304.
- Déclenchement de toutes les pompes EDM sauf 2200 JF.
- ESD + fermeture MOV eau de mer de tous les trains.

### I.11.5- Source SONELGAZ couplé avec trois TG

Les trois turbos générateurs et la source SONELGAZ débitent sur les jeux de barre communs donc cette situation peut assurer l'alimentation du réseau électrique du complexe GL2Z. Ce mode d'exploitation présente des avantages et des inconvénients qui peuvent perturbés la production comme le montre la Figure I.13.

- **Remarque** : les trois TG ne fonctionne pas à 100 % à cause de leur vieillissement.



**Figure I. 13: Schéma de la disposition des disjoncteurs en cas ou la source SONELGAZ est couplée avec les trois TG**

#### **I.11.5.1- Avantages**

- Minimisation le cout d'énergie électrique de la source SONELGAZ.
- En cas de perte d'un ou deux TG on peut exploiter la source SONELGAZ pour compenser le manque de puissance.
- Possibilité d'utilisé les trois TG pour alimenter d'autre charges existantes sur les SWGR2304 (pas la totalité des charges).

#### **I.11.5.2- Inconvénients**

- En cas de perturbation (pompage) d'un TG ou de la source SONELGAZ y'aura un risque de perturbation sur tout le réseau.
- En cas de perte de la source SONELGAZ y'aura un risque d'arrêt total de l'usine.
- **N.B** : le délestage est similaire au précédent (SONELGAZ couplée avec deux TG).

### I.12- Résumé

Dans ce chapitre, nous avons donné une idée générale sur le complexe GL2Z qui est considéré comme l'une des plus importantes usines de liquéfaction de gaz naturel en Algérie et dans le monde. Nous avons montré aussi les principales sources d'alimentation en énergie électrique de ce complexe qui sont les trois turbogénérateurs, la source 60 kV de SONELGAZ et les sources de secours. Ainsi nous avons montré en dernier lieu les différents modes de délestages.

*Chapitre II :*  
*Etude de Moteur de la pompe*  
*(EDM)*

### II.1-Introduction

Les moteurs électriques des pompes eau de mer jouent un rôle très important dans le complexe GL2Z car non seulement ils font tourner les roues des pompes mais ils consomment beaucoup d'énergie électrique (4.6 MW par un seul moteur). Le moteur qui est lubrifié à l'huile entraine une pompe immergée dans un bassin rempli d'eau de mer, son débit est de 33 m<sup>3</sup>/h à une pression maximale de 3.97 bar.

Une partie de l'eau de mer est pompé vers les dessaleurs pour la production de l'eau distillée qui va être acheminée vers les chaudières ou elle est utilisée pour la production de la vapeur d'eau nécessaire au process. L'autre partie est utilisée pour le refroidissement.



**Figure II 1: Le moteur de la pompe eau de mer**

### II.2-Les moteurs asynchrones

Les moteurs asynchrones sont souvent appelés moteurs à induction, pour leurs principes de fonctionnement basé sur l'induction électromagnétique. Ils sont constitués de deux parties principales à savoir ; le stator et le rotor.

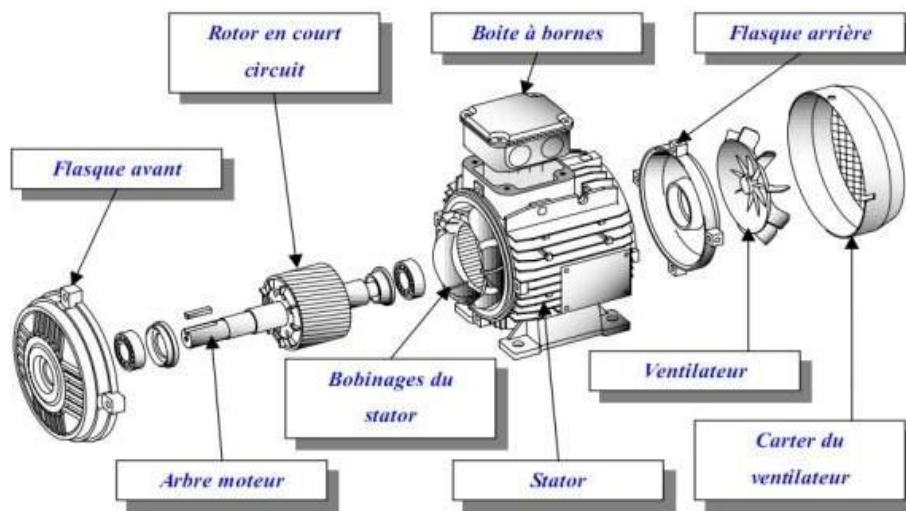
Le stator est un composant fixe qui présente des enroulements connectés à la source, tandis

que le rotor est monté sur un axe et libre de tourner [9].

Ces moteurs sont utilisés dans tous les domaines de puissance ; pour les grandes puissances, on utilise généralement des moteurs triphasés (polyphasés) et pour les petites puissances, on utilise des moteurs monophasés qu'on branche directement au réseau urbain [1].

### II.2.1-Constitution d'un moteur asynchrone triphasé

Les principaux éléments constituant le moteur asynchrone (en exemple à rotor cage d'écureuil) sont illustrés sur la **figure II.2**.



**Figure II 2: Vue éclatée d'un moteur asynchrone à rotor en court-circuit**

- a) **Boîte à bornes** : Elle renferme les bornes destinées aux différents couplages.
- b) **Arbre moteur** : Il sert à transmettre le couple mécanique.
- d) **Flasques** : Elles servent à positionner les paliers par rapport à la carcasse et protègent les organes internes du moteur.
- c) **Paliers** : Ils assurent le guidage en rotation et limitent le déplacement axial.
- e) **Ventilation** : Il sert à refroidir le moteur.

Parmi les principaux composants, on distingue le stator et le rotor.

### II.2.2- Stator

Le stator est constitué d'un empilage de tôles d'acier qui a la forme d'un cylindre. Les tôles comportent à leur périphérie intérieure des encoches dans lesquelles sont placées, à  $120^\circ$  l'un par rapport à l'autre, les enroulements d'un bobinage triphasé. Ces enroulements peuvent se raccorder en étoile ou bien en triangle selon la tension de réseau du moteur [5].



Figure II 3: Stator d'un moteur asynchrone

### II.2.3- Rotor

Le rotor est constitué d'une pile de tôles formant un cylindre plein ; ces tôles comportent à leurs périphéries extérieures des encoches destinées à recevoir les conducteurs. Un mince entrefer sépare le rotor du stator [5]. Les encoches rotoriques sont inclinées par rapport à l'axe longitudinal pour diminuer les harmoniques supérieures d'espace et réduire la réactance liée à la position de la variation angulaire rotor/stator. Toutefois, on reconnaît trois types de rotor :

#### II.2.3-1- Rotor bobiné

Aussi appelé rotor à bague, l'enroulement triphasé relié en étoile est connecté à trois bagues qui le rendent accessible de l'extérieur par l'intermédiaire des balais. On peut ainsi le court-circuiter comme cela se produit en marche normale, lui insérer des résistances dans le circuit lors du démarrage et dans certains cas spéciaux de fonctionnement ou y raccorder un convertisseur de courant à thyristors afin de régler le courant de démarrage et la vitesse en marche [10]. Mais ce type de moteur présente un équipement plus cher, un entretien fréquent, une perte de cuivre élevée.



**Figure II 4: Rotor bobiné d'un MAS**

### II.2.3.2- Rotor massif

Le rotor massif est constitué d'un bloc de matériaux ferromagnétique. Généralement on trouve deux types à savoir le rotor massif rainuré et rotor massif lisse.

Le premier, il s'agit d'un cylindre sur lequel ont été faites des découpes pour créer la saillance du rotor (voir **figure II.5**), l'autre il s'agit d'un cylindre lisse à sa surface pour favoriser

Le champ magnétique normal dans l'entrefer (voir **figure II.6**). Cette structure est la plus simple à fabriquer et donc aussi la plus économique. Elle est également la plus robuste due à sa constitution d'un seul bloc non assemblé. Elle est également pourvue de la meilleure tenue mécanique et au moins de ce point de vue elle est idéale pour un fonctionnement à haute vitesse.

Les inconvénients de ce rotor résident sur une faible densité de puissance, un rendement insatisfaisant et un mauvais facteur de puissance.

Dans le moteur à rotor massif, les courants de Foucault ne sont plus engendrés dans des conducteurs bien définis, mais dans une masse métallique. La perméabilité élevée et le calcul local des diverses grandeurs électriques sont nécessaires. Ainsi que, la résistance du rotor n'est plus celle d'une cage d'écureuil de valeur constante, mais c'est celle d'une masse métallique influencée par l'effet de peau.



Figure II 5: Rotor massif rainuré

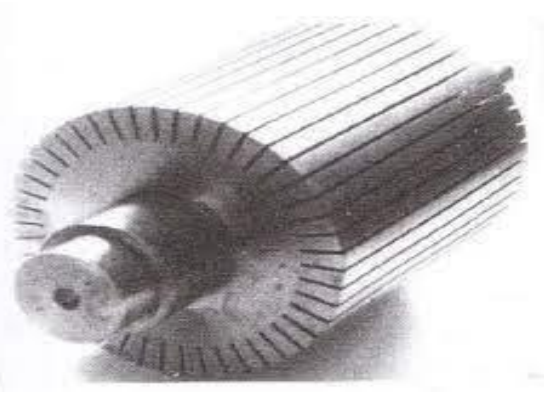


Figure II 6: Rotor massif lisse

### II.2.3.3- Rotor à cage d'écureuil

Ces rotors sont constitués de tôles ferromagnétiques et de barres conductrices régulièrement réparties à la périphérie du rotor. Les barres sont reliées entre elles par deux anneaux de court-circuit [2].

Les tôles ferromagnétiques servent à guider les lignes de champ, tandis que les barres accueillent les courants induits. Pour les moteurs de faibles puissances, les rotors sont réalisés à partir d'un empilement de tôles découpées et isolées les unes des autres (feuilletage) dans lesquelles on injecte un matériau conducteur de manière à constituer les barres ainsi que les anneaux de court-circuit. Pour les moteurs de forte puissance, les barres sont insérées dans le rotor puis les anneaux de court-circuit sont soudés aux barres [2].

Le matériau constituant les barres et ces anneaux sont généralement un alliage à base d'aluminium, mais on peut aussi le trouver en cuivre. Ce type est plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné et par conséquent d'un prix de revient inférieur est à une robustesse intrinsèquement plus grande. Il n'est donc pas étonnant qu'il constitue la plus grande partie du parc des moteurs asynchrone actuellement en service [13]. Dans ce contexte, on retrouve diverses formes et améliorations de ce type de rotor, on cite :



Figure II 7: Rotor à cage

- **Rotor à cage profonde :**

C'est une cage rotorique simple avec des barres très plates s'enfonçant profondément dans le circuit magnétique.

Lors du démarrage, les lignes de courant se concentrent près de la périphérie et tendent ainsi à assigner une section du conducteur apparente réduite et par conséquent une résistance rotorique importante. En revanche, en marche normale cet effet disparaît et les lignes du courant occupent la pleine section de la barre, retrouvant un circuit de faible résistance [10].



**Figure II 8: Toles magnétiques à double cage**

Ce type de moteur est très utilisé, notamment dans le cas de moteur à haute tension à fort couple de démarrages. Il présente l'inconvénient d'entraîner une augmentation du coefficient de dispersion des enroulements, donc une diminution du facteur de puissance du moteur, et bien sûr, d'exiger un diamètre de rotor plus important (profondeurs). Pour remédier à ce dernier inconvénient, on a parfois fait appel à des conducteurs ayant des formes plus compliquées, en trapèze, voire en L (la base de L étant en fond d'encoche) [10].

- **Rotor à double cage :**

C'est un moteur à rotor en court-circuit à deux cages. Son stator est identique à celui du moteur ordinaire, mais son rotor est à double cage d'écureuil. On distingue à cet effet :

Une cage extérieure située plus près de l'entrefer est en matériaux à grande résistivité, tels que le laiton, le bronze ou l'aluminium. Elle possède une faible dispersion magnétique (réactance de dispersion faible) [7]. Une cage intérieure en matériaux à faible résistivité, telle que le cuivre. Elle possède une grande dispersion magnétique, sa réactance de dispersion est beaucoup supérieure à celle de la cage extérieure.

Les deux cages sont séparées l'une de l'autre par des fentes étroites des encoches. Elles peuvent avoir un anneau de court-circuitage commun, ou chacune avec un anneau de court-circuit propre. Pratiquement, on utilise les moteurs à anneaux séparés, car les deux cages s'échauffent de manière différente au démarrage donc elles peuvent s'allonger librement et indépendamment [1].



Figure II 9: Tôle magnétique à double cage

### II.3- Principe de fonctionnement d'un MAS

Les trois enroulements statoriques alimentés par un réseau triphasé équilibré créent dans l'entrefer un champ magnétique tournant à la fréquence de rotation de synchronisme  $N_s$ . Les conducteurs du rotor sont soumis à ce champ tournant. Ils sont alors traversés par des courants de Foucault induits d'après la loi de Lenz (les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur donnent naissance). Les enroulements du rotor étant en court-circuit, la circulation des courants est alors possible. Les forces de Laplace qui en résultent exercent des moments sur le rotor. Le rotor tourne alors à la fréquence de rotation  $N_r$ . De par son principe, la fréquence de rotation du rotor est inférieure à la fréquence de synchronisme  $f_r < f_s$ .

C'est parce que le mouvement du rotor n'est pas synchrone de celui du champ que ce moteur dit asynchrone. Le point essentiel qui différencie les moteurs asynchrones des moteurs à courant continu est que seul l'enroulement primaire est alimenté par une source extérieure, le courant secondaire étant produit par induction comme dans un transformateur [16].

#### II.3.1- Glissement

Il existe une différence de vitesse de rotation entre le stator ( $\Omega_s$ ) et le rotor ( $\Omega_r$ ). Cette différence s'appelle le glissement. C'est la raison pour laquelle un moteur électrique fonctionnant suivant le principe que nous venons de décrire est appelé "moteur asynchrone". La différence entre la vitesse de synchronisme et celle du rotor est appelée "glissement" et s'exprime en % de la vitesse de synchronisme.

$$g = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s} \quad (I.1)$$

$\Omega_s$  : Vitesse angulaire de synchronisme.

$N_s$  : Vitesse du synchronisme du champ.

$\Omega_r$  : Vitesse angulaire de rotation du rotor.

$N_r$  : Vitesse de rotation du rotor.

### II.3.2- Avantages et inconvénients du MAS

#### II.3.2.1- Avantages

- Facile à construire ;
- Faible coût de fabrication ;
- Performant ;
- Robuste ;
- Entretien plus simple ;
- Pas de collecteur balais pour les moteurs à cage donc absence des problèmes liés à la commutation.

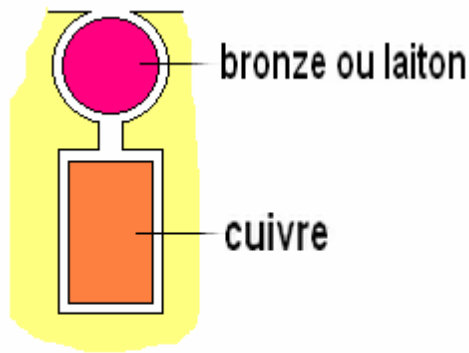
#### II.3.2.2- Inconvénients

- Dans des utilisations à vitesse variable le moteur asynchrone a besoin d'un outil de commande plus complexe par rapport à moteur synchrone ;
- Un couple de démarrage très faible, et un appel de courant très élevé 4 à 8 fois le courant nominal ;
- La vitesse dépend de la charge ;
- La structure dynamique est fortement non linéaire et l'existence d'un fort couplage[5].

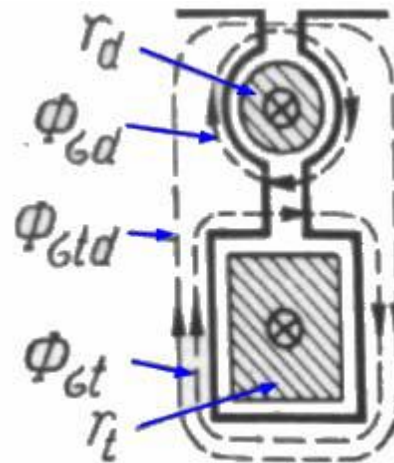
### II.4-Moteur Asynchrone à double Cage

Un moteur asynchrone à double cage est un type particulier de moteur électrique asynchrone, également connu sous le nom de moteur à cage d'écureuil à double cage. Il est utilisé dans certaines applications nécessitant un couple élevé de démarrage et une excellente capacité à supporter des chargés variables.

Le moteur à deux cages représente l'une des variantes des moteurs asynchrones à rotor en court-circuit ou on utilise le phénomène de refoulement du courant dans l'enroulement rotorique pour améliorer les propriétés de démarrage du moteur.



**Figure II 10: le stator d'un moteur à double cage**



**Figure II 11: cage supérieure du moteur à double cage**

Le stator d'un moteur à deux cages ne diffère pas de celui d'un moteur ordinaire mais son rotor est à double cage d'écureuil (Figure II.10). La cage supérieure située plus près de l'entrefer est en matériau à grande résistivité tel que laiton, bronze d'aluminium... etc. La cage inférieure est en cuivre rouge, les deux enroulements étant séparés l'un de l'autre par les fentes étroites des encoches.

Pour cette raison la cage inférieure a une grande perméance pour les flux de dispersion et la cage supérieure a une perméance relativement petite par suite de quoi la réactance de dispersion de la cage inférieure est beaucoup plus grande que celle de la cage supérieure.

La cage supérieure dans la partie qui se trouve dans le fer n'a pratiquement pas de flux de dispersion propre (Figure II.11) car le flux de dispersion  $\Phi_{\zeta td}$  qui embrasse les deux enroulements est déjà leur flux d'induction mutuelle et il est déterminé par la somme géométrique des courants passant par les barres supérieures et inférieures.

Les cages supérieures et inférieures peuvent avoir un anneau de court-circuitage commun (Figure II.12) ou chacun des enroulements peut avoir son anneau de court-circuitage propre (Figure II.13). Dans le premier cas l'anneau est parcouru par un courant égal à la somme géométrique des courants des deux enroulements, ce qui fait que le flux de dispersion de l'anneau et aussi le flux de leur induction mutuelle. Dans le second cas chacun des enroulements a son propre flux de dispersion des anneaux et un certain flux qui embrasse les deux anneaux. Pratiquement on utilise des moteurs à anneaux séparés (Figure II.13) car dans ce cas les barres des deux cages qui s'échauffent de façon différente au démarrage peuvent s'allonger librement et indépendamment.

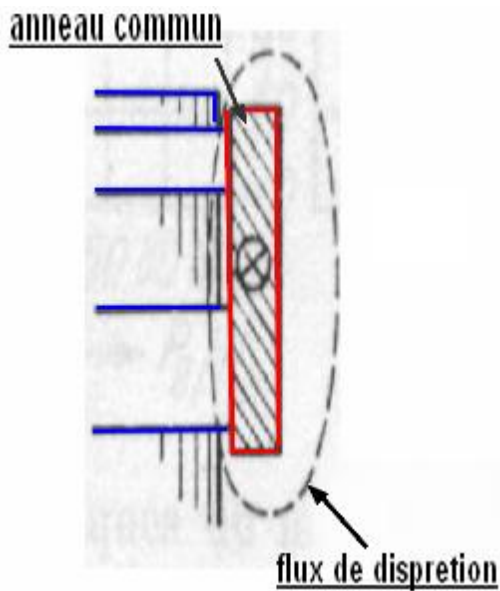


Figure II 12: anneau de court-circuitage commun

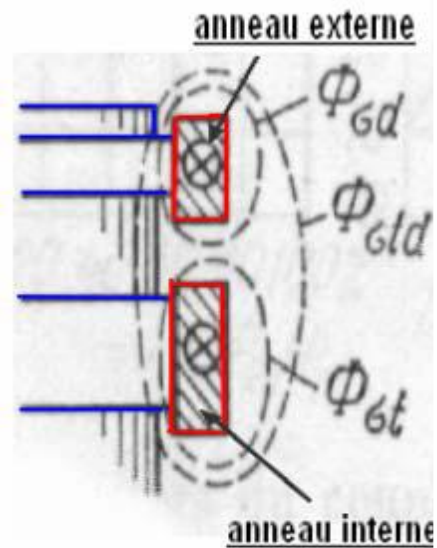


Figure II 13: anneau de court-circuitage propre

Les moteurs à deux cages remplis d'aluminium sont à encoches de forme (Figure II.14). Dans ce cas la grande résistance de la cage supérieure est obtenue seulement par la diminution de sa section, ce qui ne présente pas de danger du point de vue thermique car les deux enroulements sont réunis par une couche d'aluminium qui remplit aussi la fente entre les enroulements.

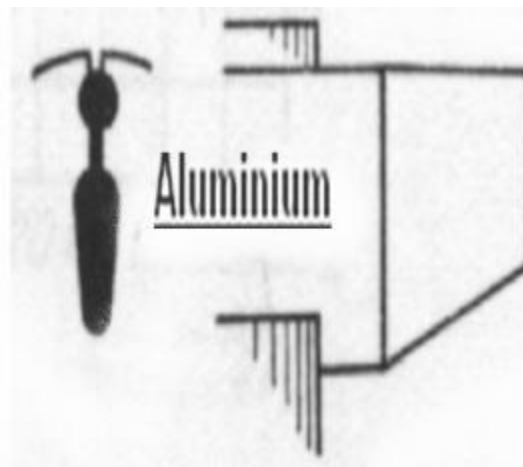


Figure II 14: encoches à M.D.C rempli d'aluminium

### II.5- Principe de fonctionnement d'un moteur à double cage

Lors du démarrage la fréquence du courant dans le rotor est grande et égale à la fréquence du réseau. Le courant se répartit entre les enroulements supérieurs et inférieurs en raison inverse de leurs impédances et vu que l'enroulement inférieur a une très grande inductance, son impédance est beaucoup plus grande que celle de la cage supérieure dont l'inductance propre est pratiquement nulle.<sup>[1]</sup>

Le courant dans la cage inférieure est beaucoup plus petit que celui de la cage supérieure, par suite de la grande réactance de dispersion de la cage inférieure, son courant retarde d'un grand angle sur la F.E.M induite par le flux d'induction mutuelle et pour cette raison au démarrage cet enroulement crée un couple moteur relativement petit. Inversement, au démarrage le courant dans la cage supérieure est grand par suite de la faible inductance et de la grande résistance de cette cage il est presque en phase avec la F.E.M. D'induction mutuelle, c'est pourquoi cet enroulement crée un très grand couple moteur.

Ainsi, pendant le démarrage le couple moteur est développé surtout par la cage supérieure et pour cette raison elle est appelée cage de démarrage.

Au fur et à mesure que la vitesse du moteur augmente, la fréquence du courant dans l'enroulement rotorique diminue. Il en résulte une diminution de l'inductance de la cage inférieure et un accroissement du courant qui y circule avec une diminution correspondante à l'angle de déphasage du courant par rapport à la tension. Cette cage commence donc à créer un couple moteur de plus en plus grand.

Lorsque le moteur développera sa vitesse nominale et aura un très faible glissement  $g$ , l'inductance de la cage inférieure deviendra négligeable par rapport à sa résistance. Dans ce cas le courant total du système secondaire du moteur se divisera entre les enroulements en raison inverse de leurs résistances et vu que l'enroulement supérieur a une résistance de 5 à 6 fois plus grande que la résistance de l'enroulement inférieur, le courant dans la cage supérieure devient inférieur à celui de la cage inférieure.

Il en résulte que le couple moteur est pratiquement créé dans ce cas par la cage inférieure. Pour cette raison la cage inférieure est appelée cage de travail.

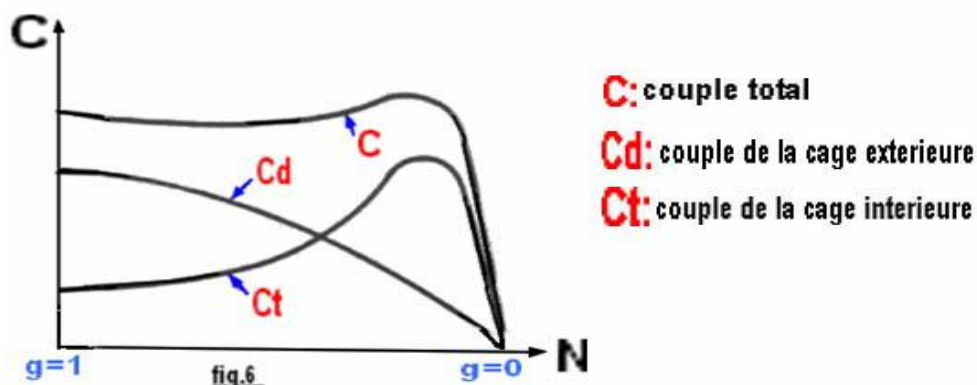


Figure II 15: représenté le diagramme corrigé des couples des cages supérieures et inférieures ainsi que le couple total du aux deux cages

## II.6-Le circuit équivalent du moteur

$R_1 = 0.048 \Omega$ ,  $X_1 = 0.71 \Omega$ ,  $X_m = 19 \Omega$ .

$X'_2 = 1.07 \Omega$ ,  $R'_2 = 0.058 \Omega$ .

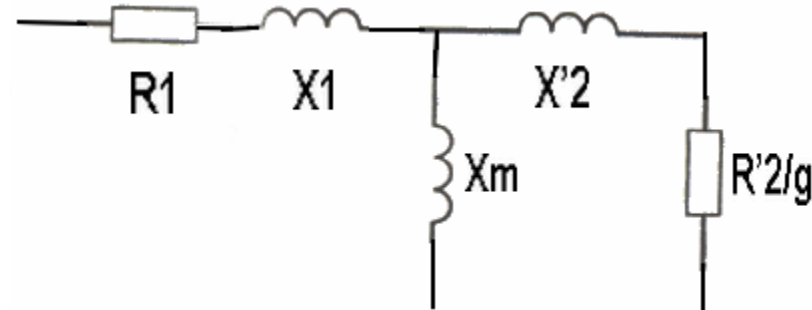


Schéma équivalent du MAC double cage

$X_m$  : réactance d'aimantation.

$R_1$  : résistance du stator.

$X_1$  : réactance de fuite du stator

$R'_2$  : résistance du rotor.

$X'_2$  : réactance de fuite du rotor. (Voir annexe 2).

## II.7- Les caractéristiques du moteur (pompe EDM)

C'est un moteur asynchrone triphasé à rotor double cage d'écureuil indiqué pour les usages intensifs et les conditions atmosphériques dangereuses, du fait de sa simplicité de conception des rotors en court-circuit qui leur confère une grande robustesse mécanique et électrique, en plus de l'absence de balais, ces deux particularités concourent à une maintenance des plus réduites.

Sert à avoir un couple de démarrage élevé, pèse à peu près 40T, d'une dimension de 5 x 4.4 x 4.5m, d'une puissance de 4.6 MW, alimenté par une tension de 5.5 kV et sa vitesse de rotation est de l'ordre 333 tr/min,  $\cos(\varphi) = 0.82$ ,  $f = 50 \text{ HZ}$ , le rendement du moteur égale à 95%. (Voir annexe 3) voir la figure suivante :

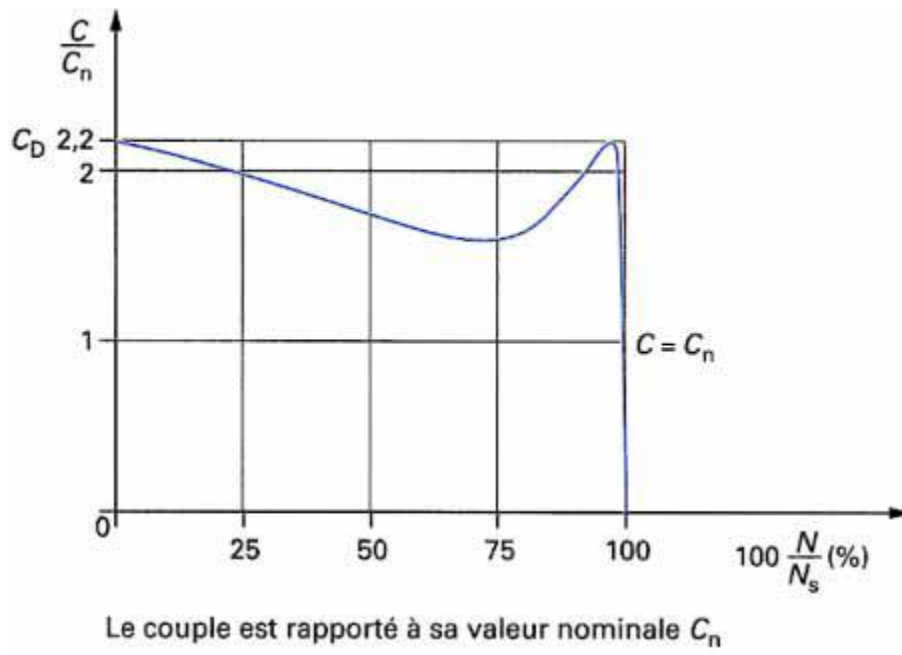
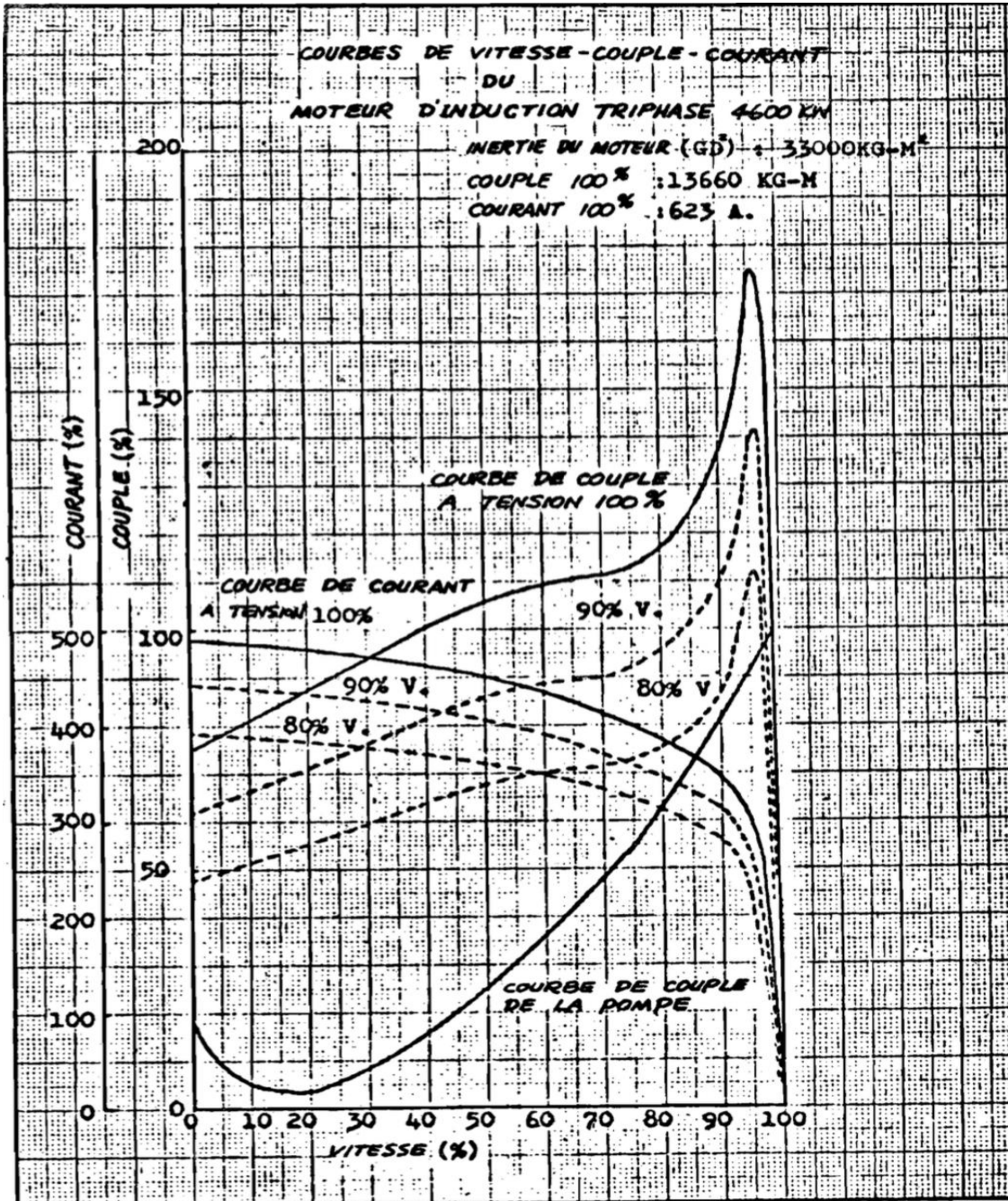


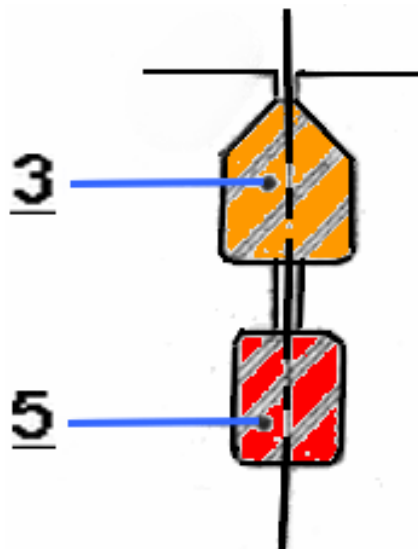
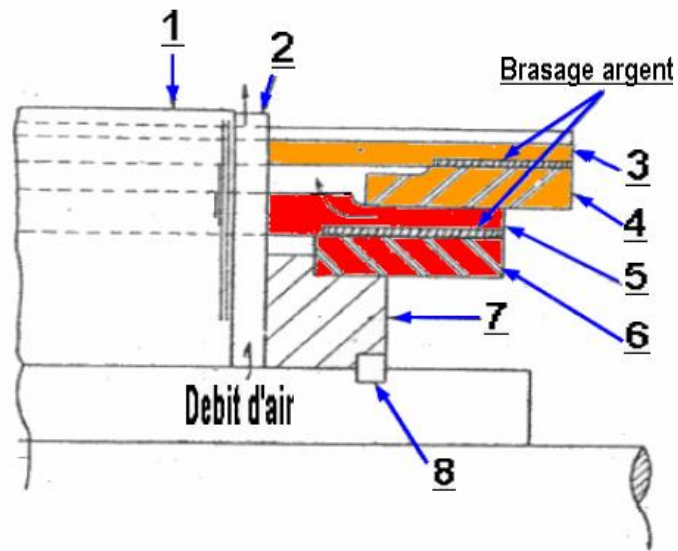
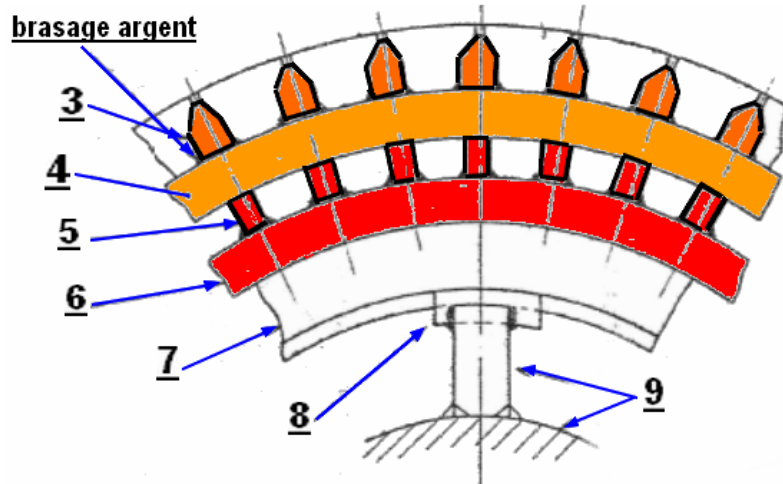
Figure II 16: Couple en fonction de la vitesse

- Courbe de vitesse – couple – courant pour le moteur 4600 KW :





II.8-Détail du rotor de la motopompe (EDM)



## Chapitre II : Etude du Moteur de la Pompe (EDM)

N°	Organe	Matériaux	N°	Organe	Matériaux
1	Rotor cœur	Acier de silicium	6	Anneau bas	Cuivre
2	Fin spacieuse	Acier laminé	7	Bague de rotor de serrage de base	Acier laminé
3	Barre supérieure	Alliage de cuivre	8	Clé	Acier laminé
4	Bague supérieure	Alliage de cuivre	9	Arbre	Acier au carbone
5	Barre inférieure	Cuivre			



**Figure II 17: Vue du rotor de la motopompe (EDM)**

**Poids Rotor : 12000 Kg**

### II.9- Détail du stator du moteur de la pompe EDM

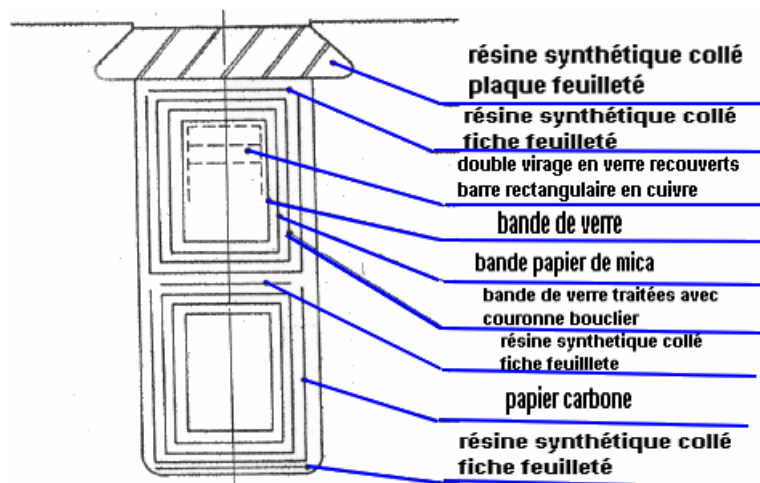
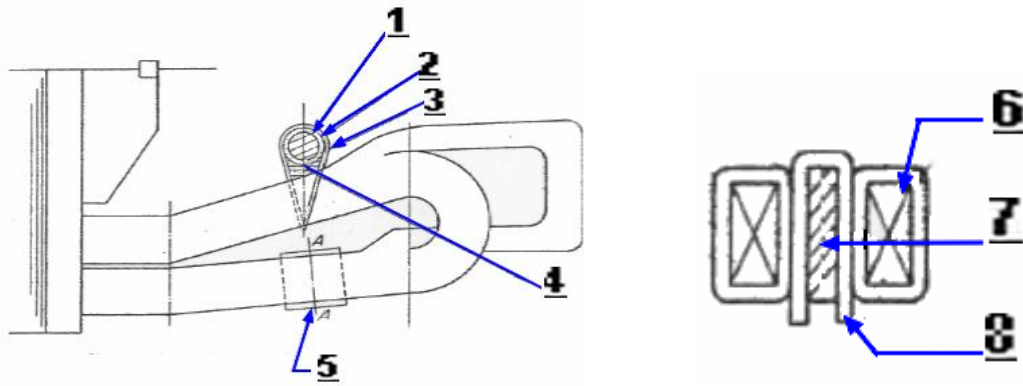


Figure II 18: Détail de l'isolation de Bobinage du Stator

Nombre d'encoche total : 216.

Nombre d'encoche par phase : 72.

### II.9.1- Calage du bobinage Statorique



1	Anneau d'arrimage en acier
2	Bonde d'isolation en verre
3	Fil de verre contraignant
4	Résine synthétique collée feuilletée
5	Forme spacieuse
6	Bobinage du stator
7	Résine synthétique collée feuilletée de bord
8	Synthétique non-tissé tissu

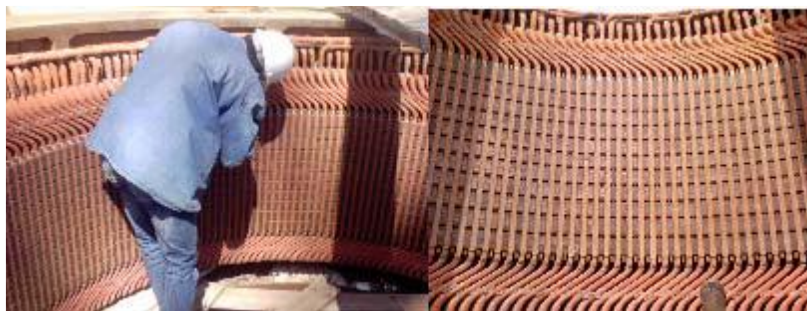


Figure II 19: Le stator du moteur

Poids Stator : 27500 Kg

### II.10-Batterie de condensateurs

Les caractéristiques de couple des moteurs asynchrones à cage sont particulièrement bien adaptées aux machines telles que les pompes. Toutefois, un inconvénient inhérent à tous ces moteurs réside dans leur facteur de puissance relativement bas d'ordre 0.83 pour notre cas et qui décroît lorsqu'ils travaillent à faible charge. Puisque la puissance du moteur asynchrone est importante 4.6 MW, il a été nécessaire de mettre en œuvre une compensation individuelle de la puissance réactive.

Cette compensation est réalisée par des batteries de condensateurs couplées en double étoile d'une puissance de 1.8 MVAR.

Pour les pompes d'eau de mer, la marche avec capacité permet une réduction de la consommation du courant d'environ 100 A pour chaque pompe. Rappelons qu'une pompe d'eau de mer consomme une intensité d'environ 570 A et le facteur de puissance 0.83 sans capacité en service. Dès la mise en service de la capacité le facteur de puissance s'améliore de (0.83 à 0.96).

Notant que chaque capacité d'eau de mer est composée de deux branches montées en étoile la première branche est constituée de trois éléments alors que la seconde est constituée en six éléments.

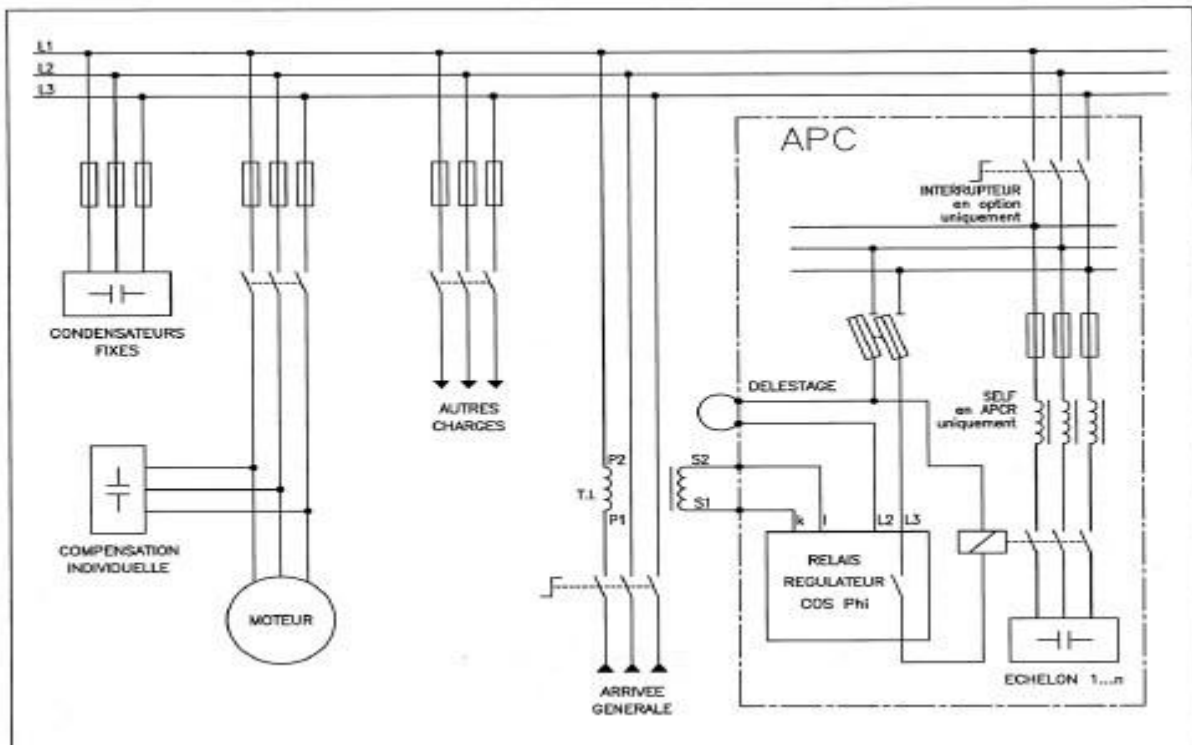
Les capacités des motopompes d'eau de mer procurent plusieurs avantages techniques et économiques favorisant leur utilisation à savoir :

- Augmentation de la puissance disponible au secondaire des transformateurs.
- Diminution de la chute de tension dans les lignes d'alimentation des pompes d'eau de mer.
- Diminution des échauffements des câbles pour une puissance active constante.
- Diminution des factures d'électricité par suppression des consommations excessives d'énergie réactive.



Figure II 20: Image d'un élément de condensateur

Il est signalé que chaque élément de condensateur est constitué d'un ensemble d'éléments immergés dans un bain d'huile. Cette huile permet d'isoler les éléments pour éviter le claquage



sous tension 5500 volts.

Figure II 21: Représentation schématique d'une batterie de condensateurs pour pompe EDM

### II.10.1-Incidence sur les capacitances : complexe (GNL2/Z)

- Lors de notre stage pratique, un incident de ce type s'est arrivé.

#### II.10.1.1-Conséquences directes de l'incident sur l'exploitation

- Explosion de la batterie de condensateurs avec déclaration de feu.
- Prise de feu sur les parties externes des câbles de puissance des batteries de condensateurs.
- Aucune incidence sur la production.

#### II.10.1.2- Cause de l'incident

La dégradation de la rigidité diélectrique de l'huile isolante est un phénomène courant pour ces équipements. Ce problème s'accroît davantage par le phénomène de décharges partielles provoquant des dégagements de gaz qui augmentent la pression interne au sein de l'élément de la capacité conduisant ainsi à l'explosion et la prise du feu sur l'ensemble des éléments et le câblage voisinant avant qu'il soit maîtrisé totalement par les agents de l'intervention.

L'amorçage interne au sein d'un élément (au moins) de la capacité d'eau de mer sous l'effet de la dégradation de la rigidité diélectrique de l'huile isolante et de défaut interne non détecté d'un élément.

Les informations relevées du site ont permis de constater que le relais de verrouillage n'était pas excité. Ce relais devait recevoir normalement, un ordre pour déclencher le contacteur de puissance de la capacité à partir du relais différentiel.

Lorsqu'un condensateur interne d'un élément d'une branche se met en défaut, le courant absorbé par cet élément augmente, néanmoins ce défaut interne reste indétectable par les protections de surintensité, il entraîne alors un effet d'avalanche qui conduit à la destruction progressive des autres condensateurs internes puis l'élément lui-même.

- **Remarque importante** : après cet incident les six pompes (EDM) sont mises en service sans batteries de condensateurs ce qui est mauvais pour le réseau GNL2/Z car elles ont été touchées par l'explosion et aussi les câbles de puissance des batteries de condensateurs ont été brûlés.

### II.11-Procédure de démarrage de la pompe EDM

Le moteur représente une grande charge et puisqu'il est à démarrage direct, les concepteurs du réseau ont mis au point une procédure détaillée et précise à respecter dans les différents cas suivants :

- La mise en service du moteur après un arrêt de moins de 24 heures.
- La mise en service du moteur après un arrêt de plus de 24 heures.
- L'arrêt.

### II.12- Résumé

Dans ce chapitre, nous avons effectué une étude détaillée du moteur de la pompe EDM, cet équipement est stratégique pour l'alimentation EDM du complexe. Nous avons souligné aussi l'importance de la batterie de condensateurs et mis en évidence l'incident de la batterie, sans oublier la procédure de démarrage de la motopompe EDM.

*Chapitre III :*  
*La protection de la motopompe*  
*(EDM)*

### III.1- Introduction

Une « protection moteur » regroupe l'ensemble des dispositifs permettant d'éviter des détériorations. Les moteurs électriques importants inhérents à des conditions anormales de fonctionnement au niveau alimentation, moteur ou process. Le choix des protections à installer se fait en fonction :

- Des conditions d'exploitation.
- De l'importance du service assuré par le moteur.
- Du degré de sûreté recherché.
- Du coût relatif de la protection vis-à-vis du moteur, de la probabilité d'apparition des défauts considérés.

Mais aussi :

- Du type de charge entraînée.
- Des perturbations pouvant apparaître sur le réseau.
- Du type de moteur protégé.

Ainsi, les défauts listés ci-dessous peuvent faire l'objet d'une protection.

### III.2-Principaux types de défauts moteurs asynchrones

- Surcharges (code ANSI (49)).
- Court-circuit (code ANSI (50)).
- Déséquilibre perte de phase (code ANSI (46)).
- Défaut d'isolement entre spires (code ANSI (87)).
- Masse stator (code ANSI (50 N, 51 N)).

« ANSI » : « American National Standards Institute »

- Minimum de tension (code ANSI (27)).
- Maximum de tension (code ANSI (59)).
- Démarrage incomplet ou trop long (code ANSI (48)).

**Autres défauts liés au process ou à la charge :**

- Démarrages trop fréquents (code ANSI (66)).
- Blocage rotor (code ANSI (51LR)).
- Minimum de puissance ou de courant (code ANSI (37)).

#### III.2.1-La surcharge (49)

- **Causes** : augmentation du couple résistant de tension.
- **Conséquences** : échauffement des conducteurs Statorique, vieillissement des isolants, une augmentation de 5% du courant, équivalente à une élévation de température d'environ + 10° diminue de moitié la durée de vie des enroulements.
- **Principes de protection** : elle peut être détectée par des relais à maximum d'intensité à temps inverse, des relais à image thermique ou encore des sondes thermiques. Les relais traitent l'information « courant absorbé par le moteur », lequel est généralement capté

par des transformateurs de courant. Les sondes thermiques sont insérées dans les parties actives du moteur.

- **Les relais à maximum d'intensité à temps inverse** : leur emploi nécessite :
  - Soit une courbe de fonctionnement  $I(t)$  autorisant le démarrage, soit un dispositif de blocage du relais pendant le démarrage.
  - Un seuil de fonctionnement  $I_0$  voisin du courant nominal  $I_n$  du moteur environ  $1.10 I_n$  mais ces relais ne gardent pas la mémoire des surcharges.
- **Les relais à image thermique** : ces relais sont certainement les mieux adaptés, car ils permettent d'utiliser au maximum les possibilités de la surcharge du moteur sans entraîner de détérioration.

La courbe de fonctionnement  $I(t)$  du relais doit permettre le passage du courant de démarrage sans déclenchement et être agréée par le constructeur du moteur.

- **Les sondes thermiques** : Ce sont des résistances dont la valeur ohmique varie avec la température. En principe, ces dispositifs ne sont pas utilisés seuls, ils doublent les relais utilisant le courant absorbé comme moyen de mesure. La surcharge due à l'échauffement d'un palier est, en principe, insuffisante pour être détectée par les relais de surcharge. La protection des paliers doit être assurée par des thermostats ou des sondes thermiques.

### III.2.2- Court-circuit (50)

- **Causes** : mise en contact de plusieurs phases ou phase masse ou de plusieurs spires.
- **Conséquences** : destruction des enroulements, incendie... etc.
- **Principes de protection** : Sur les équipements à disjoncteur, les courts-circuits sont détectés par des relais à maximum d'intensité à fonctionnement instantané, réglés au-dessus du courant de démarrage. Sur les équipements à contacteurs plus fusibles, les courts-circuits sont éliminés par les fusibles. Toutefois, une solution intéressante consiste à associer aux fusibles, des relais à maximum d'intensité légèrement temporisés. Cette disposition permet l'utilisation du conducteur jusqu'à son pouvoir de coupure.

### III.2.3- Coupures, inversion et déséquilibres de phases (46)

- **Causes** : extérieur du moteur : disjoncteur deux phases fermées une ouverte... etc.
- **Conséquences** : inversion du sens de rotation, diminution du couple utile, échauffement anormal des conducteurs : claquage d'isolants.

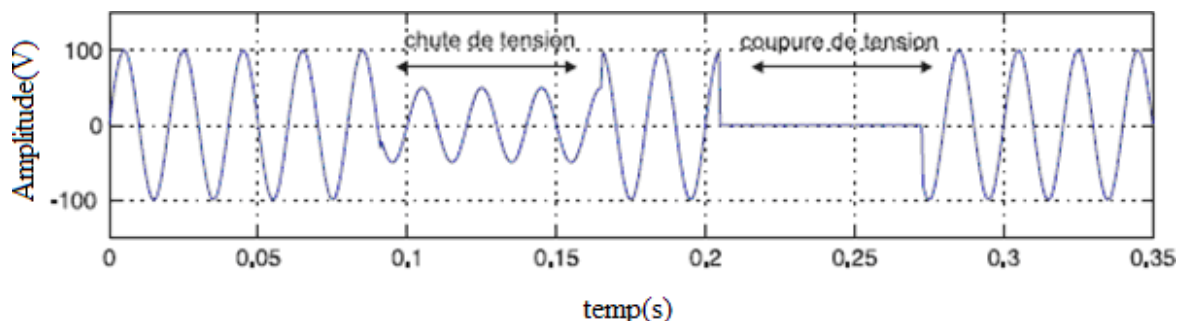
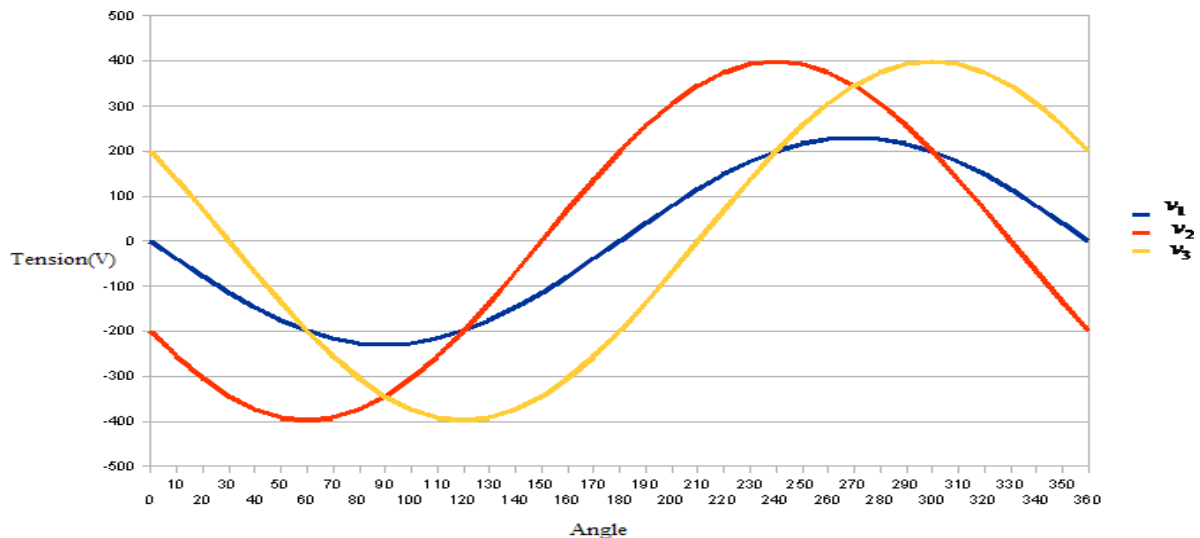


Figure III. 1: Exemple d'un creux et d'une coupure brève de tension



**Figure III. 2: Relevé de tensions d'un système triphasé déséquilibré**

- **Principes de protection** : Ces défauts sont détectés grâce à un filtre qui met en évidence les composantes inverses. La surveillance de la coupure d'une phase ou d'un déséquilibre est important car ces défauts provoquent :

- Dans le stator, une augmentation de courant.
- Dans le rotor, un échauffement supplémentaire par effet joule, dû au fait que tout régime déséquilibré se traduit par l'apparition de courants inverses parcourant le rotor à deux fois la fréquence d'alimentation.

Tandis que l'inversion de phases est détectée soit par les courants, soit par les tensions :

- Par les courants : cette inversion est vue après la fermeture du contacteur, la machine entraînée subit le défaut.
- Par les tensions : elle permet d'interdire éventuellement la fermeture du contacteur si le réseau n'a pas son ordre normal de succession des phases.

### III.2.4-Défaut d'isolement dans le bobinage (87)

- **Cause** : défaut isolement des conducteurs du moteur.
- **Conséquences** : destruction d'un bobinage du stator.
- **Principes de protection** : Les enroulements statoriques sont susceptibles d'être le siège de défauts entre spires d'une même phase ou entre enroulements de phases différentes. Pour la réaliser, le moteur doit avoir les extrémités de ses enroulements, coté neutre, accessibles. Les défauts sont décelés en comparant les courants d'entrée et de sortie d'une même phase.

En l'absence de défaut, ces courants sont identiques et le relais de protection n'est pas sollicité. Il déclenche lorsque la différence entre ces courants atteint une valeur fixée par le réglage du relais.

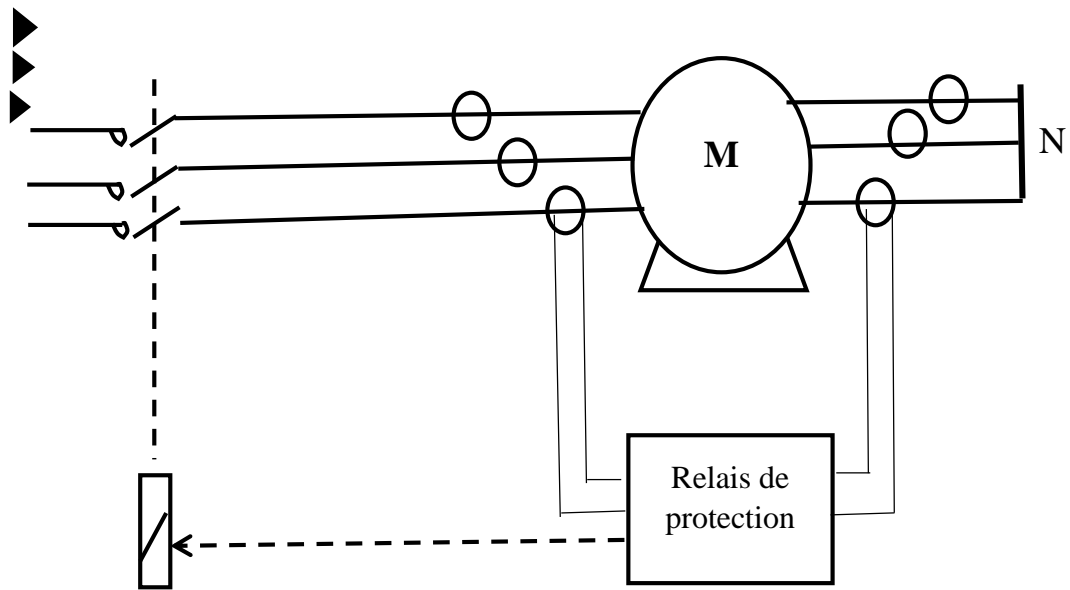


Figure III. 3: Schéma d'une protection différentielle longitudinale

### III.2.5- Masse stator (50 N/ 51 N)

- Cause : défaut isolement.
- Conséquences : neutre à la terre : dégradation de l'isolation.

Neutre isolé : sont conséquences immédiates.

Cette protection est indispensable pour répondre aux normes relatives à la protection des travailleurs. Son choix doit être fait en fonction du régime du neutre du réseau alimentant le moteur.

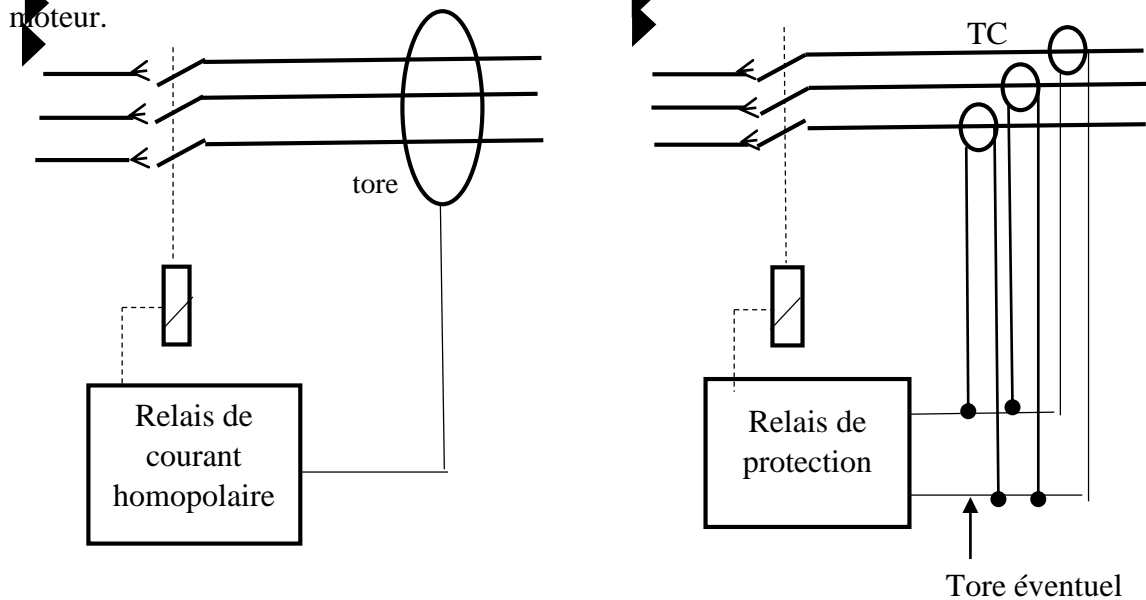


Figure III. 4: Schéma d'une protection homopolaire stator avec capteur torique ou TC + neutre à la terre ou impédant

- Protection d'un moteur alimenté par réseau avec :

### II.2.5.1- Neutre à la terre ou impédant

La détection du défaut est faite par la mesure du courant homopolaire qui s'établit entre la phase en défaut et la masse du réseau. Cette mesure est faite par des relais à maximum d'intensité à seuil bas. Le courant homopolaire est délivré par trois transformateurs de courant en parallèle ou de préférence par un tore.

Ce dernier évite l'apparition d'une fausse composante homopolaire due à la saturation inégale des transformateurs de courant au démarrage du moteur et autorise un seuil de fonctionnement relativement bas. Ces relais doivent fonctionner pour une valeur du courant de défaut telle que le potentiel des masses par rapport à la terre ne soit jamais porté à plus de 24 V en milieu conducteur, masses interconnectées ou 50 V dans les autres cas d'installation.

La détermination de ce point de réglage nécessite par conséquent la connaissance de la valeur des prises de terre et du schéma d'interconnexion des masses. Si les masses ne sont pas interconnectées, la valeur du seuil de fonctionnement est donnée par :  $IF \ 24 \text{ ou } 50 \text{ V} / RTM$  (RTM étant la valeur de la résistance de terre de la masse considérées).

A noter que plus le seuil sera bas, plus la détection sera précoce et plus le risque de détérioration des circuits magnétiques seront faible.

### II.2.5.2- Neutre isolé

La détection du défaut est faite par la mesure permanente de l'isolement global du réseau par rapport à la terre à l'aide de dispositifs à injection de courant continu comme les contrôleurs permanents d'isolement, ou par des relais à maximum de tension homopolaire délivrée par trois transformateurs de potentiel avec secondaire en triangle ouvert.

### III.2.6-Minimum de tension (27)

- **Causes** : instabilité de la tension du réseau, branchement de fortes charges.
- **Conséquences** : échauffement des conducteurs, diminution du couple utile et augmentation des pertes.
- **Principes de protection** : Cette protection est relativement fréquente, elle évite au moteur de travailler en surcharge et d'attendre le déclenchement par la protection surcharge. D'autre part, si la bobine du contacteur est alimentée par une source auxiliaire B. T ne venant pas du réseau, la protection à minimum ou à manque de de tension à accrochage devient indispensable pour éviter une mise en route non contrôlée au retour de la tension.

L'information « tension » est donnée par un transformateur de potentiel et traitée par un dispositif à seuil et temporisable.

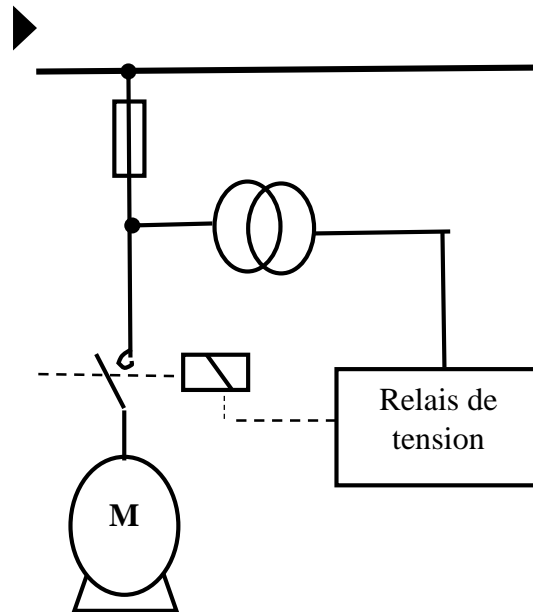


Figure III. 5: Schéma de la protection mini de tension

### III.2.7-Maximum de tension (59)

- **Causes** : atmosphérique (coup de foudre), décharge électrostatique, Manœuvre d'appareils connectés au même réseau... etc.
- **Conséquences** : risque de claquage, destruction du moteur.

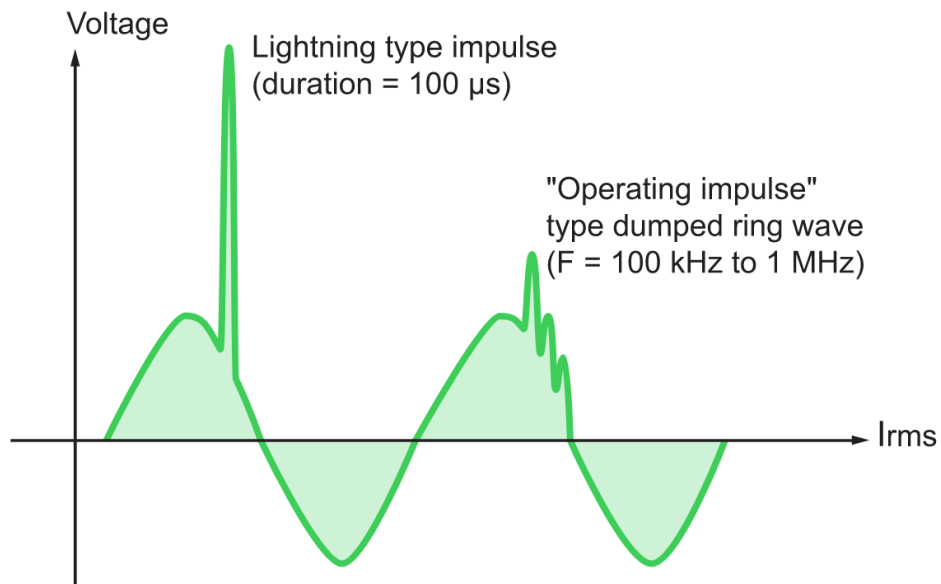


Figure III. 6: Exemple de surtension

- **Principe de protection** : cette protection est à prévoir lorsque des fortes variations peuvent se produire sur le réseau d'alimentation. Elle évite d'attendre le fonctionnement des relais de surcharge car un maximum de tension se traduit par une surintensité du

moteur et un accroissement du couple moteur pouvant être néfaste pour la machine entraînée.

### III.2.8- Démarrage incomplet ou trop long (48)

- **Causes** : couple résistant trop important baisse de tension.
- **Conséquences** : augmentation du temps de démarrage, échauffement important des conducteurs et vieillissement des isolants.
- **Principes de protection** : cette protection se justifie pour un démarrage en plusieurs temps. Elle est réalisée par un relais temporisé mis en route au début du démarrage et éliminé à la fin. La grandeur contrôlée peut être la vitesse ou le courant. L'utilisation prolongée du système de démarrage calculé pour fonctionner pendant un temps donné est ainsi évitée.

### III.2.9-Démarrages fréquents

- **Causes** : le personnel.
- **Conséquence** : destruction du bobinage.
- **Principe de protection** : un très grand nombre de démarrages dans un temps déterminé peut conduire à la détérioration du moteur si celui-ci n'est pas dimensionné pour ce service.

Cette protection est réalisée par un relais qui assure des fonctions de comptage et de temporisation et limite automatiquement :

- Soit le nombre de démarrages dans un intervalle de temps donné.
- Soit l'espacement de ces démarrages dans le temps.

### III.2.10- Blocage rotor (51 LR)

- **Causes** : problème mécanique.
- **Conséquence** : sur échauffement des conducteurs statoriques et du rotor.
- **Principes de protection** : le blocage d'un moteur pour une cause mécanique, provoque une surintensité sensiblement égale au courant de démarrage. L'échauffement qui en résulte est beaucoup plus important car les pertes dans le rotor sont maintenues à leurs valeurs maximales durant tout le blocage et la ventilation est supprimée si celle-ci est liée à la rotation du rotor. En conséquence, lorsque ce défaut mécanique risque de se produire, la protection « blocage rotor » est nécessaire car les relais de surcharge répondent parfois avec un temps trop long.

La détection des défauts est faite par un relais ampère métrique réglé à une valeur inférieure au courant de démarrage qui est validée après une temporisation démarrée à la mise sous tension du moteur, cette temporisation est réglée à une valeur supérieure ou égale à la durée normale du démarrage.

### III.2.11-Minimum d'intensité ou de puissance (37)

- **Causes** : problème process.
- **Conséquence** : mauvais rendement... etc.
- **Principes de protection** : cette unité à minimum de courant de séquence directe, une valeur comprise entre 15 % et 40 % du nominal pendant plus de 3 secondes, dénotant la marche à vide, caractéristique que du désamorçage des pompes.

Une pompe en se désamorçant se détériore. Lorsque ce fonctionnement se produit, il provoque une diminution de la puissance active absorbée par le moteur. Un relais à minimum de courant protège contre ce défaut.

### III.3-Départ de la pompe EDM

Actuellement le départ est protégé par 03 relais fourni par l'entreprise CEE qui sont :

- **IMM7990** qui assure les protections (49, 66, 51 LR, 50, 46, 51N).
- **IAG7034** qui assure la protection (87) code ANSI.
- **TTG7113** qui assure la protection (27) code ANSI.

Lors d'une perturbation, les relais de protection détectent le défaut et attaquent le disjoncteur de départ pour isoler le moteur du réseau 5.5 kV.



- **L'IMM7990** qui regroupe plusieurs fonctions de protection est un relais semi numérique qui date de près d'une vingtaine d'année. Le progrès réalisé dans la technologie du numérique rend ce relais presque dépassé.
- **L'IAG7034** et le **TTG7113** utilisent tous les deux des technologies classiques dépassées puisque le premier est électromécanique et le deuxième est transistorisé, ainsi tous les deux posent le problème d'indisponibilité sur le marché.

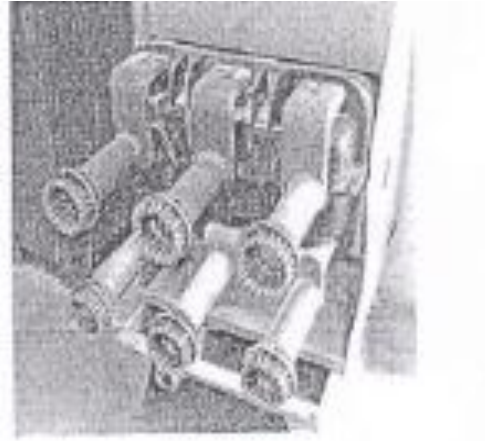
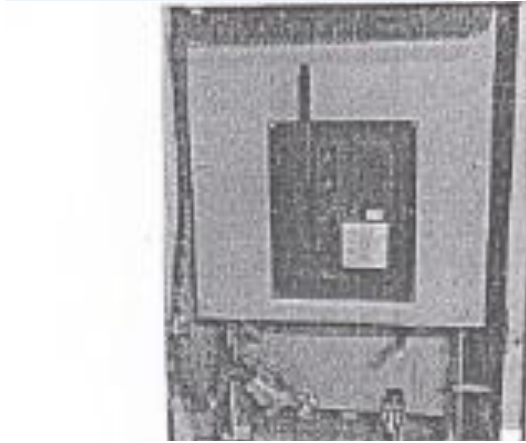
**ANSI** : « American National Standards Institute »

### III.4-Disjoncteur de départ

Le disjoncteur qui protège le moteur est de type SF6 de Merlin Gerin (Schneider Electric) de 7.2 KV 1250A qui utilise la technique d'auto expansion pour l'extinction de l'arc électrique. Les trois pôles des disjoncteurs sont intégrés dans une enceinte fermée et scellée rempli de SF6 à une pression de 1.5 bar.

Le disjoncteur est équipé d'un mécanisme d'accumulation d'énergie dans des ressorts, et des dispositifs d'ordre d'ouverture et de fermeture.

Il est associé à un ensemble qui lui permet de protéger convenablement le moteur, composé de transformateurs de courant avec un rapport de transformation de 800A/5A,



transformateurs de tension 5500V/100V et des relais de protection.

**Figure III. 7: Face avant du disjoncteur**

**Figure III. 8: Face arrière du disjoncteur**

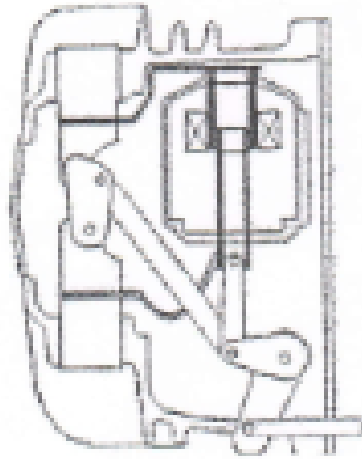
Durée de fonctionnement :

- Coupure : 70 ms.
- Fermeture : 65 ms.

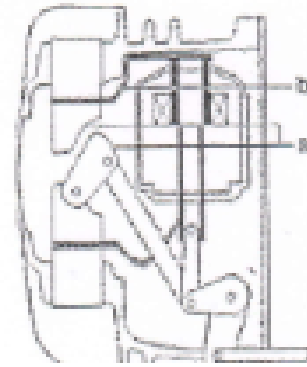
### III.4.1-Principe de coupure : auto-expansion

Les disjoncteurs LF utilisent le principe de l'auto-expansion du gaz SF<sub>6</sub>. Cette technique est l'aboutissement d'une forte expérience en technologie SF<sub>6</sub> et d'un effort important de recherche. Elle associe l'effet d'expansion thermique à l'arc tournant pour créer des conditions de soufflage et d'extinction de l'arc. Cela permet de réduire l'énergie de commande et l'érosion des contacts d'arcs, les durées mécaniques et électriques s'en trouvent accrues.<sup>[4]</sup>

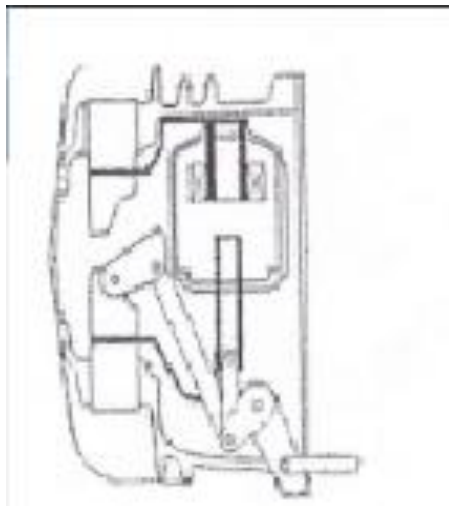
La séquence de fonctionnement d'une chambre de coupure à auto-expansion dont la partie mobile est mue par la commande mécanique est la suivante :



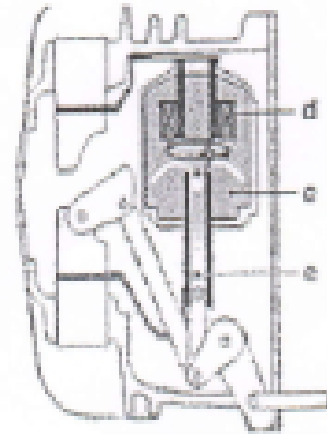
1. Le disjoncteur est fermé



2. Suite à un ordre d'ouverture, les contacts principaux se séparent (a) et le courant est dérivé dans le circuit de coupure (b).



4. Le disjoncteur est ouvert.



3. A la séparation des contacts dans le volume d'expansion ( c) il apparait un arc électrique celui-ci tourne sous l'effet du champ magnétique créer par la bobine (d) parcourue par le courant à couper, la surpression produite par la montée en température du gaz dans le volume d'expansion ( c) provoque un écoulement gazeux soufflant l'arc à l'intérieur du contact d'arc tubulaire (e), entraînant son extinction au passage à zéro du courant.

### III.5-Les relais de protection utilisés



Figure III. 9: Les relais de protection (motopompe eau de mer)

#### III.5.1.-Relais IMM7990

##### III.5.1.1-Introduction

Les relais IMM 7990 sont destinés à assurer la protection électrique des moteurs HTA ainsi que des moteurs BT de forte puissance.

Ce relais semi numérique est prévu pour la protection des moteurs commandés par disjoncteur.

L'IMM7990 regroupe plusieurs fonctions et assure les protections suivantes :

- Surcharge thermique (alarme et déclenchement) (49).
- Limitation du nombre de démarrages (66).
- Blocage rotor (51LR).
- Court-circuit (50).
- Déséquilibre/perte de phase (46).
- Homopolaire (50N/51N).

III.5.1.2-Schéma de fonctionnement simplifié de l'IMM7990

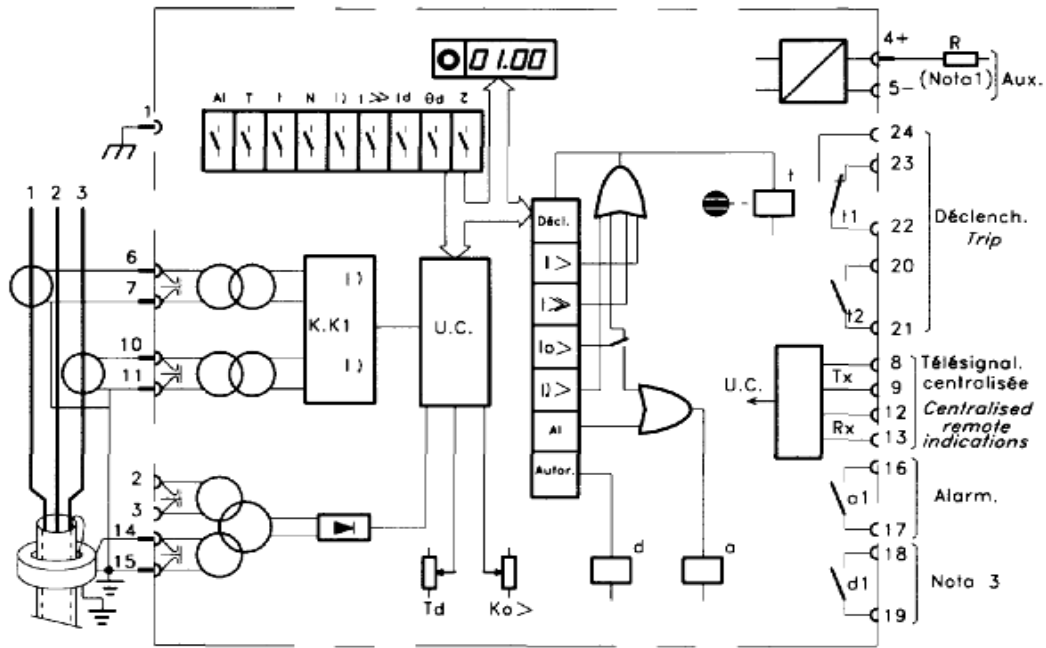


Figure III. 10: Schéma de fonctionnement simplifié de l'IMM7990

**R** : résistance extérieur fournie par le fournisseur.

**d1** : doit être câblé dans la chaîne d'enclenchement (fermé lorsque l'IMM autorise le démarrage).

III.5.1.3-Face avant de l'IMM7990

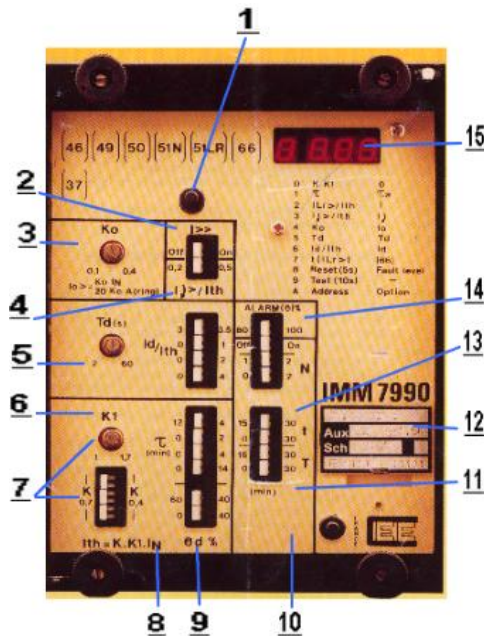


Figure III. 11: Face avant de l'IMM7990

### Chapitre III : La protection de la motopompe (EDM)

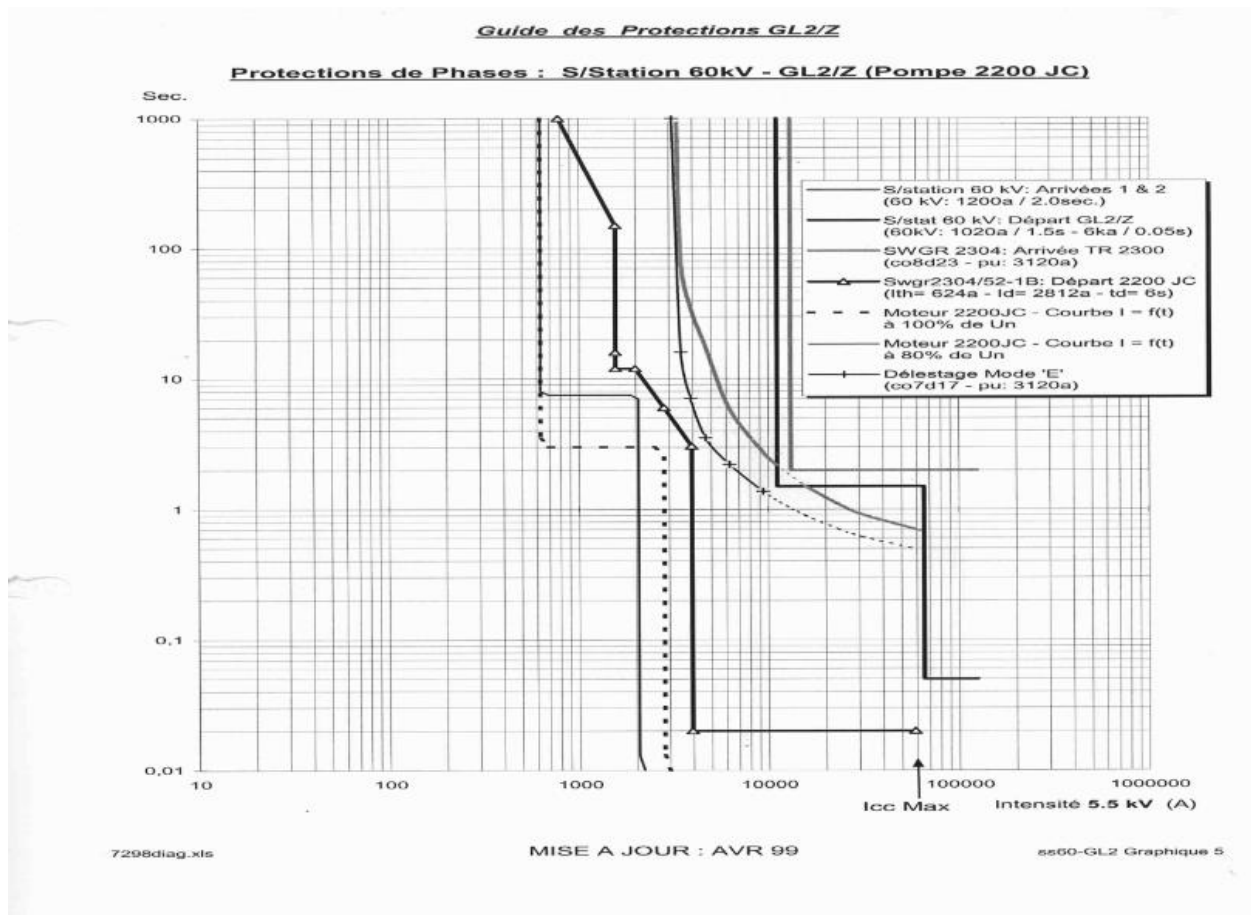
N°	Définition
1	Bouton poussoir de gestion de l'afficheur
2	Unité de court-circuit (50)
3	Unité homopolaire (51N)
4	Unité déséquilibre (46)
5	Caractéristique de démarrage (51LR)
6	Unité thermique (49)
7	Réglage du courant nominal
8	Réglage de la constante de temps
9	Réglage du seuil thermique de redémarrage
10	Unité de contrôle de nombre de démarrage
11	Période de blocage
12	Etiquette d'identification
13	Période de référence
14	Alarme thermique
15	Afficheur

• **Lexique des symboles utilisés sur la face avant :**

$I_n$	Courant des TC
$I_0$	Courant homopolaire
$I_{\downarrow}$	Courant direct
$I_{>>}$	Seuil haut (court-circuit)
$I_d$	Courant de démarrage
$I_{LR>}$	Seuil de l'unité de blocage rotor
$I_{th}$	Courant nominal assigné au relais
$I_{0>}$	Seuil de l'unité homopolaire
$K$	Réglage gros du courant assigné
$K_1$	Réglage fin du courant assigné
$K_0$	Réglage du seuil homopolaire
$t$	Temps de référence pour la fonction
$T$	Temps d'interdiction (démarrage interdit)
$T_d$	Temps de démarrage
$t(ILR>)$	Temps de fonctionnement de l'unité blocage rotor
$N$	Nombre de démarrage autorisés pendant $t$ .
$\zeta$	Constante de temps assignée au relais
$\theta\%$	Etat thermique
$\theta_d\%$	Etat thermique au-dessus duquel les démarrages sont interdits

**III.5.1.4-Réglage de l'IMM7990 de la pompe EDM (capa hors service)**

Fonction du relais		Organe de réglage			Afficheur		observation
N°	Désignation	symbole	Désignation	Calibration	Code	Valeur lue (bouton appuyé)	
49	Therm/surcharge Intensité déclen	$I_{th}$	Commut K Potentio K1	0.70 1.12	0	$K \times K1 = 0.78$	$I_{th} = 624 \text{ A}$ en MT $I_{th} = 3.9 \text{ A}$ BT
	Constante de temps	$\zeta$	Commut $\zeta$	12	1	$\zeta = 12.0\text{min}$	Constante thermique du moteur
	Etat thermique	$\theta_d\%$	Commut $\theta_d\%$	100	-	Pas d'Affichage	Etat thermique interdisant démarrage
	Alarme thermique	$\theta\%$	Commut 80/100	80	-	Pas d'Affichage	Alarme non raccordée
51 LR	Rotor bloqué	$I_{LR}$	Réglé en usine	2.5	2	$I_{LR}$ blocage en marche = $2.5 I_{th}$	$I_{LR} = 1560 \text{ A}$ MT, $9.75 \text{ A}$ BT
46	Courant inverse	$I_{\downarrow}$	Commut $I_{\downarrow}$	0.20	3	$I_{\downarrow} = 0.20 I_{th}$	$I_{\downarrow} = 125 \text{ A}$ MT, $0.78 \text{ A}$ BT
51 N	Courant homopolaire	$I_0$	Potentio $K_0$	0.10	4	$I_0 = 0.10 I_n$	$I_0 = 80 \text{ A}$ MT, $0.50 \text{ A}$ BT
51 LR  + 50	Temps de démarrage	$T_d$	Potentio $T_d$	6	5	$T_d = 6.0 \text{ sec}$	Courbe $I_d^2 * T_d = 47444064 = C_{te}$
	Intensité démarrage	$I_d$	Commut $I_d/I_{th}$	4.5	6	$I_d = 4.5 I_{th}$	$I_d = 2812 \text{ A}$ MT, $17.55 \text{ A}$ BT
	Temps rotor bloqué	$t(I_{LR})$	Réglé en usine = 4s	4.0	7	$t(I_{LR}) = 4.0\text{s}$ bouton appuyé	$t(I_{LR}) = 4\text{s}$ (réglé en usine)
	Protection court-circuit	$I_{>>}$	Commut $I_{>>}$	On	-	Réglé en usine à 1.4 $I_d$	$I_{>>} = 4 \text{ kA}$ MT, $24.5 \text{ A}$ BT
66	Limitation du nombre de démarrages	-  t N T	Commut on/off  Commut t Commut N Commut T	On  60 2 30	7	60.2 bouton relâché	2 Démarrages en 60 minutes : Période de référence : 60min Nombre de démarrages autorisés : 2 Si dépassement blocage 30 min



**Figure III. 12 : Courbe de réglage de la protection de la motopompe EDM**

### III.5.2-Relais IAG 7034

L'IAG 7034 est un relais électromécanique d'une technologie classique qui assure la protection des enroulements du stator entre eux ce relais compare l'intensité entre l'entrée et la sortie du bobinage du moteur qui doivent être égaux.

Ces protections ont basés sur le principe d'un disque d'induction actionné par des bobines alimentées par des variables électriques du réseau des transformateurs de courant et de tension.

Un ressort de rappel réglable détermine la limite de l'action du disque sur un déclencheur (point de réglage).

### III.5.2.1- Schéma interne du relais

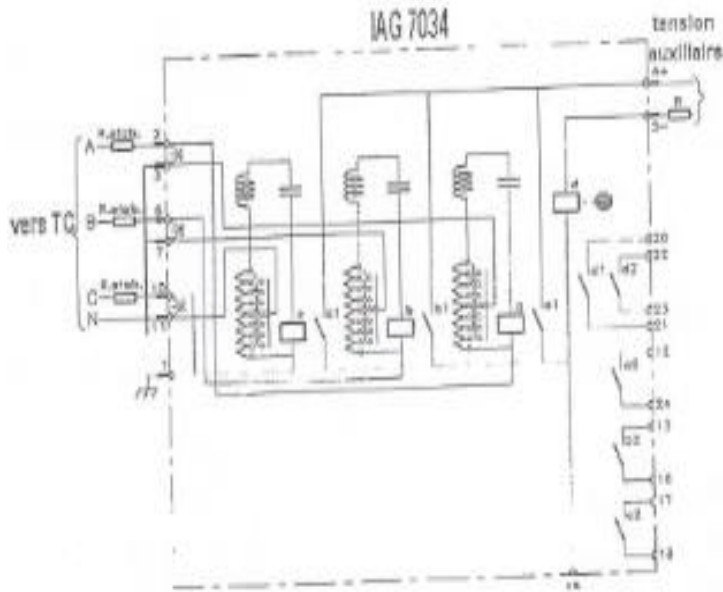


Figure III. 13 : Schéma interne du relais

### III.5.2.2- Description du relais

- ❖ Fabricant : CCE
- ❖ Code us : 87
- ❖ Modèle : iag 7034
- ❖ Gamme instantané : 5-20% Id
- ❖ Rapport TT : 800/5 A.

### III.5.2.3- Réglage du relais

- Id 5%
- TI 800/5 A
- 40A

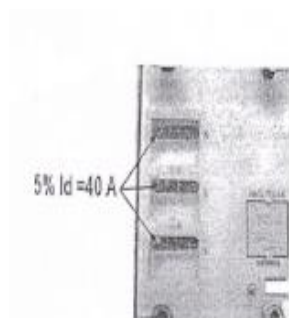


Figure III. 14 : Réglage du relais

### III.5.2.4- Schéma du raccordement de L'IAG 7034

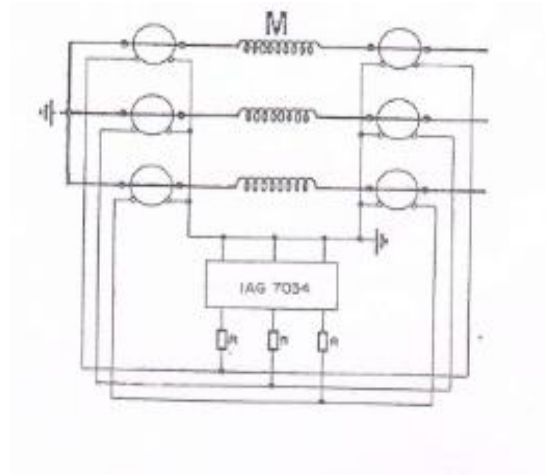


Figure III. 15 : Schéma du raccordement de l'IAG 7034

### III.5.3- Relais TTG 7113

Le TTG7113 est un relais à minimum tension à temps indépendant principalement destiné à la surveillance de la tension homopolaire résultant du déplacement électrique du point neutre sous l'effet d'un défaut.

La désignation des relais TTG7113 répond au code si dessus :

- **T** = grandeur caractéristique : **Tension**.
- **T** = élément de mesure : **Transistorisé**.
- **G** = utilisation : **Générale**.
- **7** = identification de la série du boîtier modulaire R.
- **1** = caractéristique de temps : **indépendant**.
- **1** = nombre de mesure de la longueur d'influence.
- **3** = identification du type.

#### III.5.3.1-Schéma interne du relais

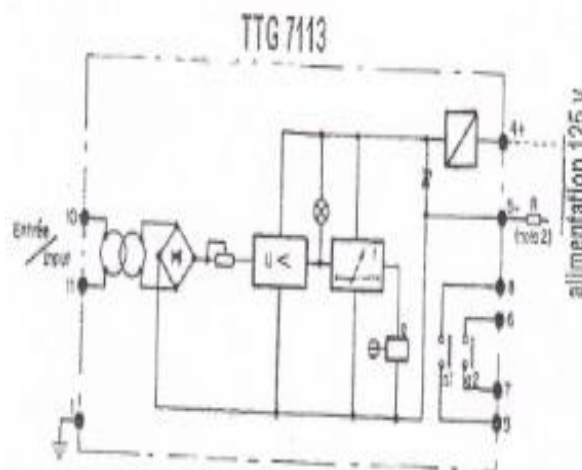


Figure III. 16 : Schéma interne du relais

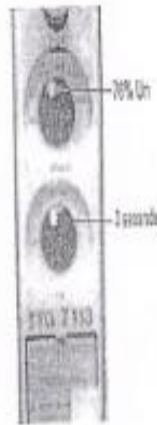
### III.5.3.2-Description du relais

- **Fabriquant** : CEE.
- **Code us** : 27.
- **Modèle** : TTG7113.
- **Gamme temporisée** : 0.6 à 6 seconde et 0.5 à 1 Un.
- 

### III.5.3.3- Réglage du relais

Si la tension d'alimentation du moteur (5500 volts entre phases) diminue en dessous de la tension nominale jusqu'à 76% en un temps de 3 secondes le TTG7113 attaque et ouvre le disjoncteur.  $U_n = 5500$  volts.

- 76 %  $U_n = 4180$  volts.
- T.P 5500/100 volts.
- $T = 3$  s.

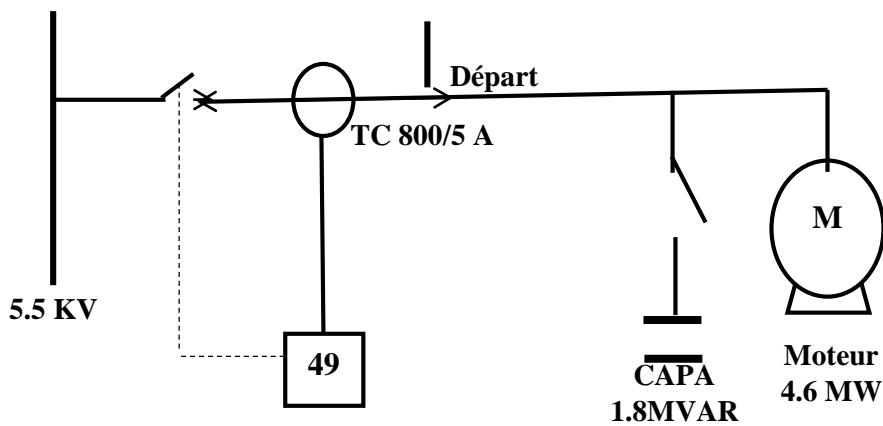


**Figure III. 17 : Réglage du relais**

### III.6-Inconvénients de ces relais

- Technologie obsolète et introuvable sur le marché.
- Il n'intègre pas la fonction d'auto diagnostic.
- Le manque de précision, le dispositif étant sensible à son environnement et aux phénomènes d'usure.
- Il est aussi difficile d'obtenir des réglages adaptés aux faibles courants de défaut.
- Encombrement et câblage important.
- Mono fonctionnalité de certains relais et la lenteur d'exécution avec un temps de réponse relativement pour les relais électromécaniques (relais différentielles).
- Manque de protection (surtension, sondes thermiques, défaillance du disjoncteur... etc.)
- Contrôle difficile de la précision de mesure.
- Difficulté d'intégration du système de délestage.
- Consommation électrique importante ce qui influe sur la taille des chargeurs de batterie 125 Vcc.
- Difficulté du réglage de la sélectivité.
- Absence des options de mémorisation et d'autocontrôle pour tous les relais utilisé.

III.7-Fonctionnement de la motopompe EDM avec et sans capa



$$\vec{I}_{Départ} = \vec{I}_{Moteur} + \vec{I}_{capacité}$$

Les transformateurs de courant qui alimentent les protections électriques du moteur sont localisées dans la cellule disjoncteur en tête du départ.

Ils ne mesurent donc pas le courant traversant réellement le moteur mais la somme des courants du moteur et de la capacité. La différence est sensible comme le montre le tableau suivant :

Configuration	$\vec{I}_{Départ}$	$\vec{I}_{Moteur}$	$\vec{I}_{Capacité}$
Capa en service	470 A	570 A	100 A
Capa hors service	570 A	570 A	0 A

### III.8- Résumé

Dans ce chapitre, on a centré tous les défauts du moteur asynchrone qui peuvent provoquer un endommagement de ce dernier. On a étudié la description des éléments du départ pompe eau de mer cette étude nous a permis de constater sur site le degré de vétusté des relais utilisés pour la protection de ce départ très important pour le process, vu que ces relais sont obsolètes pour la sécurité du moteur. Les inconvénients relevés sur ces relais nous pousse à rénover ces relais existant par des relais plus performant.

*Chapitre IV :*  
*Les relais numériques*

### IV.1-Introduction

L'emploi des techniques numériques apporte des avantages majeurs pour les dispositifs de protection et de contrôle de commande en HTA.

Dans ce type de protection, un convertisseur analogique-numérique (A/N) transforme les grandeurs analogiques injectées à l'entrée de la protection en grandeurs numériques, qui seront ensuite traitées (filtrage optimisé) avant d'être introduites dans une unité de calcul (UC) chargée de réaliser toutes les fonctions de la protection.

L'UC communique avec l'extérieur par l'intermédiaire d'une interface qui transforme les signaux logiques bas niveau 5 V en signaux logiques haut niveau tel que 48 V pour les ordres et les signalisations.

Elle gère de plus la liaison série pour le dialogue avec l'exploitant. L'interface permet également le raccordement de protection à un réseau local de terrain.

L'UC dispose d'une mémoire importante qui lui permet d'assurer des fonctions annexes telles que l'enregistrement d'événements (consignation d'états) et des grandeurs des défauts (perturbographe) et la localisation des défauts.

Compte tenu de leurs possibilités d'adaptation et de leurs fonctionnalités, ces protections se sont imposées sur le marché. Les autres techniques de protection sont appelées à ce disparaître dans les années futures.

### IV.2-Caractéristiques principales des relais numériques

#### IV.2.1-La formation d'auto surveillance

La protection en technologie numérique est essentiellement caractérisée par rapport aux autres technologies par la fonction d'auto surveillance. Cette fonction détecte le maximum de défaillances « majeures ». une défaillance est classée dans la catégorie « majeur » si elle est susceptible d'entraîner un mauvais fonctionnement de la protection.<sup>[5]</sup>

Une telle défaillance ne doit pas dégénérer en déclenchement intempestif. La protection se met dans une position de repli sûre et prédéterminée afin d'éviter le passage d'ordre aléatoire.

L'exploitant est informé de cette « position de repli », et peut procéder à l'opération de maintenance immédiatement pour redonner à la protection sa disponibilité. Parallèlement une défaillance dite « mineure », comme par exemple une défaillance de périphériques (affichage ou console de réglage) est signalée mais n'affecte pas la disponibilité de la protection. Cette fonction fournit à l'exploitant une information externe claire et globale sur l'état de sa protection, et au constructeur lors d'une opération de maintenance une information interne aussi claire et précise.

La défektivité est signalée soit par un voyant en face avant ou un message sur l'afficheur, ou encore une sortie relais chien de garde.

### IV.2.2-Intégration des fonctions de protection et de contrôle commande

L'utilisation des techniques numériques permet d'intégrer les différents types de fonctions (protection, mesure, contrôle... etc.) Dans le même matériel de base, avec des différenciations fonctionnelles réalisées par des logiciels d'applications. Par exemple, pour une arrivée, une seule unité peut intégrer.

- a. **Protection** : protection défaut phase et à la terre, surtensions et sous-tension, déplacement de la tension du neutre, éléments directionnels de phase et de terre.
- b. **Mesure** : courants de phase et pointe de demande, tension de phase, facteur de puissance et fréquence. Puissance active et réactive et pointe de demande, cumul de l'énergie active et réactive. Courant et tension différentiels.
- c. **Commande** : commande d'ouverture et de fermeture de disjoncteur, fonction de verrouillage, interdiction de fermeture, sélectivité logique.
- d. **Contrôle** : annonces locales, supervision des circuits de déclenchement, comptage de manœuvres de disjoncteur, courant couper cumulé, comptage de défaut.
- e. **Diagnostic réseau** : valeur du courant de défaut, datation des événements oscillographie.
- f. **Communication** : liaison série pour commande à distance et surveillance depuis l'ordinateur de contrôle.

### IV.3-Problèmes posés par les protections numériques

#### IV.3.1- Fiabilité du logiciel

Si la fiabilité des composants est à l'heure actuelle assez bien maîtrisée, en ce sens que l'on sait mettre en œuvre les moyens nécessaires pour arriver à un niveau de fiabilité spécifié, il est par contre impossible pour le moment de chiffrer la fiabilité d'un logiciel. Il est tout au plus possible de l'apprécier qualitativement au moyen de métriques.

Cependant, on connaît bien maintenant les méthodes à mettre en œuvre pour étudier et réaliser un logiciel de bonne qualité.<sup>[5]</sup>

#### IV.3.2- Dialogue homme machine

Dans sa version la plus dépouillée, la protection numérique n'a besoin que d'un connecteur de liaison série pour dialoguer avec l'extérieur au moyen d'une console de visualisation.

Ce moyen de communication est souvent jugé insuffisant par l'exploitant qui souhaite connaître l'état de la protection localement sans l'aide d'une console ou d'un calculateur portable.

Les constructeurs ont été ainsi amenés à équiper les protections numériques d'un terminal face avant composé d'un écran simplifié permettant d'afficher 1 ou 2 lignes de 16 à 40 caractères alphanumériques et de quelques touches pour pouvoir faire défiler sur l'écran un menu déroulant, un dialogue plus complet restant toujours possible à l'aide d'une console ou d'un calculateur portable. Par ailleurs, une sortie liaison série permet le raccordement à l'aide d'un modem de la protection numérique à une voie téléphonique standard.

La protection peut être ainsi interrogée et même programmée à distance. De plus, certaines protections disposent de connecteurs optiques pour se raccorder à un réseau local de terrain sur fibre optique ou à d'autres équipements numériques en vue d'échange d'informations numériques à grand débit.

### IV.4-Comparaison entre relais analogique et numérique

#### IV.4.1- Propriétés des signaux

Relais analogique	Relais numérique
Très bonne résolution du signal	Quantification du signal (incrément en amplitude et en temps).
Sensibilité aux dégradations	Insensibilité aux dégradations
Difficulté pour reproduire le signal sans introduire de bruit supplémentaire	Reproduction facile du signal sans dégradation
Difficulté pour garder le signal en mémoire	Très grande facilité pour mémoriser le signal et le traiter à nouveau.

#### IV.4.2- Incidence d'une dégradation de composant

Diminution progressive des caractéristiques de la protection mais possibilité de fonctionnement avec des caractéristiques dégradées.	Décroissance brutale des caractéristiques entraînant des dysfonctionnements de la protection
Mesure sensible à la dégradation lente des composants	Stabilité à long terme de la mesure en général garantie
Risque de fonctionnement intempestif et/ou de non fonctionnement	Risque plus important de défaillance
Difficulté de réalisation d'autotest complet et d'un autodiagnostic	Autocontrôle, autotest périodique et autodiagnostic facilement réalisable, ce qui amène un gain en disponibilité.

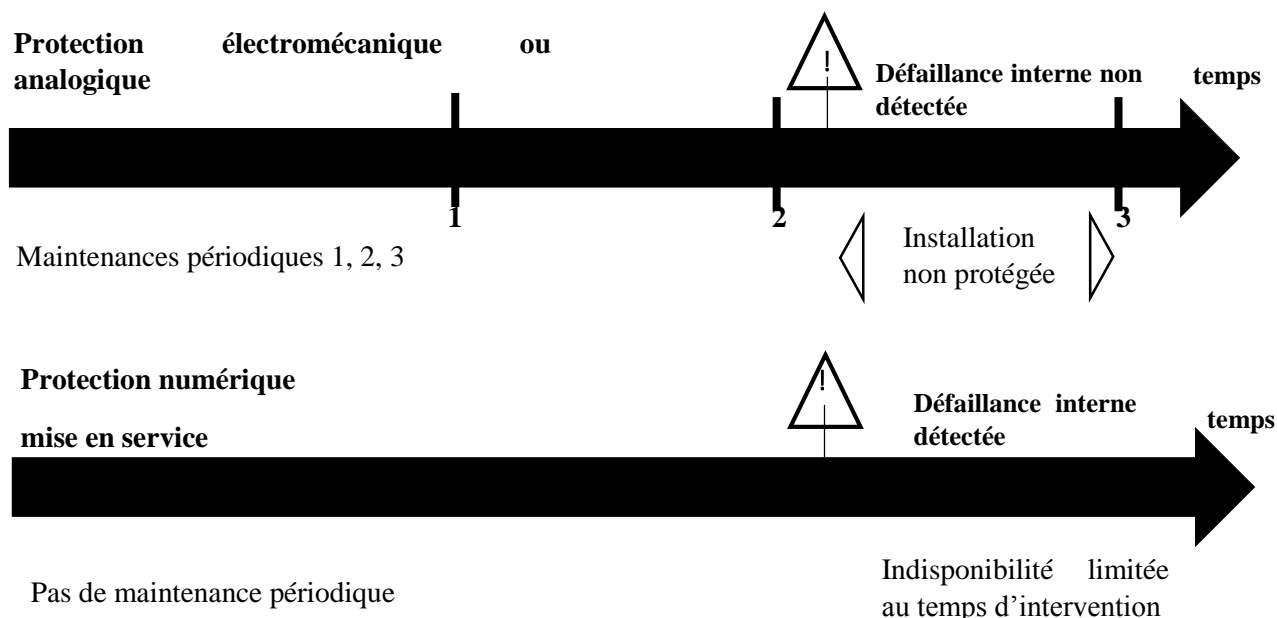
### IV.4.3- Technique de mesure

Moyennement rapides et plus faciles	Mesures très rapides, souvent plus difficiles et plus coûteuses
Système de mesure difficile à modifier à la demande	Modification par logiciel plus aisée mais pas toujours moins coûteuse
Stabilité fonctionnelle de l'équipement	Gestion difficile des versions logicielles
Traitement des grandeurs analogiques difficile	Traitement facile de signaux avec possibilité de stockage
Filtrage limité des signaux lié à la technologie	Filtrage numérique complexe et performant ainsi que correction d'erreur possible
Contrôle difficile de la précision de la mesure	Contrôle permanent ou autotest de la protection aisé et efficace.

### IV.5-Analyse fiabilité

Les données de fiabilité opérationnelle sur un parc de protections numériques sont pertinentes du fait de l'auto surveillance. Il a été constaté que la fiabilité opérationnelle était au moins supérieure d'un facteur 10 à la fiabilité prévisionnelle. Cet écart provenait vraisemblablement des recueils de données de fiabilité volontairement pessimistes.<sup>[6]</sup>

Les technologies et la qualité des composants électroniques évoluant très rapidement sont conduites à la réduction de l'écart entre les résultats de fiabilité opérationnelle et prévisionnelle. Aujourd'hui, le MTBF (Mean time before failure) correspondant au déclenchement intempestif ou au non fonctionnement de la protection numérique atteint plusieurs centaines d'années.



**Figure IV. 1: L'auto-surveillance permet de réduire le temps d'indisponibilité de la protection donc augmente la sûreté de l'installation électrique**

### IV.6-Résumé

Les équipements de protection des réseaux HTA et HTB assurent une fonction de sureté primordiale. Ils doivent garantir la protection des matériels et des personnes tout en assurant la disponibilité d'énergie. Leurs dysfonctionnements peuvent infliger aux exploitants des pertes financières élevées. Il est donc essentiel qu'ils répondent à de hautes exigences de fiabilité, sécurité, disponibilité et maintenance.

Pour cela, les équipements de protection doivent remplir certaines caractéristiques techniques et industrielles dont les plus significatives sont :

- Bien protéger les équipements HTA et HTB, grâce à des algorithmes adaptés aux diverses fonctions de protection.
- Etre simples à mettre en œuvre, à exploiter et à maintenir.
- Etre fiables dans un environnement sévère, mais en plus être capables de s'auto-surveiller, et posséder une position de repli sure.

Aujourd'hui, tirant parti du développement des communications numériques (bus) et de la supervision, la fonctionnalité des équipements de protection s'étend dans le domaine du contrôle de commande pour une gestion optimisée de la distribution électrique.

*Chapitre V :*  
*Les recommandations*

### V.1-Introduction

Dans le but de mettre en évidence notre approche du changement, nous sommes obligés d'étudier la compatibilité des nouveaux matériels avec notre installation qui date d'environ 30 ans.

A cet effet nous avons choisi 04 des plus grands leaders mondiaux dans le domaine de la fabrication des relais de protection. Ce choix a été essentiellement motivé par le fait que leurs matériels est le plus utilisés en Algérie.

- **Les constructeurs sélectionnés sont :**
  - SIEMENS.
  - ABB.
  - SCHNEIDER ELECTRIC.
  - CEE (ICE).
- **Avantage du constructeur SHNEIDER-ELECTRIC :**

D'après les différents constructeurs de relais numérique on a choisi le SAPAM M87 Merlin Gerin (Schneider Electric) parce qu'il :

- Assure la protection totale de notre moteur.
- A la même compatibilité du disjoncteur de départ Merlin Gerin (Schneider Electric).
- Garde les même TC et TP.

### V.2-Le SEPAM M87 (Merlin Gerin)

Le M87 est un relais numérique de la gamme SEPAM, il assure la protection complète du moteur contre les défauts suivants :<sup>[7]</sup>

- Max de courant (50/51).
- Surcharge (49RMS).
- Limitation du nombre de démarrages (66).
- Déséquilibre (46).
- Défaillance du disjoncteur (50BF).
- Différentiel (M87).
- Min de tension (27).
- Max de courant de terre (50N/51N).
- Démarrage trop long, blocage rotor (48/51LR).
- Surveillance température (38/49T).
- Surtension (59).

V.3-Architecture modulaire

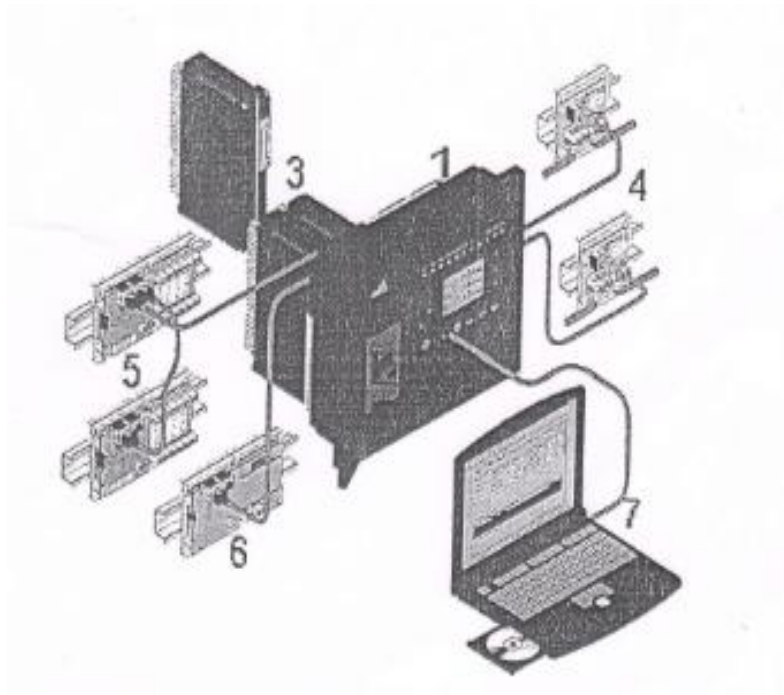


Figure V. 1: Architecture modulaire

1	Unité de base, avec interface homme Machine avancée intégrée ou déportée	
2	Paramètres et réglages sauvegardés sur cartouche mémoire amovible	
3	42 entrée logiques et 23 sorties à relais avec 3 modules optionnels de 14 entrées 6 sorties	
4	2 ports de communication Modbus indépendants	
5	Traitement de 16 sondes de températures	
6	1 sortie analogique bas niveau, 0-10mA, 4-20mA ou 0-20mA	
7	Outil logiciel	Paramétrage du Sepam, réglage des protections et personnalisation de la logique de commande
		Exploitation locale ou à distance de l'installation
		Récupération et visualisation des enregistrements d'oscillographie

V.3.1-Face avant de L'IHM avancée

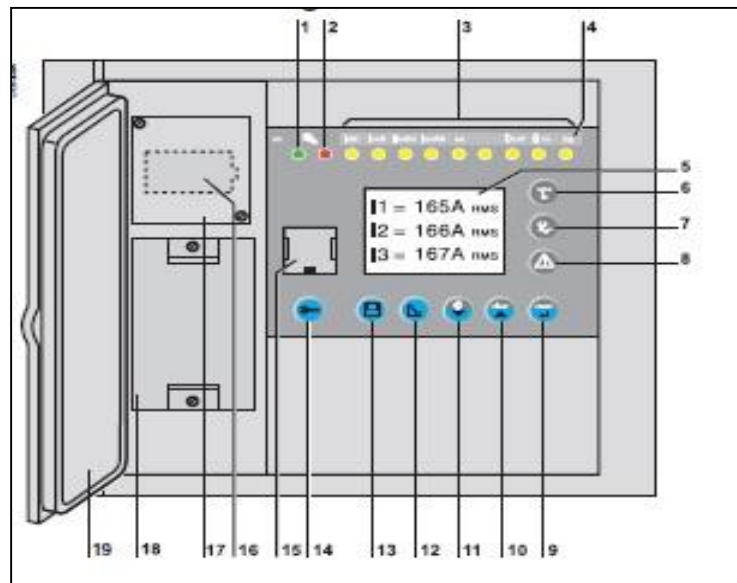


Figure V. 2: Face avant de l'IHM avancée

1	Voyant vert Sepam sous tension
2	Voyant rouge Sepam indisponible
3	9 voyants jaunes de signalisation
4	Ecran LCD graphique
5	Affichage des mesures
6	Affichage des informations de diagnostic appareillage, réseau et machine
7	Affichage des messages d'alarme
8	Réarmement de Sepam (ou validation saisie)
9	Acquittement et effacement des alarmes (ou déplacement curseur vers le haut)
10	Test voyants (ou déplacement curseur vers le bas)
11	Affichage et adaptation des réglages des protections activées
12	Affichage de la version de Sepam
13	Saisie des 2 mots de passe
14	Port RS 232 de liaison PC

15	Pile de sauvegarde
16	Cartouche mémoire
17	Porte

### V.3.2- Face arrière de L'IHM avancée

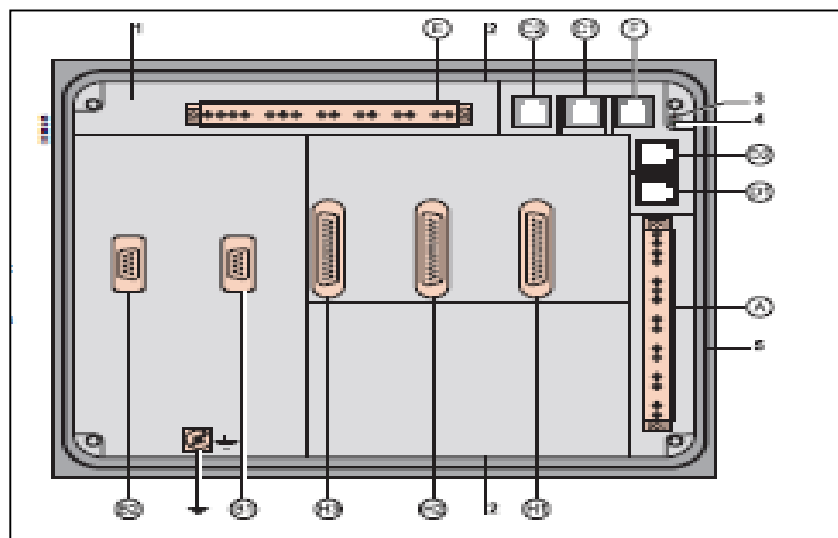


Figure V. 3: Face arrière de l'IHM avancée

1	Unité de base
2	8 points d'ancrage pour 4 agrafes de fixation à ressort
3	Voyant rouge Sepam indisponible
4	Voyant vert Sepam sous tension
5	Joint d'étanchéité
A	L'alimentation auxiliaire 24 V CC à 250 V CC – 5 sorties à relais
B1	Connecteur de raccordement des 3 entrées courant phase I1, I2, I3
B2	Connecteur de raccordement des 3 entrées courant phase I'1, I'2, I'3
C1	Port de communication Modbus n°1
C2	Port de communication Modbus n°2
D1	Port de liaison n°1 avec les modules déportés

<b>D2</b>	Port de liaison n°2 avec les modules déportés
<b>E</b>	3 entrées tension phase V1, V2, V3, 1 entrée tension résiduelle V0 2 entrées courant résiduel I0, I'0.
<b>F</b>	Port en réserve
<b>H1</b>	Connecteur de raccordement du 1 <sup>er</sup> module d'entrées/sorties MES120
<b>H2</b>	Connecteur de raccordement du 2 <sup>ème</sup> module d'entrées/sorties MES120
<b>H3</b>	Connecteur de raccordement du 3 <sup>ème</sup> module d'entrées/sortie MES120
±	Terre fonctionnelle

#### V.4-Schéma du raccordement du Sepam M87 sur le moteur de la pompe EDM

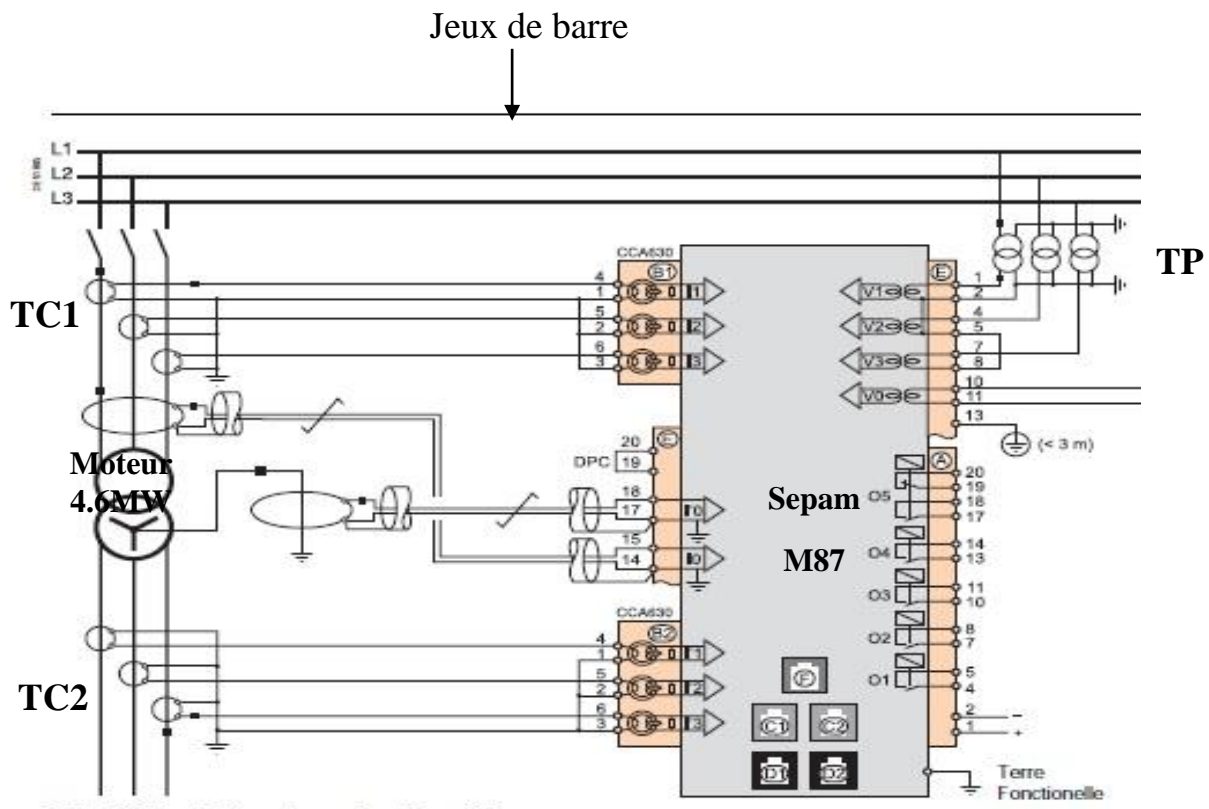
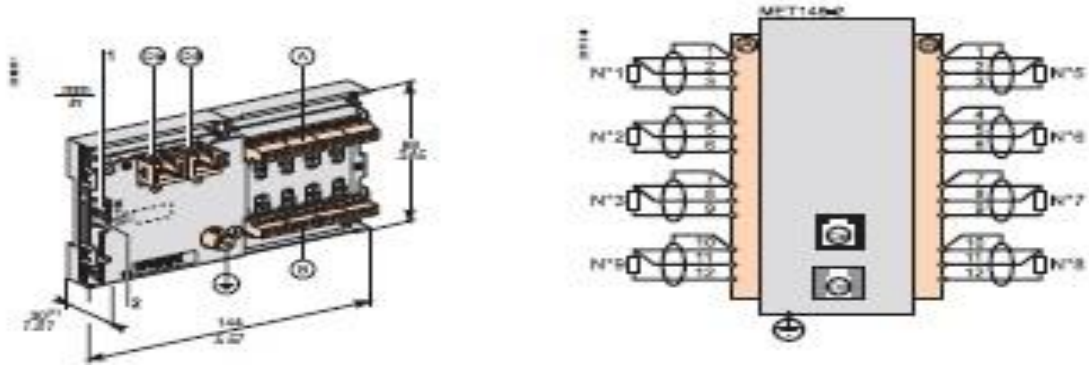


Figure V. 4: Schéma du raccordement du Sepam M87 sur le moteur de la pompe EDM

#### V.4.1- Module sondes de température MET148-2

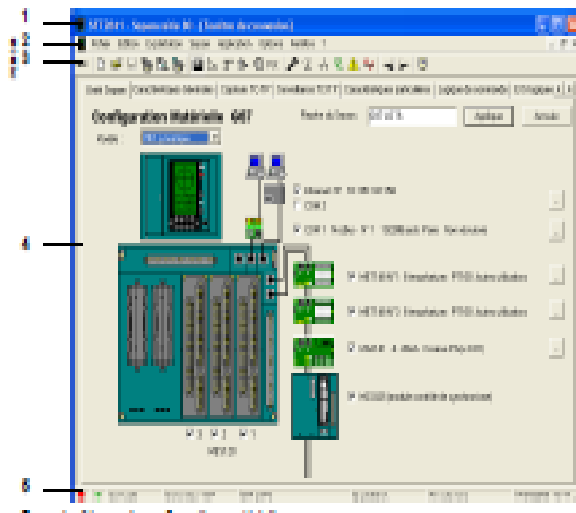
Le module MET148-2 permet le raccordement de 8 sondes de température du même type :

- Sondes de température de type Pt100, Ni100 ou Ni120 selon paramétrage.
- Sondes 3 fils.



### V.5-Réglage du Sepam M87 (capa hors service)

Le réglage de la protection de notre moteur se fait par SFT2841, c'est un logiciel de paramétrage et d'exploitation des Sepams.



- **Max de courant (50/51) :**
  - Seuil de déclenchement : 4 KA.
  - Temporisation.
- **Surcharge (49RMS) :**
  - Seuil d'échauffement pour alarme : 90%.
  - Seuil d'échauffement pour déclenchement : 110%.
  - Constante de temps à l'échauffement : 12 min.
- **Limitation nombre de démarrage (66) :**
  - Nombre de démarrage autorisés : 2.
  - Période de référence : 60 min.
  - Si dépassement blocage : 30 min.
- **Déséquilibre (46) :**
  - Seuil de courant : 15%.

- Temporisation : 3 s.

**Défaillance du disjoncteur (50Bf) :** OFF protection de secours délivrant un ordre de déclenchement aux disjoncteurs amont ou adjacents en cas de non-ouverture du disjoncteur après un ordre de déclenchement.

- **Différentiel (M87) :**
  - Seuil : 40A.
- **Min de tension (27) :**
  - Tension : simple.
  - Seuil de tension : 76%.
  - Temporisation : 3 s.
- **Max de courant de terre (50N/51N) :**
  - Seuil de courant : 10%.
  - Temporisation : 200 ms.
- **Démarrage trop long, blocage rotor (48/51LR) :**
  - Seuil de courant : 300%.
  - Temps de démarrage : 6 s.
  - Temps de blocage rotor : 4s.
- **Surveillance température (38/49T) :**
  - Seuil d'alarme : 85%.
  - Seuil de déclenchement : 130%.
- **Surtension (59) :**
  - Tension surveillé : simple.
  - Seuil de tension : 110%.
  - Temporisation : 10 s.

### V.6- Avantage de la protection recommandée

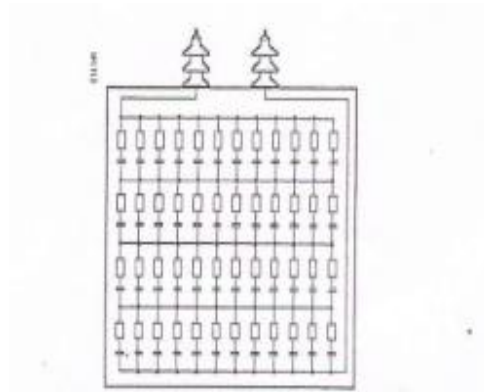
Les avantages apportés par ce nouveau changement est comme suit :

- Diminué le nombre de câble par la réduction du nombre de relais (un seul relais numérique regroupe toutes les protections).
- Grande précision de mesure grâce à un traitement numérique des valeurs mesurées.
- Réglage des gammes extrêmement larges avec des seuils fins.
- Réduire la puissance consommée par un nombre réduit de relais, un (1) seul relais classique consomme environ 7.5 W donc N relais consomme  $N \times 7.5$  W alors que le relais numérique consomme 1.5 W, donc une réduction de la puissance absorbée d'environ  $N \times 500\%$ .
- Soulager le réseau 125 Vcc et optimiser la section des câbles.
- Sureté de fonctionnement grâce à une continue auto-surveillance.
- Visualisation des différents paramètres de mesure tels que les courants, les tensions simples et composées, cos ( $\phi$ ), P, Q.
- Simplicité de mise en œuvre : souplesse et convivialité des logiciels de paramétrage, tests simplifiés.
- Facilite l'intégration des systèmes de délestage automatique.

- Sepam s'adapte facilement dans tous systèmes de conduite de réseaux, grâce à son interface de communication modbus.
- Archivage des informations relatives à chaque incident ce qui facilite le diagnostic et le suivi.

### V.7- Solution proposée : batterie de condensateur

Remplacer les anciens condensateurs par des condensateurs à fusibles internes.<sup>[8]</sup>

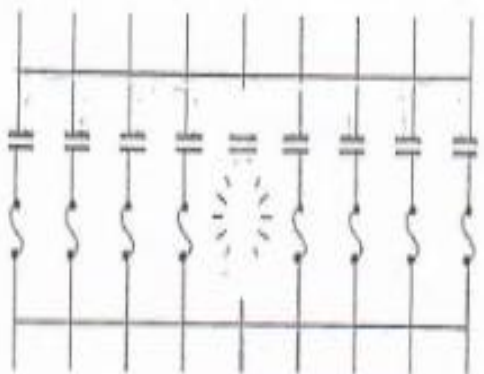


**Figure V. 5: condensateur propivar avec fusible internes, constitué de 4 groupes en série, chaque groupe comportant 12 éléments en parallèle protection par fusible interne**

Les condensateurs propivar peuvent être fournis avec une protection interne, chaque élément ou capacité élémentaire est alors équipé d'un fusible.

En cas de claquage d'un élément, celui-ci sera déconnecté et isolé. Le claquage d'une capacité élémentaire peut se produire :

- Lorsque la tension du condensateur est proche de son amplitude maximale, la fusion du coupe-circuit interne est alors provoquée par l'écoulement de l'énergie stockée dans les capacités couplées en parallèle (Figure V.6).



**Figure V. 6: fusion du coupe circuit interne du condensateur propivar**

- Lorsque la tension du condensateur est proche de zéro, ce courant provoque la fusion du coupe-circuit interne (Figure V.7).

### **V.7.1-Avantages de ce type de protection**

- Déconnexion instantanée de l'élément en court-circuit.
- Continuité du service maintenue.
- Durée de vie de l'équipement accrue.
- Cout des matériels et maintenance réduits.
- Possibilité de programmer l'intervention de la maintenance.

*Chapitre VI :*

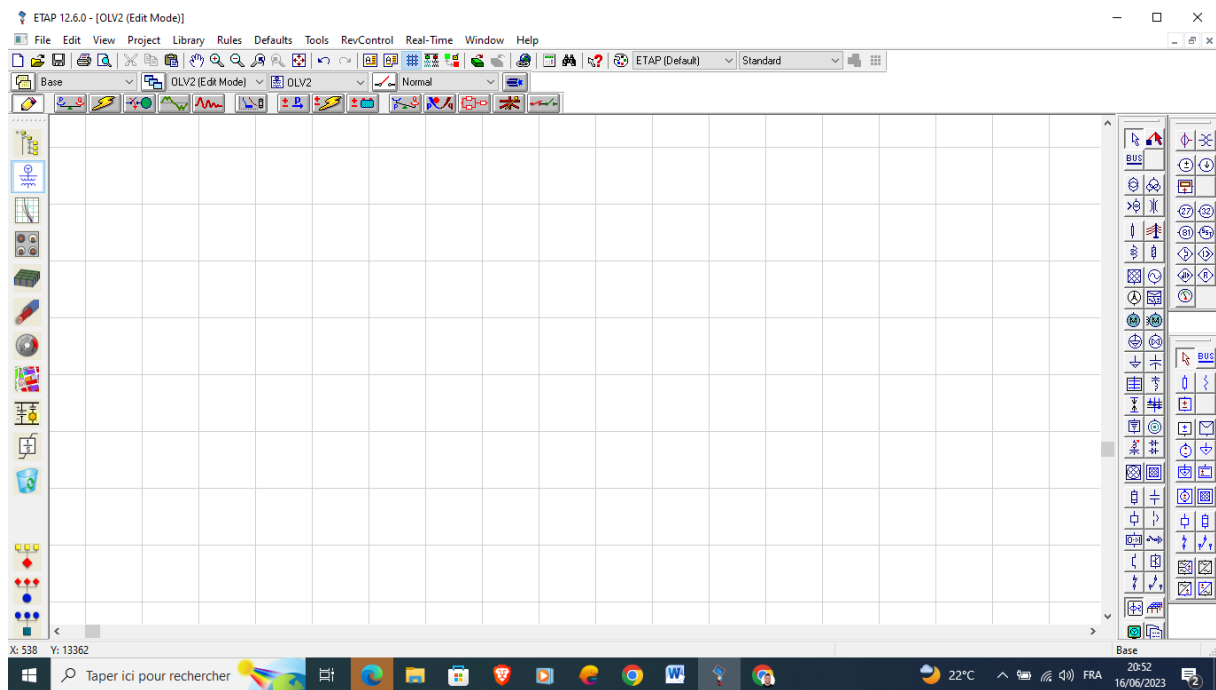
*Utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour la modélisation et l'analyse des systèmes électriques.*

## VI.1- Introduction

Le logiciel ETAP est une plateforme de pointe utilisée dans l'industrie de l'électricité pour la conception, la modélisation et l'analyse des systèmes électriques. Dans ce chapitre, nous explorons les fonctionnalités et les applications d'ETAP, en mettant l'accent sur sa capacité à fournir une solution complète pour l'ingénierie électrique.

ETAP propose une gamme complète de fonctionnalités pour la conception et l'analyse des systèmes électriques. Cela comprend la modélisation des composants tels que les générateurs, les transformateurs, les moteurs, les lignes de transmission, les dispositifs de protection, etc.

ETAP permet également d'effectuer des analyses avancées telles que l'analyse de court-circuit, l'analyse de stabilité, l'analyse de protection, l'analyse harmonique, etc. Ces fonctionnalités font d'ETAP un outil polyvalent et puissant pour les ingénieurs électriques.



Lorsque vous activez le mode EDIT  dans ETAP 12.6, plusieurs barres d'outils sont mises à NOTRE disposition pour faciliter NOTRE travail.

Voici les barres d'outils que vous pouvez utiliser :

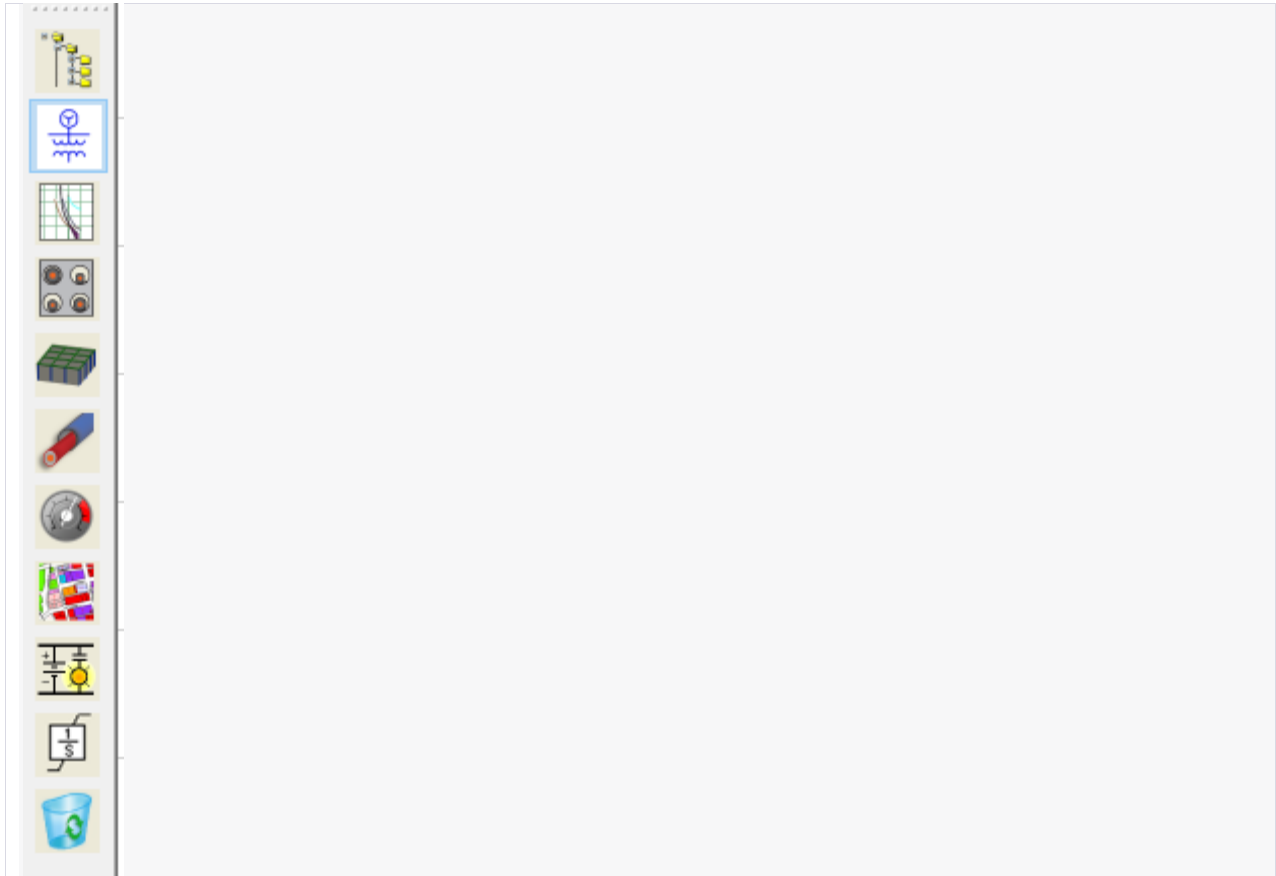
1. Instrumentation Éléments (Éléments d'instrumentation) :



1. AC Edit Toolbar (Barre d'outils d'édition AC) :

Cette barre d'outils regroupe tous les éléments d'instrumentation présents dans le diagramme unifilaire. Elle vous permet de placer et de configurer facilement des capteurs, des indicateurs, des compteurs, et d'autres éléments liés à l'instrumentation





1. Mode Toolbar (Barre d'outils de mode) :

Cette barre d'outils vous permet de passer facilement d'un système à un autre dans ETAP. Elle offre une méthode pratique pour basculer entre les différents systèmes modélisés dans ETAP, tels que les systèmes électriques, les systèmes d'éclairage, les systèmes de distribution, etc.



Lorsque vous sélectionnez le mode DIAGRAMME UNIFILAIRE dans la barre d'outils Système, la barre d'outils Mode s'affiche. Cette barre d'outils regroupe tous les modules d'étude liés au diagramme unifilaire. Vous pouvez accéder rapidement à différents modules d'analyse, tels que l'analyse de charge, l'analyse de court-circuit, l'analyse d'accélération des moteurs, l'analyse de stabilité transitoire et la coordination des dispositifs de protection.

## **VI.2- Modélisation des composants du réseau électrique avec ETAP**

ETAP offre une gamme complète de fonctionnalités permettant de modéliser les composants clés d'un réseau électrique, tels que les transformateurs, les câbles, les générateurs, les moteurs, les disjoncteurs, les relais de protection, etc. Grâce à ces modèles précis et détaillés, les ingénieurs peuvent simuler et évaluer le comportement du réseau dans différentes conditions de fonctionnement.

L'objectif de la modélisation des composants électriques avec ETAP est de fournir une représentation virtuelle fidèle du réseau réel, permettant ainsi de prédire et d'optimiser les performances électriques. Grâce à cette modélisation, il est possible d'évaluer les pertes de puissance, les chutes de tension, les courants de court-circuit, les coordinations de protection, les régulations de tension, et bien d'autres paramètres importants pour assurer un fonctionnement sûr et efficace du système électrique.

Nous configurerons les paramètres électriques spécifiques à chaque composant on entame par:

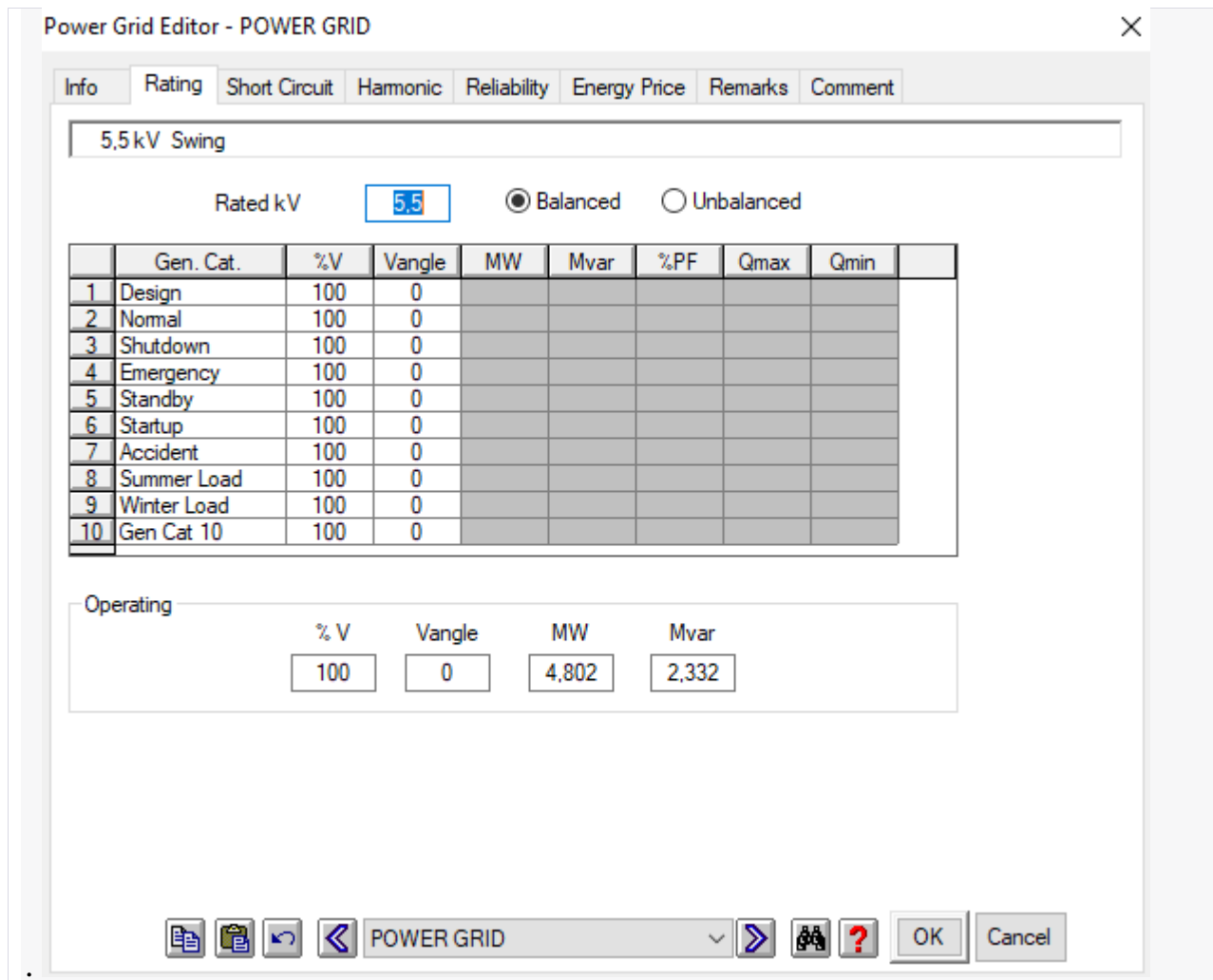
### **VI.2.1- POWER GRID**

Le POWER GRID, ou réseau électrique, est un système complexe qui englobe l'ensemble des composants nécessaires à la production, à la transmission et à la distribution de l'électricité. Il est composé de générateurs, de transformateurs, de lignes de transmission et de charges connectées. Dans notre modèle, le POWER GRID est caractérisé par plusieurs éléments importants.

Tout d'abord, sa notation ou rating, correspond à sa tension nominale, qui est de 5,5 kV (kilovolts). Cela signifie que le réseau électrique est conçu pour fonctionner à une tension de 5,5 kV, et cette valeur est utilisée comme référence pour les calculs et les analyses du réseau.

Ensuite, le terme "swing" fait référence à la tension nominale de la source d'alimentation principale du réseau électrique. Dans notre modèle, la tension nominale du POWER GRID est également de 5,5 kV. Cette tension de référence est importante car elle permet de maintenir la stabilité du réseau et de garantir que les équipements et les appareils fonctionnent de manière optimale.

## Chapitre VI : Utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour la modélisation et l'analyse des systèmes électriques



Le POWER GRID possède également une notation de court-circuit, appelée Short Circuit Rating, qui est spécifiée à 2500 MVA<sub>sc</sub> (méga volt-ampères court-circuit). Cette valeur représente la capacité du réseau électrique à fournir un courant de court-circuit élevé en cas de défaut électrique. Un court-circuit se produit lorsqu'il y a un chemin de faible résistance entre les phases ou entre une phase et la terre, ce qui entraîne une augmentation significative du courant électrique. La notation de court-circuit indique la capacité du réseau à gérer ces situations et à limiter les dommages.

Un autre paramètre important pour la modélisation des courts-circuits dans le POWER GRID est le rapport X / R (composante réactive sur composante résistive). Dans notre modèle, le rapport X / R est de 8, ce qui indique la relation entre les composantes réactives (X) et résistives (R) du réseau électrique lors d'un court-circuit. Ce rapport est crucial pour évaluer les performances du réseau lors de situations de court-circuit et pour concevoir des dispositifs de protection appropriés.


## Chapitre VI : Utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour la modélisation et l'analyse des systèmes électriques

Power Grid Editor - POWER GRID

Info Rating Short Circuit Harmonic Reliability Energy Price Remarks Comment

5,5 kV Swing

Grounding



SC Rating

	MVA <sub>sc</sub>	MVA <sub>sc</sub>	X/R	kAsc
3-Phase	2500		8	262,432
1-Phase	2500	833,333	8	262,432
	sqrt(3)V <sub>I</sub> I <sub>f</sub>	V <sub>I</sub> I <sub>f</sub>		

SC Impedance (100 MVA<sub>b</sub>)

	% R	% X
Pos.	0,49614	3,96911
Neg.	0,49614	3,96911
Zero	0,49614	3,96911

POWER GRID

OK Cancel

En somme, le POWER GRID fonctionne à une tension nominale de 5,5 kV, avec une notation de court-circuit de 2500 MVA<sub>sc</sub> et un rapport X / R de 8. Ces caractéristiques assurent la stabilité du réseau, sa capacité à gérer les défauts électriques et la mise en place de protections appropriées pour assurer la sécurité et la fiabilité de l'alimentation électrique.

### VI.3- Modélisation des composants du réseau électrique dans ETAP : CÂBLE - Heesung XLPE

Cable Editor - CABLE 1

Sizing - Phase	Sizing - GND/PE	Reliability	Routing	Remarks	Comment	
Info	Physical	Impedance	Configuration	Loading	Capacity	Protection
Heesung		Non-Mag.	50 Hz	Code : 400		
XLPE		100 %	6,0 kV	3/C	CU	400 mm <sup>2</sup>

Info

ID: CABLE 1

From: BUS1 5,5 kV

To: BUS2 5,5 kV

Revision Data: Base

Equipment

Tag #: [ ]

Name: [ ]

Description: [ ]

Condition

Service:  In  Out

State: As-built

No. of Conductors / Phase: 3

Length

Length: 30 m

Tolerance: 0 %

Library

Library... [ ]

Link to Library

Connection

3 Phase  1 Phase

OK Cancel

La modélisation des câbles, telle que celle du câble Heesung XLPE, joue un rôle crucial dans l'évaluation des performances et la coordination de la protection d'un réseau électrique dans le logiciel ETAP. Le câble Heesung XLPE est un câble isolé en polyéthylène réticulé (XLPE), offrant une excellente résistance électrique et thermique, ainsi qu'une faible perte diélectrique. Il est non magnétique à 100%, ce qui le rend insensible aux champs magnétiques externes, préservant ainsi l'intégrité des signaux électriques.

## Chapitre VI : Utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour la modélisation et l'analyse des systèmes électriques

Conçu pour fonctionner à une fréquence standard de 50 Hz, le câble Heesung XLPE est capable de supporter une tension nominale de 6 kV, ce qui en fait un choix adapté pour de nombreuses installations électriques. Sa section transversale de 3 conducteurs permet la transmission triphasée de courant, facilitant ainsi la distribution d'énergie électrique. Avec des conducteurs en cuivre d'une section de 400 mm<sup>2</sup>, ce câble minimise les pertes de puissance et assure un transfert d'énergie efficace.

Le code 400 est utilisé pour identifier les caractéristiques spécifiques du câble Heesung XLPE, incluant ses propriétés d'isolation et sa capacité de courant.

### VI.3.1- BUS BAR

Phase V	Load	Motor/Gen	Rating	Arc Flash	Protection

5.5 kV 3000 Amps Peak 50 kA

Info

ID

Nominal kV

Revision Data

Base

Bus Voltage

	% V	kV	Angle
Initial	<input type="text" value="104.985"/>	<input type="text" value="5.774"/>	<input type="text" value="0"/>
Operating	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Condition

Service  In  Out

State

Equipment

Tag #

Name

Description

Classification

Zone

Area

Region

Connection

3 Phase

1 Phase 2W

1 Phase 3W

Load Diversity Factor

Min.  % Max.  %

Le bus bar dans le logiciel ETAP joue un rôle crucial dans la distribution de l'énergie électrique au sein de notre système. Avec une tension nominale de 5,5 kV, il assure la transmission efficace et fiable de l'électricité aux différents équipements connectés.

Le bus bar est capable de gérer des pics de courant importants grâce à sa capacité maximale de crête de 50 kA. Cela signifie qu'il peut faire face aux surcharges ponctuelles ou aux court-circuits sans compromettre sa performance ou sa sécurité.

## Chapitre VI : Utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour la modélisation et l'analyse des systèmes électriques

Pour assurer un fonctionnement continu, le bus bar dispose d'une capacité de courant continu de 3000 ampères. Cette valeur indique sa capacité à fournir un courant stable sur une période prolongée, ce qui est essentiel pour alimenter les équipements électriques avec fiabilité.

### VI.4- Modélisation Moteur 4,6 MW

Dans le logiciel ETAP, nous attribuerons l'identifiant M-2 au moteur dont la tension nominale est de 5,5 kV et la puissance de 4,6 MW. Cette identification nous permettra de modéliser et d'analyser les performances électriques de ce moteur au sein du système.

Induction Machine Editor - M-2

Cable/Vd	Cable Amp	Protection	Reliability	Remarks	Comment		
Info	Nameplate	Imp	Model	Inertia	Load	Start Dev	Start Cat
1	4600 kW	5,5 kV	Cable Info not available				

Info

ID:

Bus:  5,5 kV

Equipment

Tag #:

Name:

Description:

App. Type:

Data Type:

Priority:

Demand Factor

Continuous:  Intermittent:  Spare:  %

Condition

Service:  In  Out

State:

Connection

3 Phase  1 Phase

Quantity:

Configuration

Status:

OK Cancel

Nous allons approfondir la modélisation d'un moteur dans ETAP avec les caractéristiques suivantes :

### VI.4.1- Nameplate (plaque signalétique)

Induction Machine Editor - M-2

Cable/Vd	Cable Amp	Protection	Reliability	Remarks	Comment
Info	Nameplate	Imp	Model	Inertia	Load
Start Dev	Start Cat				
1	4600 kW 5,5 kV				Cable Info not available

Ratings

Design: Other

	FL	75 %	50 %	NL	OL
100 %	100 %	75 %	50 %	0 %	100 %
kW	4600			0,74	89,99
kV	5,5				
% PF	89,99	87,24	79,93		
kVA	5328			0	95,93
FLA	559,3				
% Eff	95,93	96,92	97,68		
%FLA	100	76,58	55,28	30,86	100
% Slip	1,34				
RPM	329				
Poles	18				
RPM		333			
SF					1

Library...

Loading

	Loading Category	% Loading	kW	kW	kvar	kW	kvar
1	Design	100	4600	4795	2323	0	0
2	Normal	83,35	3834	3970	2125	0	0
3	Brake	0	0	12,18	1644	0	0
4	Winter Load	0	0	12,18	1644	0	0
5	Summer Load	0	0	12,18	1644	0	0
6	FL Reject	0	0	12,18	1644	0	0
7	Emergency	0	0	12,18	1644	0	0

Operating Load: 0 kW +j 0 kvar

M-2

OK Cancel

Le moteur en question possède une puissance de 4600 kW, ce qui représente sa capacité à produire de l'énergie mécanique. Il fonctionne sous une tension nominale de 5,5 kV, qui est la tension spécifique à laquelle il est conçu pour opérer de manière optimale. La puissance apparente du moteur est de 5328 kVA, ce qui combine la puissance active et réactive consommée par le moteur.

Son courant nominal, également appelé Full Load Amperage (FLA), est de 559,3 A (ampères), indiquant le courant maximum que le moteur peut tirer lorsqu'il fonctionne à pleine charge. Le glissement du moteur est de 1,34, représentant la différence entre sa vitesse de

## Chapitre VI : Utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour la modélisation et l'analyse des systèmes électriques

rotation nominale et sa vitesse de rotation réelle. Le glissement est utilisé pour estimer la puissance mécanique produite par le moteur.

La vitesse de rotation du moteur est de 333 tours par minute (RPM), correspondant au nombre de rotations complètes effectuées par le moteur en une minute. Son facteur de service est de 1, ce qui signifie qu'il est conçu pour fonctionner de manière continue à pleine charge nominale. De plus, le moteur possède 18 pôles, ce qui représente le nombre de paires de pôles magnétiques du moteur et influence sa vitesse de rotation.

### VI.4.2- LOAD (la charge)

Induction Machine Editor - M-2

Cable/Vd	Cable Amp	Protection	Reliability	Remarks	Comment		
Info	Nameplate	Imp	Model	Inertia	Load	Start Dev	Start Cat
1	4600 kW	5.5 kV					

Cable Info not available

Load Torque

Model ID

A0 = 10      A1 = -91  
A2 = 321     A3 = -147

None     Polynomial     Curve

Acceleration Time (Static Starting)

No Load       Full Load

OK    Cancel

La charge de fonctionnement du moteur est de 4795 kW de puissance active et 2323 kVAR de puissance réactive, ce qui est typique d'une application de pompe. La puissance active de 4795 kW représente l'énergie mécanique réellement utilisée par la pompe pour effectuer un travail utile, tel que le déplacement du fluide. La puissance réactive de 2323 kVAR est associée à l'échange d'énergie entre le moteur et le réseau électrique, nécessaire pour maintenir le fonctionnement correct du moteur. Cette configuration spécifique permet au moteur de fournir la

## Chapitre VI : Utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour la modélisation et l'analyse des systèmes électriques

puissance et la réactivité requises pour répondre aux exigences de la charge de la pompe et assurer son bon fonctionnement.

### VI.4.3- L'impédance du moteur

Induction Machine Editor - M-2

Cable/Vd	Cable Amp	Protection	Reliability	Remarks	Comment
Info	Nameplate	Imp	Model	Inertia	Load
Start Dev	Start Cat				
1	4600 kW	5,5 kV	Cable Info not available		

**Locked Rotor**

%LRC	LRA	LR kVA/HP
600,1	3356	5,18
%PF	X/R	T"
22,16	4,4	0,039 sec

**Sequence Z**

X"	Xo	X2
16,25	15,385	15,385 %
X"/R		
6,768		

**ANSI Short-Circuit Z**

Std MF  
 User Defined  
 From T"

% Xsc	
16,244	1/2 cy Network
24,366	1.5-4 cy Network

**Torque**

	%	N-m
LR	53,18	71218,9
Max	290,2	388637,4
Rated	100	133920,5

Grounding...

L'impédance du moteur, exprimée en pourcentage de la courant de rotor bloqué (LRC), est de 600%. Cette valeur correspond au rapport entre l'impédance du moteur et la valeur nominale de la résistance du stator. De plus, le rapport X/R du moteur est de 4,4, indiquant la relation entre les composantes réactives (X) et résistives (R) du moteur. Ces paramètres d'impédance et de rapport X/R jouent un rôle crucial dans la modélisation et l'analyse des performances électriques du moteur dans le logiciel ETAP. Ils permettent de caractériser le comportement électrique du

## Chapitre VI : Utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour la modélisation et l'analyse des systèmes électriques

moteur lors de conditions de fonctionnement normales ainsi que lors de situations anormales, telles que les démarrages et les arrêts brusques.

### VI.5- Le modèle du moteur

Induction Machine Editor - M-2

Cable/Vd	Cable Amp	Protection	Reliability	Remarks	Comment		
Info	Nameplate	Imp	Model	Inertia	Load	Start Dev	Start Cat
1	4600 kW	5,5 kV					Cable Info not available

Parameter Estimation

Model

DBL2 - Double-cage independent bars

Circuit Diagram Parameters:

- $R_s = 2.4$
- $X_s = 14$
- $X_m = 310$
- $X_{r1} = 0.45$
- $R_{r1}/S = 3.05$
- $X_{r2} = 6.7$
- $R_{r2}/S = 2.3$

Graph: % Torque, %PP, %I vs % Slip

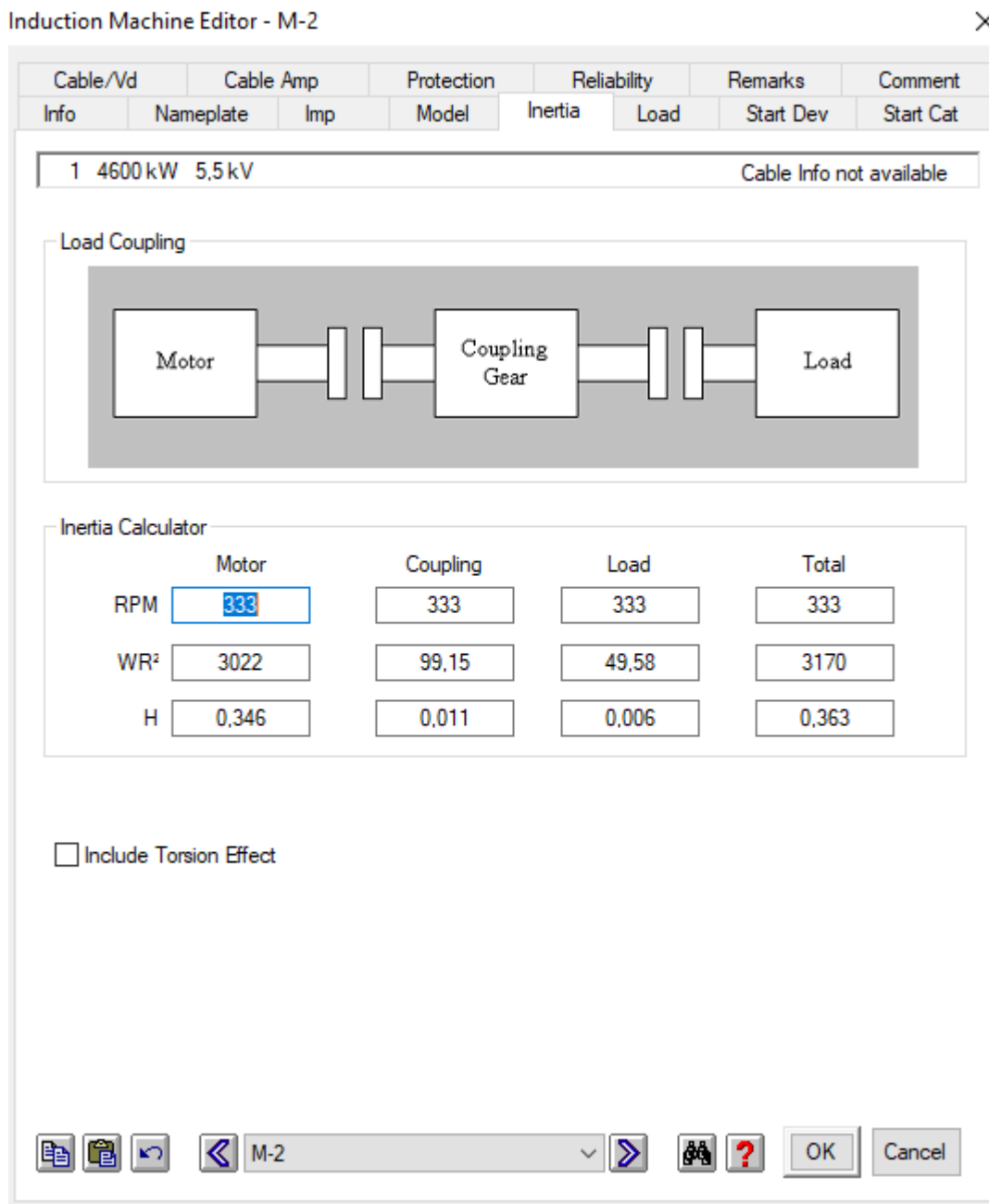
Lib... HV-HS-LT MV600HP8P Print

M-2

OK Cancel

Dans le logiciel ETAP, le moteur M-2 est modélisé en utilisant un modèle à double cage avec des barres indépendantes. Ce choix de modèle permet de représenter de manière précise les caractéristiques électriques et mécaniques spécifiques du moteur. En utilisant cette approche de modélisation avancée, nous sommes en mesure d'analyser en détail les performances du moteur M-2.

### VI.5.1- L'inertie du moteur



L'inertie du moteur, mesurée à 3022, reflète sa résistance aux changements de vitesse. Une inertie plus élevée signifie que le moteur est plus stable et réactif face aux variations de charge. Cela permet au moteur de maintenir une vitesse de rotation plus constante et de répondre efficacement aux fluctuations de la charge.

Le coefficient de frottement du moteur H, établi à 0,346, quantifie la résistance au mouvement du rotor. Ce coefficient indique la force de frottement interne du moteur, qui peut être due à des composants mécaniques, des lubrifiants ou d'autres facteurs. Un coefficient de

frottement plus élevé peut entraîner une dissipation d'énergie supplémentaire et une légère réduction de l'efficacité du moteur.

## **VI.6- Conclusion**

En conclusion, l'utilisation du logiciel ETAP pour modéliser et analyser le moteur identifié comme M-2, avec une tension nominale de 5,5 kV et une puissance de 4,6 MW, permet une évaluation détaillée de ses performances électriques. Grâce aux paramètres tels que la puissance, le courant nominal, le glissement, la vitesse de rotation et le facteur de service, nous pouvons comprendre le comportement du moteur dans différentes conditions de charge. De plus, en considérant la charge de fonctionnement spécifique de la pompe, avec des puissances active et réactive correspondantes, nous pouvons évaluer l'adéquation du moteur pour répondre aux exigences de cette application. Le modèle à double cage avec des barres indépendantes utilisé dans ETAP nous permet de représenter de manière précise les caractéristiques électriques et mécaniques du moteur.

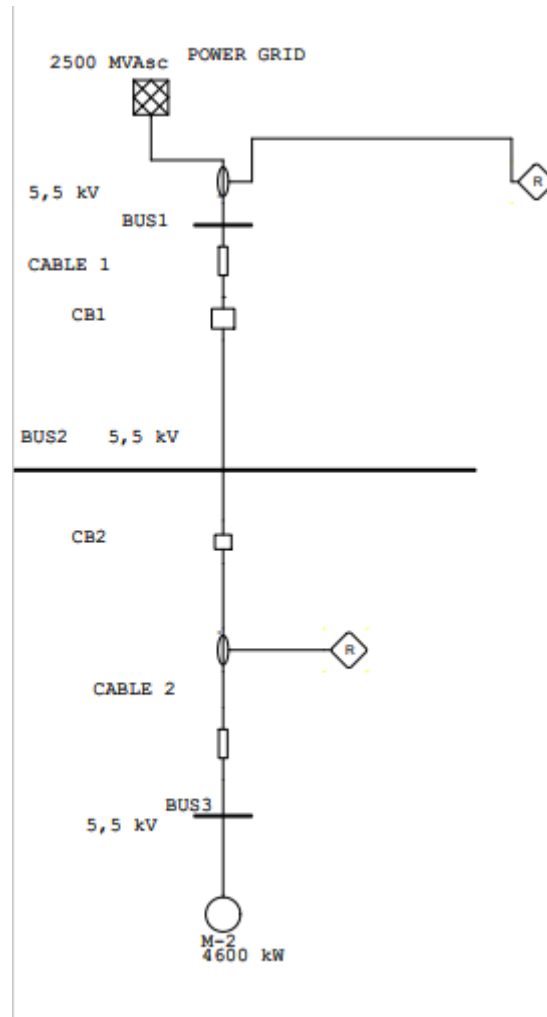
## **VI.7- Analyse du flux de charge dans un réseau électrique avec ETAP**


### **VI.7.1- Introduction**

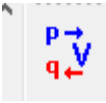
L'analyse du flux de charge (load flow analysis ) est une étape essentielle dans la conception et l'exploitation des réseaux électriques. Dans cette partie nous allons nous concentrer sur l'analyse du flux de charge dans un réseau électrique spécifique..

L'analyse du flux de charge permet de déterminer les courants, les tensions et les puissances à différents points du réseau électrique. Cela nous permet d'évaluer la stabilité du système, de dimensionner les équipements et de prendre des décisions éclairées concernant l'ajout de nouvelles charges ou la modification du réseau existant.

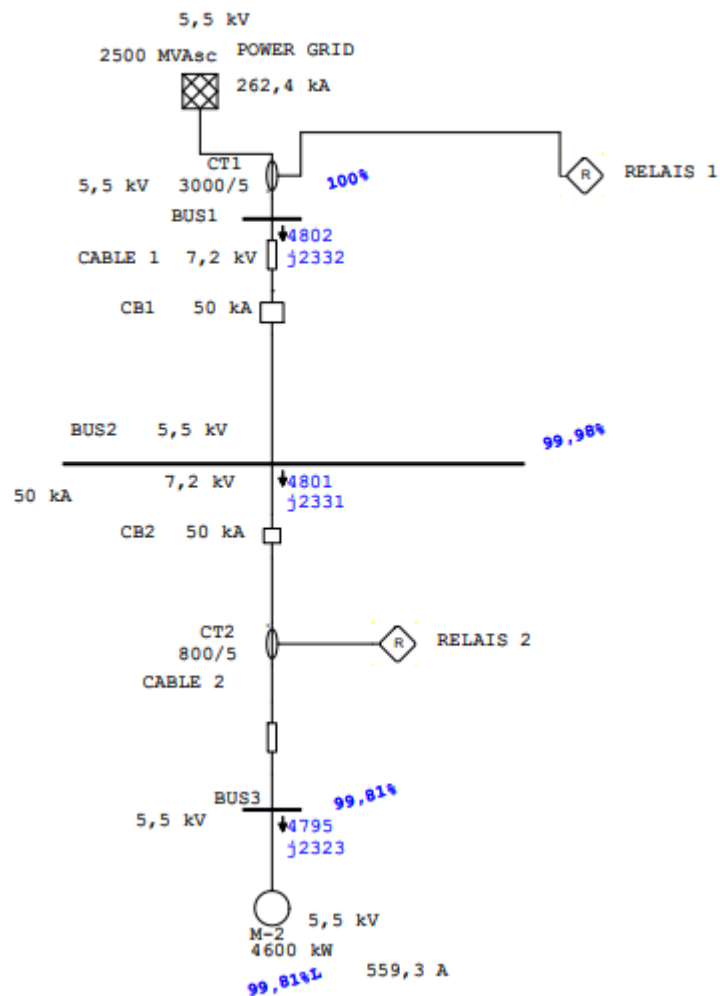
## Chapitre VI : Utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour la modélisation et l'analyse des systèmes électriques



Pour effectuer une analyse de flux de charge dans ETAP 12.6, nous devons cliquer sur l'icône correspondante dans la barre d'outils (LOAD FLOW ANALYSIS) , puis exécuter

l'analyse en cliquant sur le bouton "RUN LOAD FLOW " 

## One-Line Diagram - OLV2



Après une analyse approfondie du diagramme unifilaire de notre système électrique, nous constatons qu'il n'y a pas de chute de tension significative. Cela indique que la distribution de la tension est stable et que nos équipements électriques fonctionnent correctement sans perturbations majeures.

### VI.7.2- Conclusion

Grâce à ETAP, nous bénéficions d'une plateforme de modélisation avancée qui nous permet d'obtenir des résultats précis et de simuler différents scénarios pour évaluer l'impact des variations de charge et d'autres paramètres sur le moteur. Cela nous aide à prendre des décisions éclairées en matière de conception, de protection et de coordination du système électrique, afin d'assurer un fonctionnement sûr, fiable et efficace du moteur M-2 dans son environnement spécifique.

*Chapitre VII :*  
*Acceleration motor analysis*

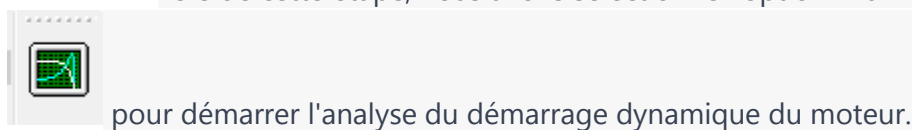
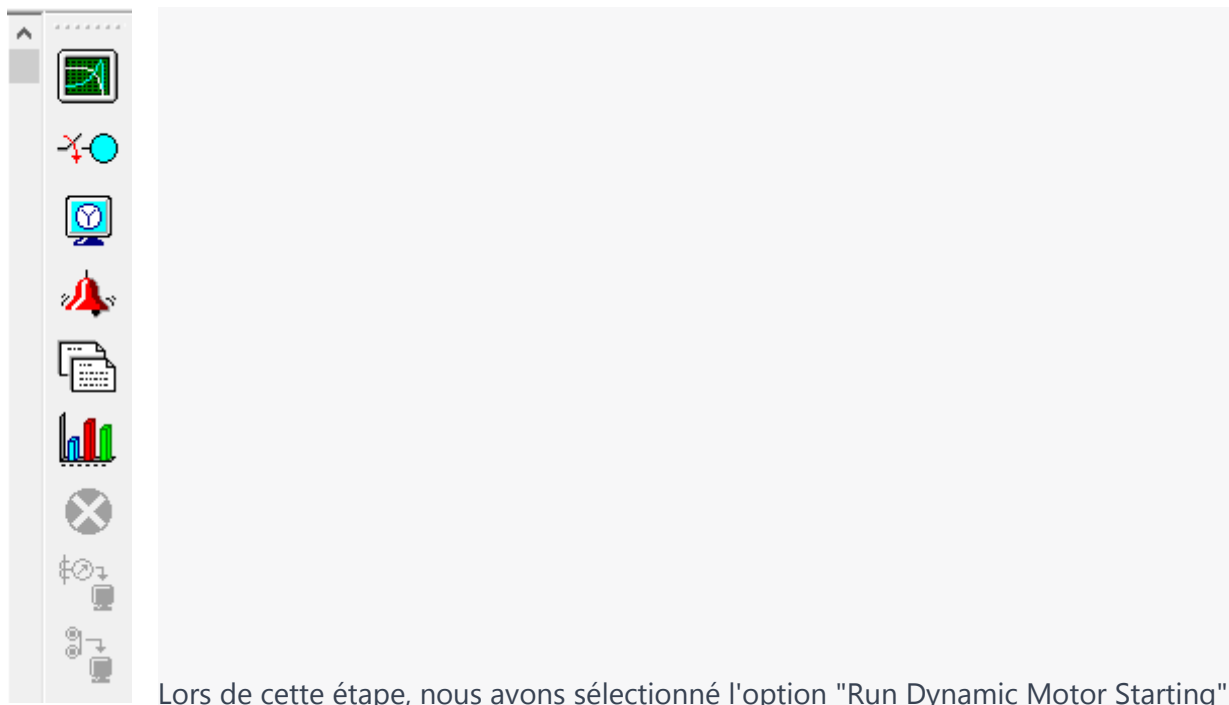
### VII.1- introduction

Le but de cette étude est d'introduire le module d'accélération du moteur d'ETAP. Il présentera les modèles statiques et dynamiques qui peuvent être utilisés pour simuler les caractéristiques réelles du moteur. La quantité minimale de données nécessaire pour exécuter chaque type d'étude sera saisie.

L'analyse de l'accélération du moteur est un aspect essentiel de l'étude des systèmes électriques. Le module d'accélération du moteur d'ETAP offre une solution avancée pour simuler et analyser les caractéristiques d'accélération du moteur. En utilisant les données nominales du moteur, telles que la puissance et la tension, ainsi que d'autres paramètres tels que l'inertie du rotor, le logiciel calcule la réponse dynamique du moteur lors de la phase d'accélération.

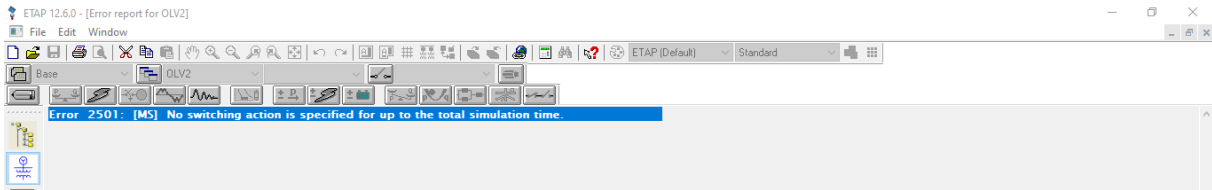



Nous avons procédé à l'analyse de l'accélération du moteur en appuyant sur l'option "Acceleration Motor Analysis".

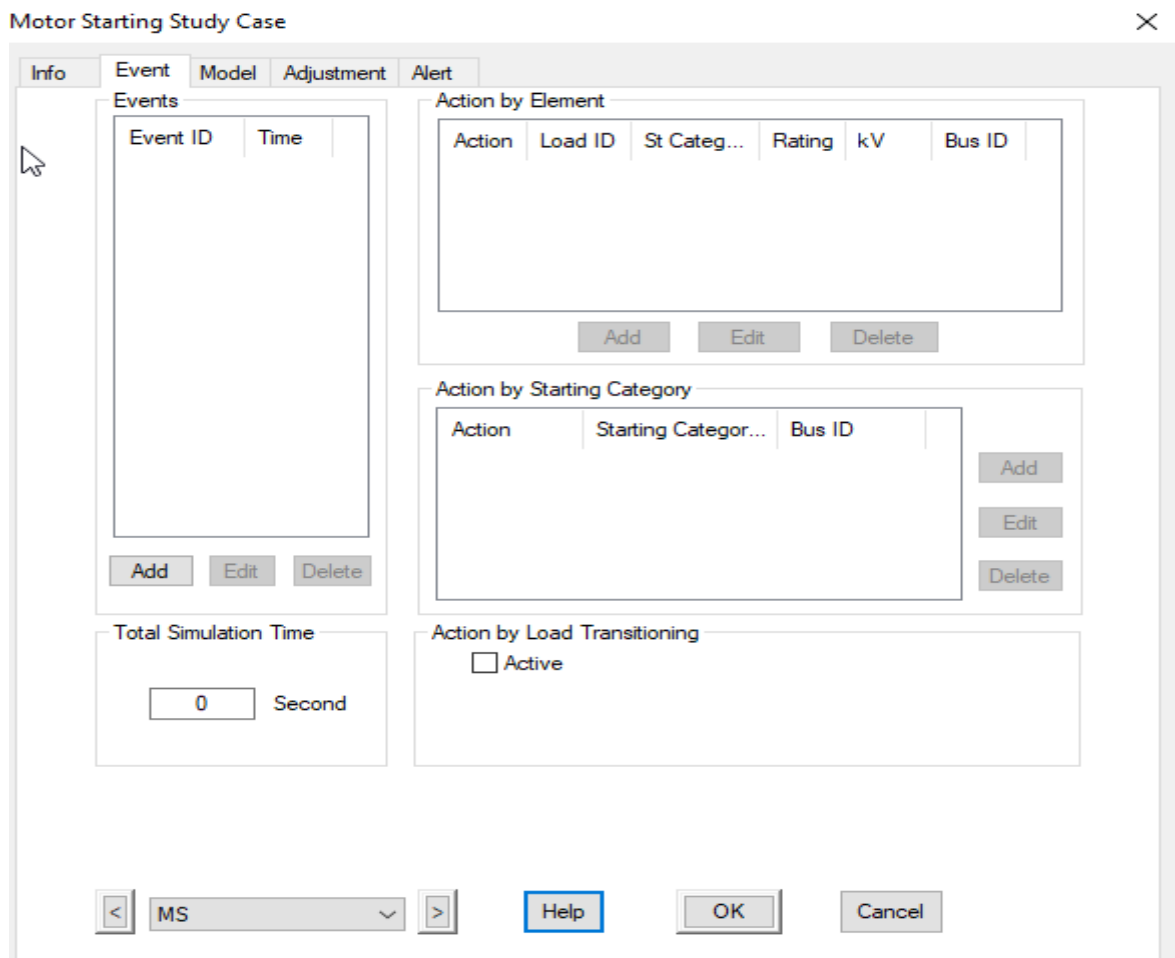


## Chapitre VII : Acceleration motor analysis

Lorsque nous avons appuyé sur "Run Dynamic Motor Starting", une fenêtre s'est ouverte indiquant qu'il n'y avait pas d'action de commutation disponible. Cela signifie que nous devons créer un événement spécifique pour simuler le démarrage du moteur dans l'analyse dynamique.



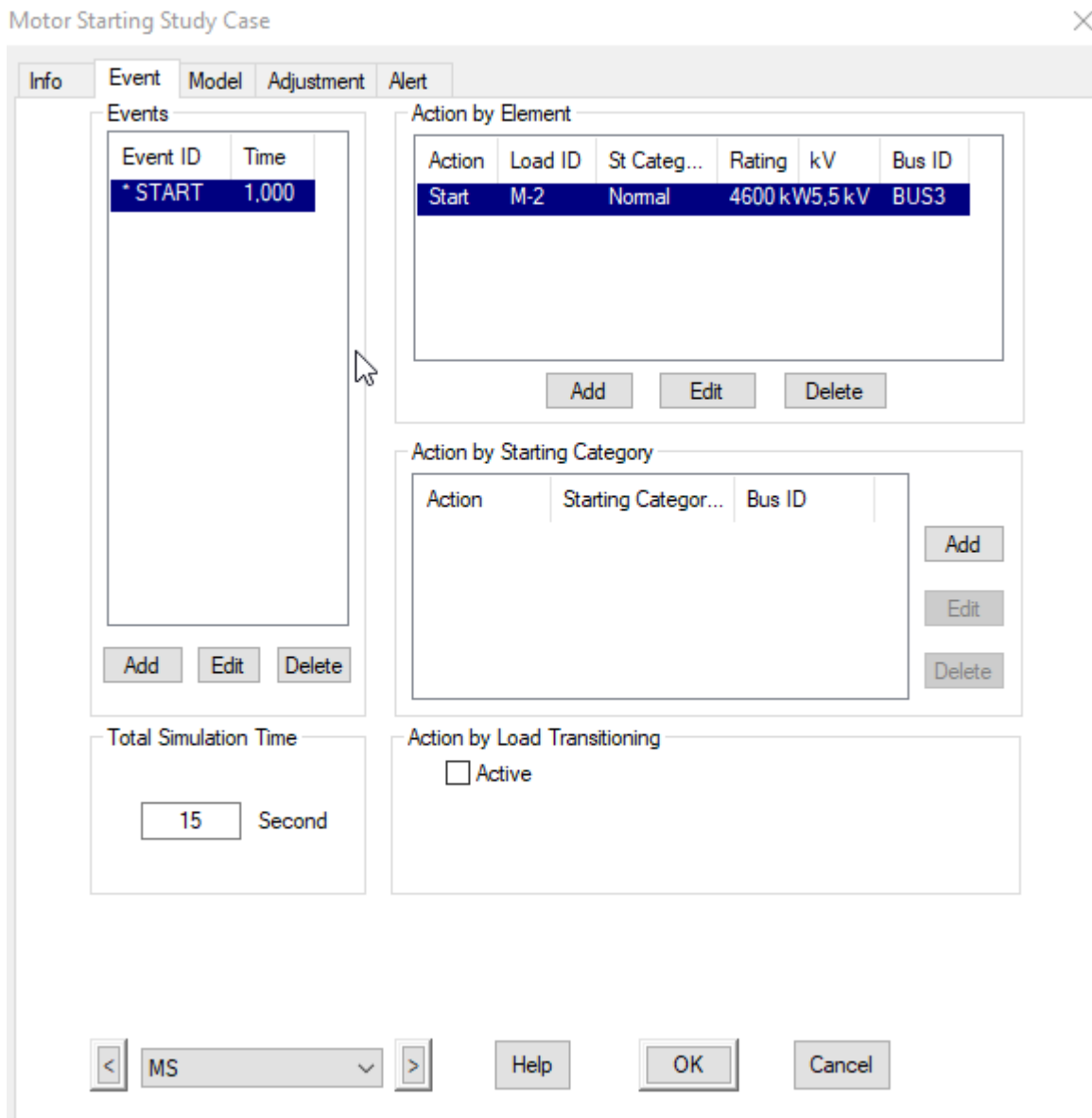
Pour commencer, nous entrons dans l'option "Study Case"  où nous sélectionnons l'action d'identification (ID ACTION) correspondant au démarrage du moteur souhaité, ou tout autre moteur que nous voulons étudier. Ensuite, nous spécifions le temps souhaité pour que le moteur démarre dans le schéma unifilaire. Nous avons également la possibilité de choisir d'autres éléments spécifiques du schéma unifilaire pour l'étude. Enfin, nous définissons la durée totale de la simulation afin d'obtenir des résultats précis et complets pour l'analyse du démarrage du moteur ou de tout autre moteur sélectionné



Dans cette étude, nous avons entré l'ID "START" pour l'action de démarrage du moteur, en spécifiant un temps de démarrage de 1 seconde. Il est important de noter que nous avons la

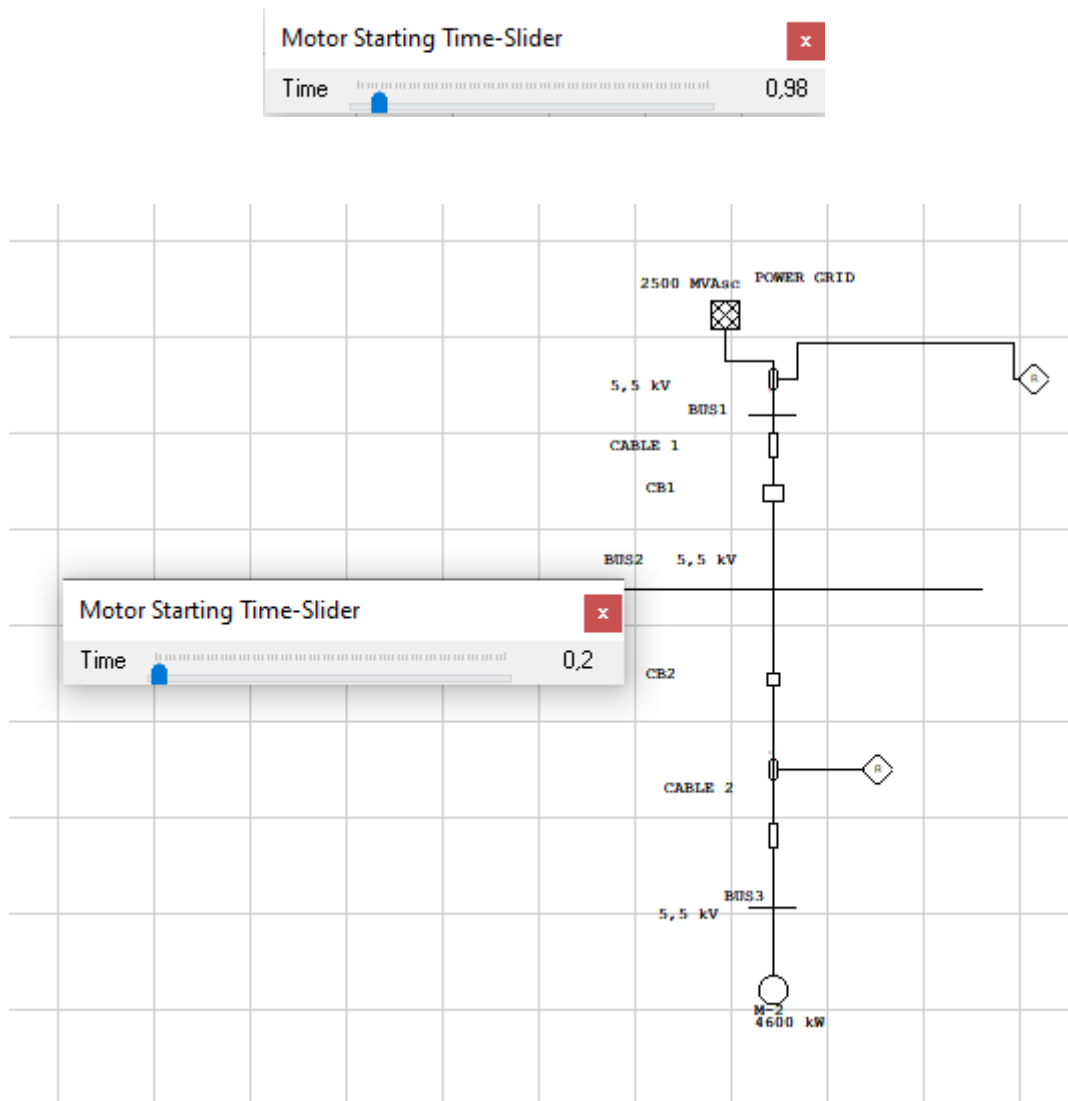
## Chapitre VII : Acceleration motor analysis

flexibilité de choisir différents ID d'action de démarrage en fonction de nos besoins spécifiques. De plus, nous avons choisi une durée totale de simulation de 15 secondes pour permettre une analyse approfondie du démarrage du moteur.

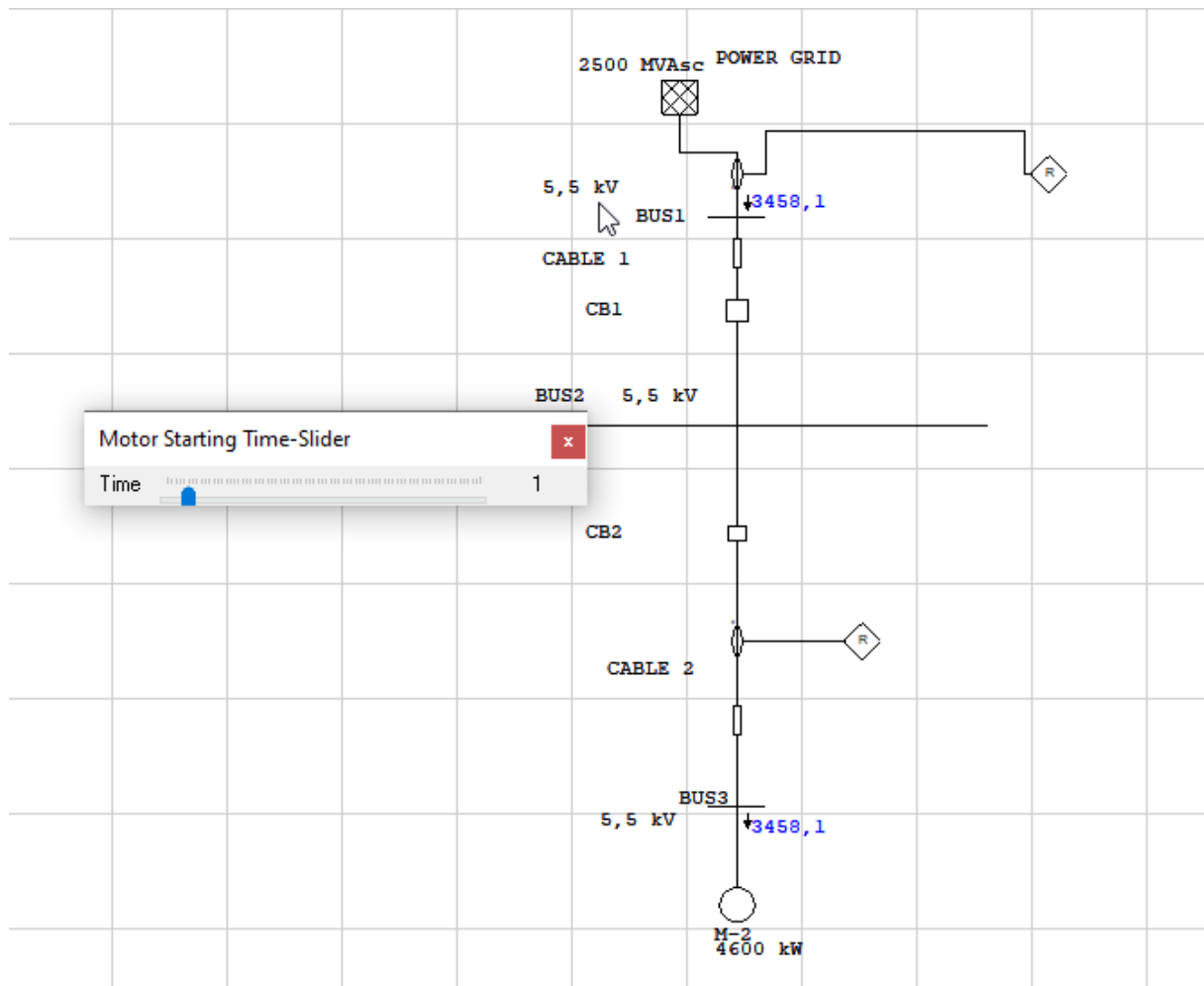


Une fois cette étape terminée, nous avons remarqué l'apparition du "Motor Time Slider", qui nous permet de contrôler le temps en avançant ou en diminuant la durée de la simulation. Il est important de rappeler que la durée de simulation initialement définie était de 15 secondes. Grâce à ce curseur, nous pouvons ajuster et observer les différentes étapes et performances du moteur tout au long de la période de simulation.

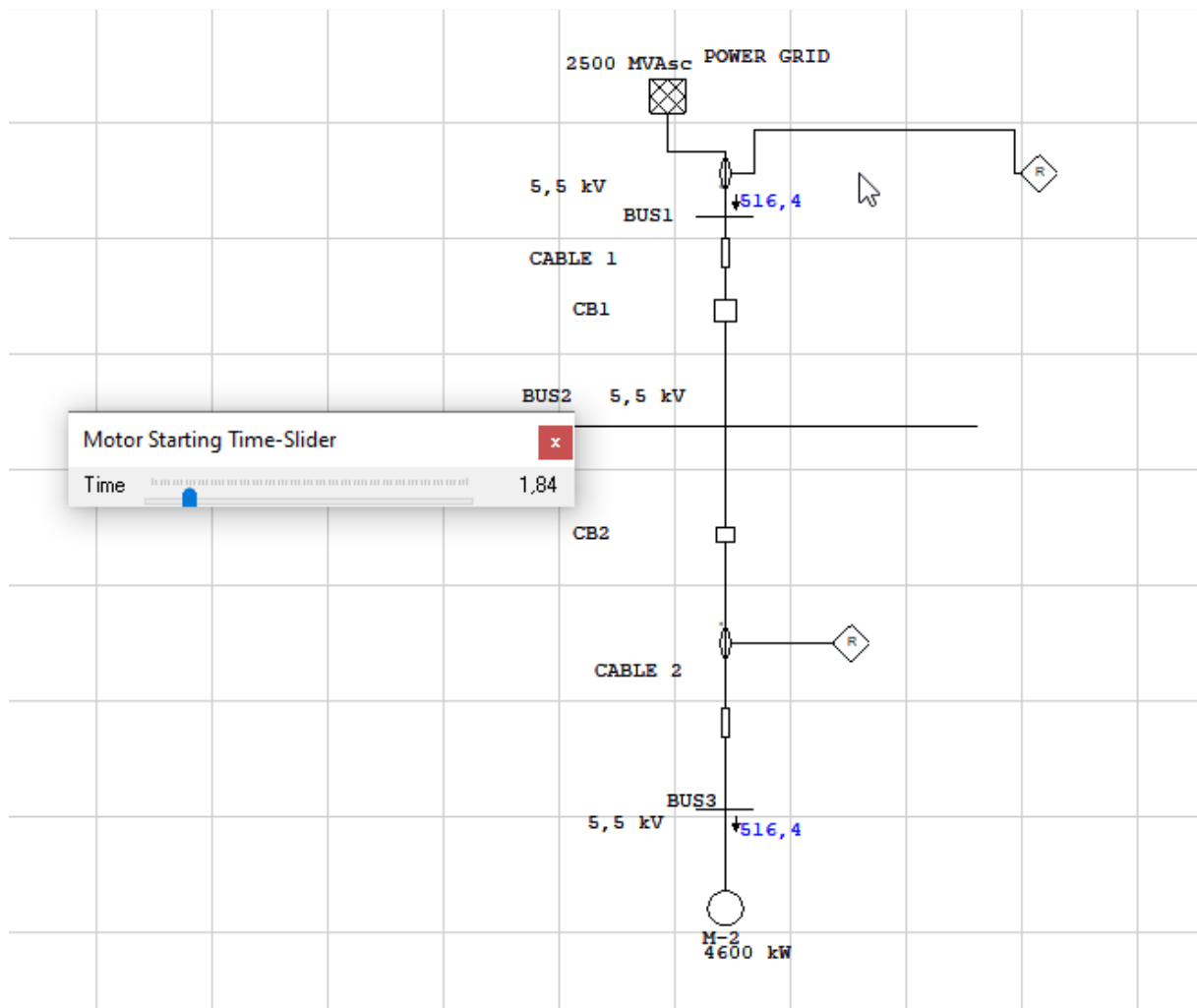
## Chapitre VII : Acceleration motor analysis



Après 0,2 seconde, nous constatons que le moteur demeure immobile, sans aucun signe de démarrage ou de mouvement.




Lorsque nous avons défini le temps de démarrage du moteur à une seconde, nous avons observé que le moteur absorbait un courant de démarrage élevé de 3458 A. Cette valeur élevée reflète le courant initial nécessaire pour mettre en marche le moteur et surmonter les forces de résistance au démarrage.

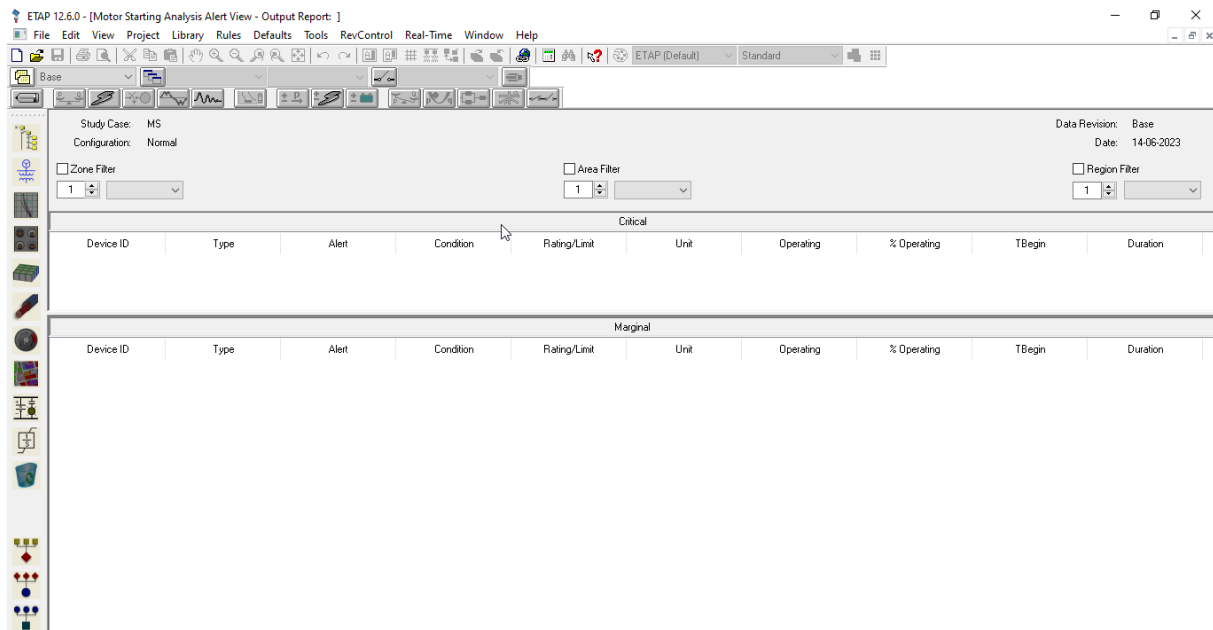


Après 1,84 seconde, nous observons que le moteur atteint un courant stabilisé de 516,4 A. Cela indique que le moteur a surmonté les conditions de démarrage initiales et fonctionne désormais à son courant nominal.

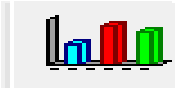


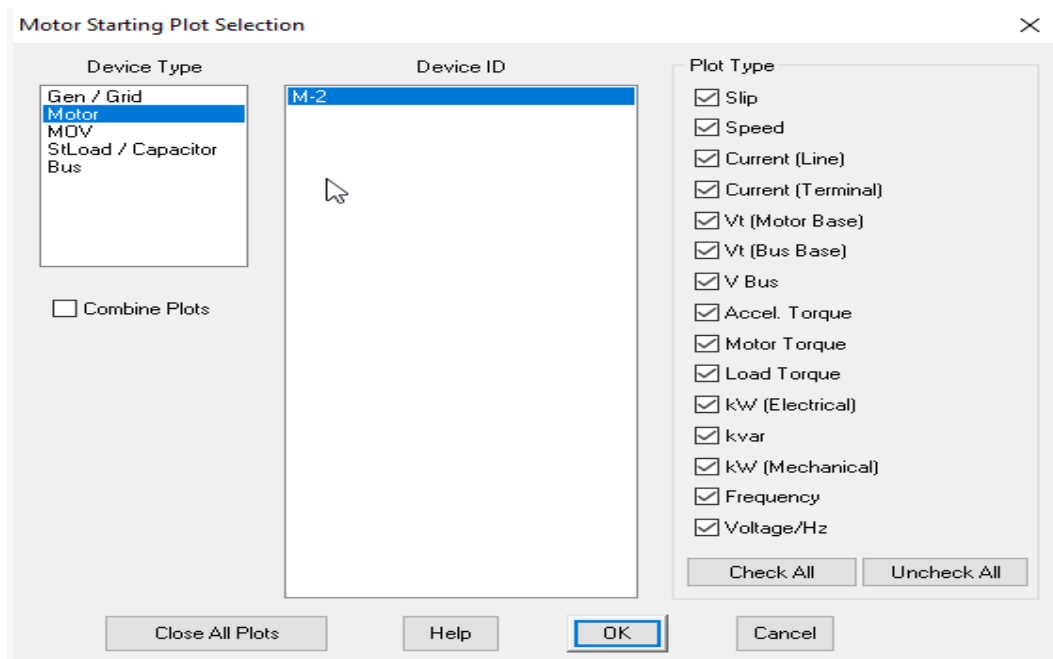
Lorsque nous avons appuyé sur "Alert View"  , nous avons pu visualiser les alertes éventuelles liées au fonctionnement du moteur.

## Chapitre VII : Acceleration motor analysis



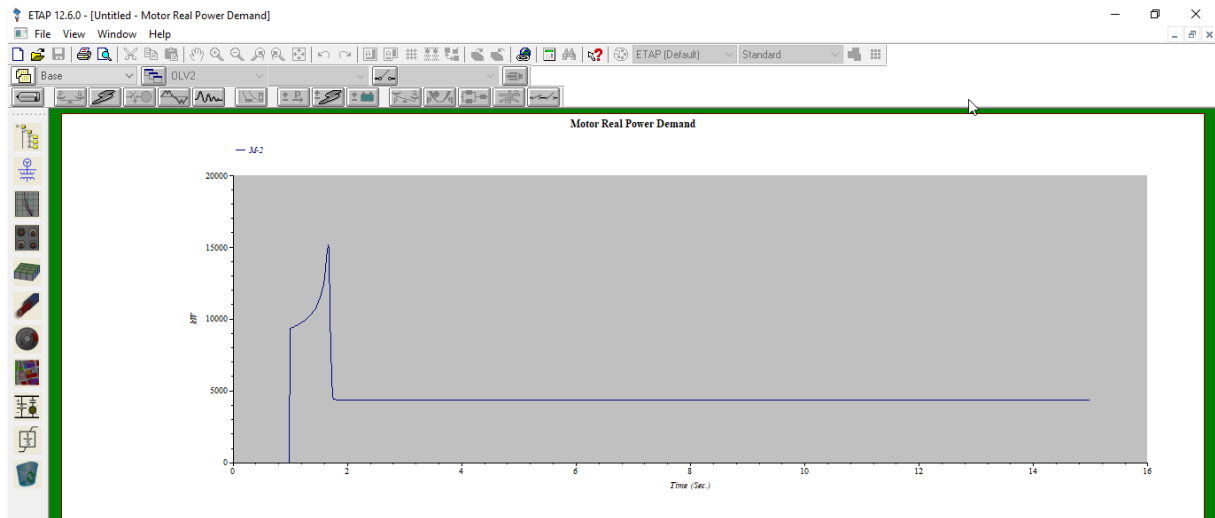
Dans cette fenêtre, nous constatons l'absence d'alerte marginale ou critique, ce qui indique que notre moteur fonctionne sans aucun problème. Cette observation confirme que le moteur est en bon état de fonctionnement et qu'il n'y a pas de conditions anormales ou de dysfonctionnements détectés pendant la simulation.

Lorsque nous avons appuyé sur "Motor Starting Plots" , le module d'accélération dynamique du moteur dans ETAP a généré des graphiques illustrant les courbes d'accélération de la vitesse, du couple, ainsi que les variations de courant, de tension et de puissance. Ces résultats graphiques offrent une représentation visuelle claire des performances du moteur pendant la phase de démarrage, permettant une analyse approfondie de son comportement dynamique.



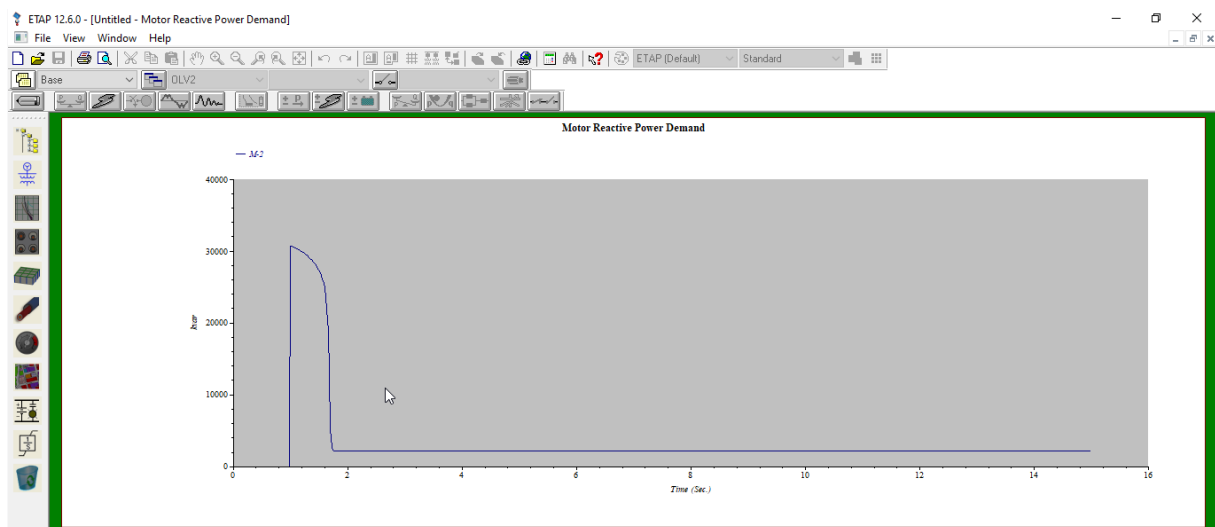
### VII.2- Les courbes montrés par ETAP

#### VII.2.1- la demande réelle de puissance :



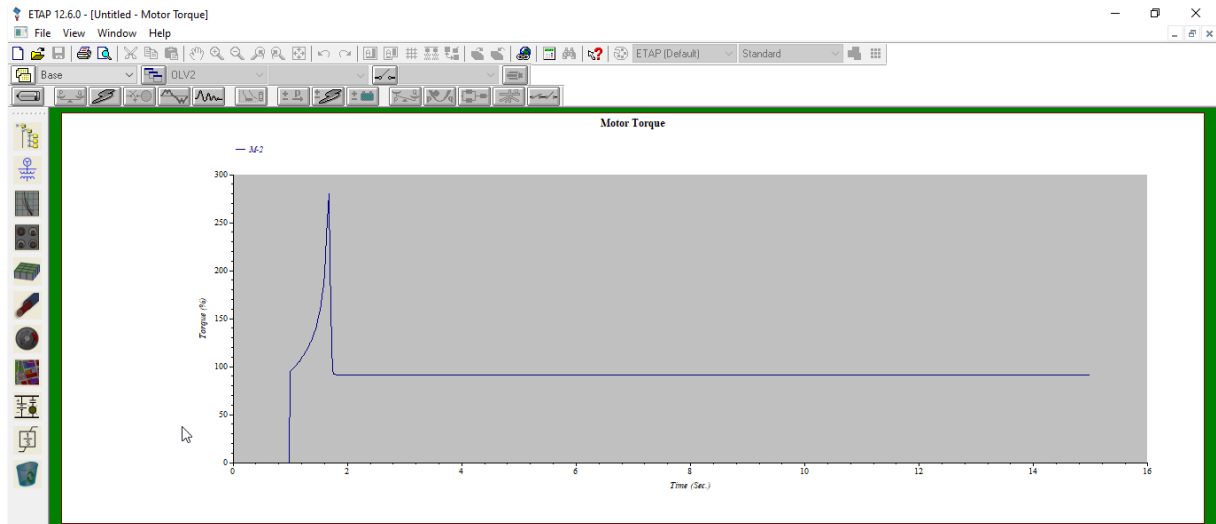
Les variations de la demande réelle de puissance du moteur en fonction du temps.

#### VII.2.2- la demande réactive de puissance :



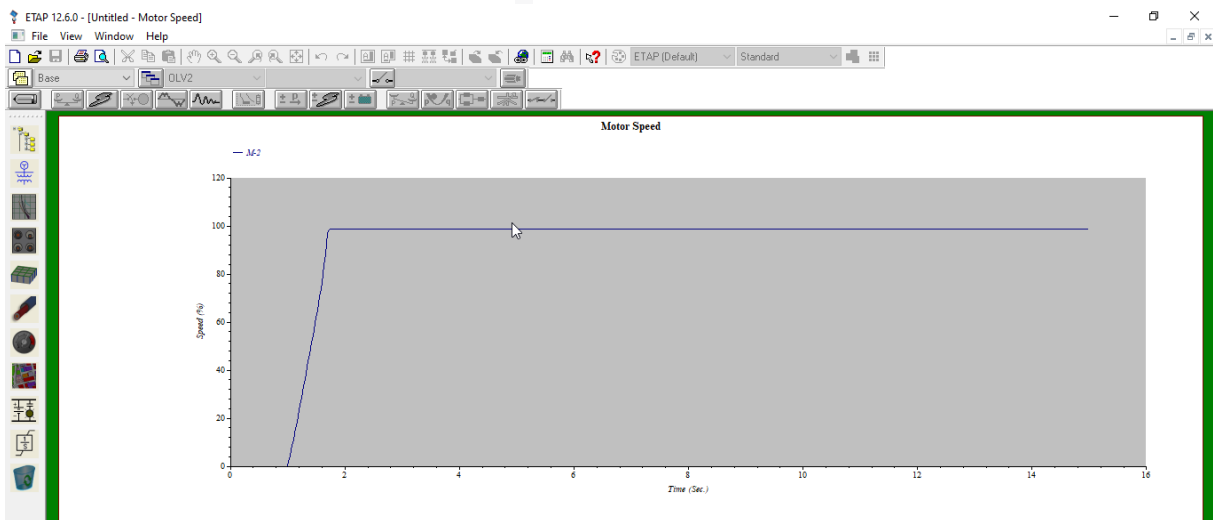
Cette courbe représente les variations de la demande réactive de puissance du moteur en fonction du temps.

### VII.2.3- couple moteur :



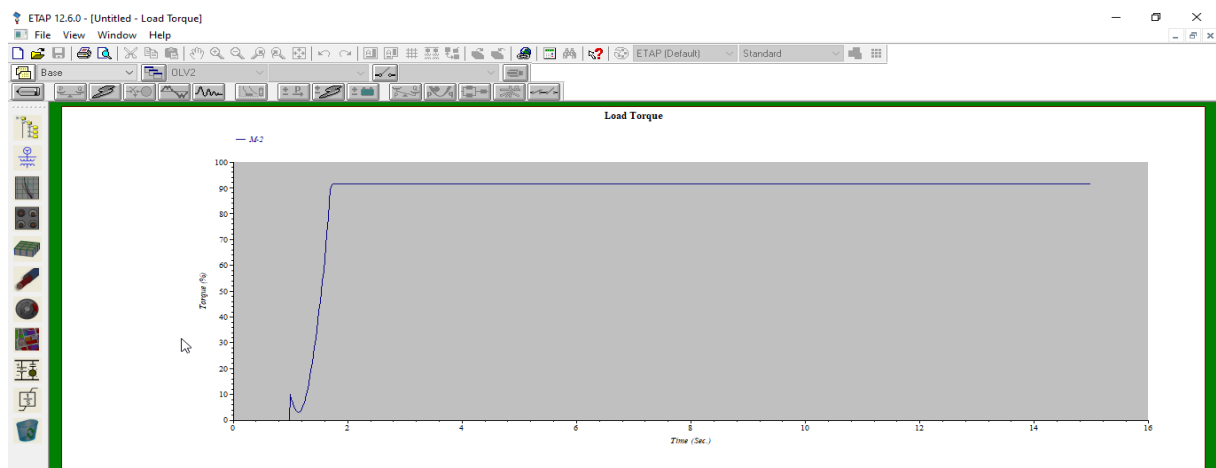
Cette courbe représente les variations du couple moteur en fonction du temps.

### VII.2.4- la vitesse du moteur :



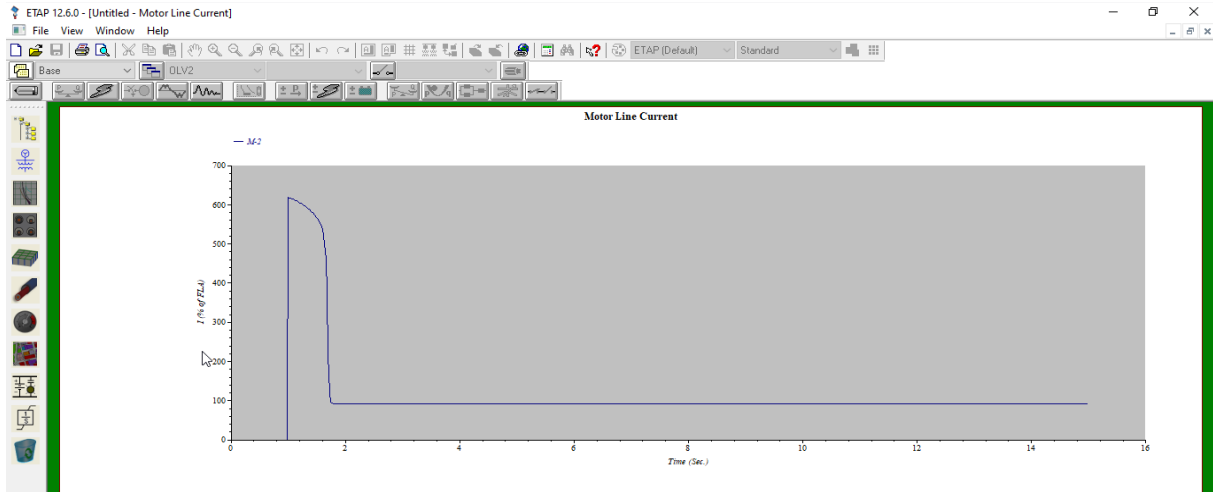
Cette courbe représente les variations de la vitesse du moteur en fonction du temps.

### VII.2.5- couple de charge



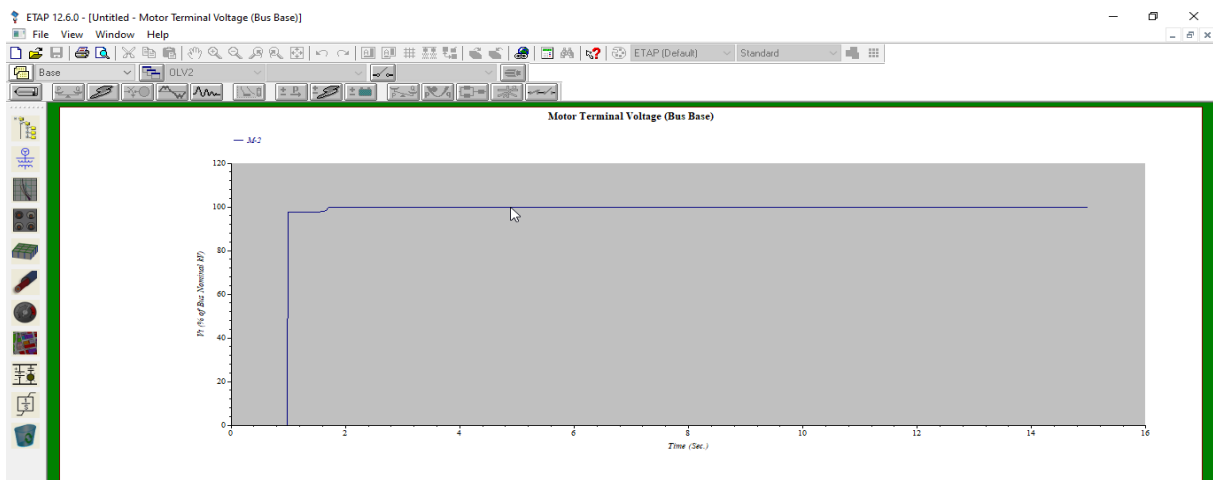
Cette courbe représente les variations du couple de charge en fonction du temps.

### VII.2.6- courant de ligne du moteur



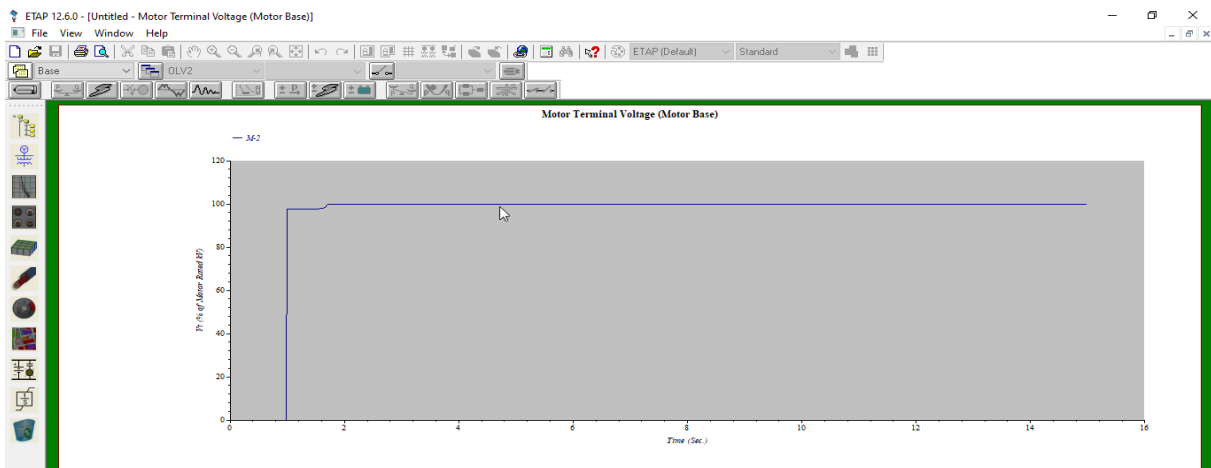
Cette courbe représente les variations du courant de ligne du moteur en fonction du temps.

### VII.2.7- la tension aux bornes du moteur (tension de bus de base) :



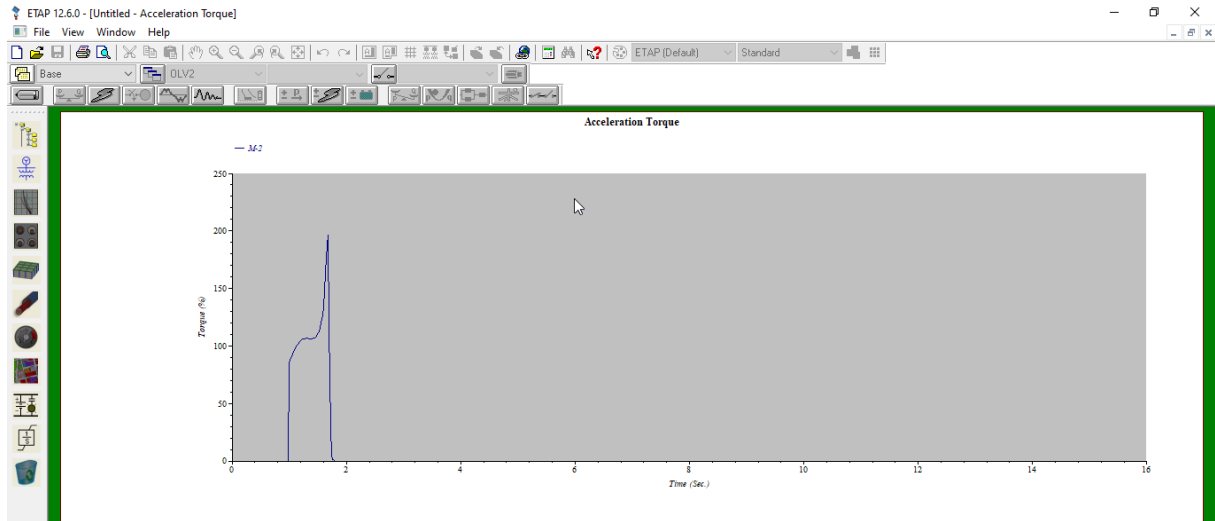
Cette courbe représente les variations de la tension aux bornes du moteur (tension de bus de base) en fonction du temps.

### VII.2.8- la tension aux bornes du moteur (tension de base du moteur)



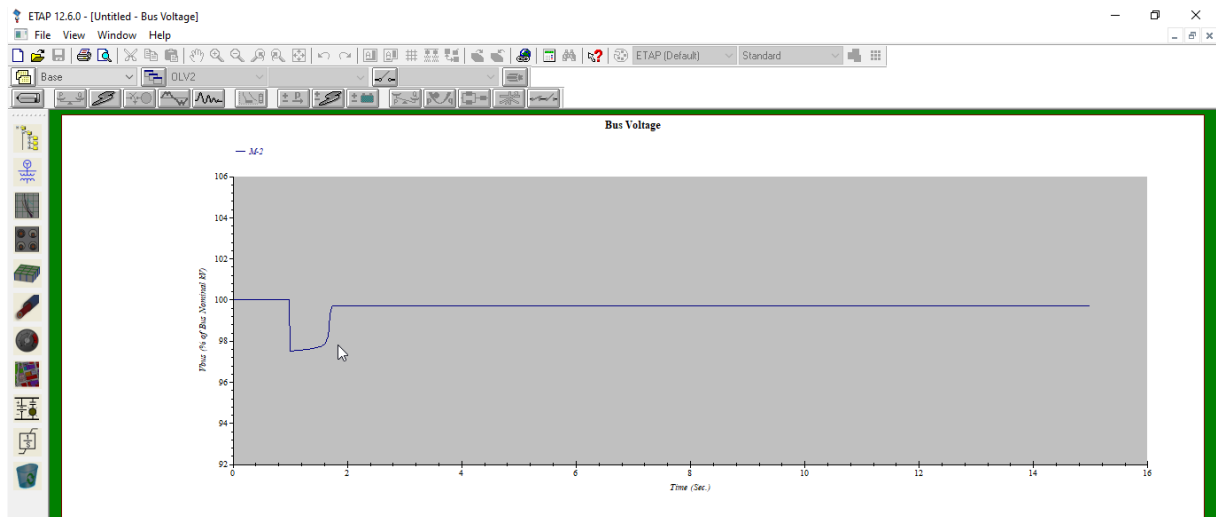
Cette courbe représente les variations de la tension aux bornes du moteur (tension de base du moteur) en fonction du temps.

### VII.2.9 couple d'accélération du moteur



Cette courbe représente les variations du couple d'accélération du moteur en fonction du temps.

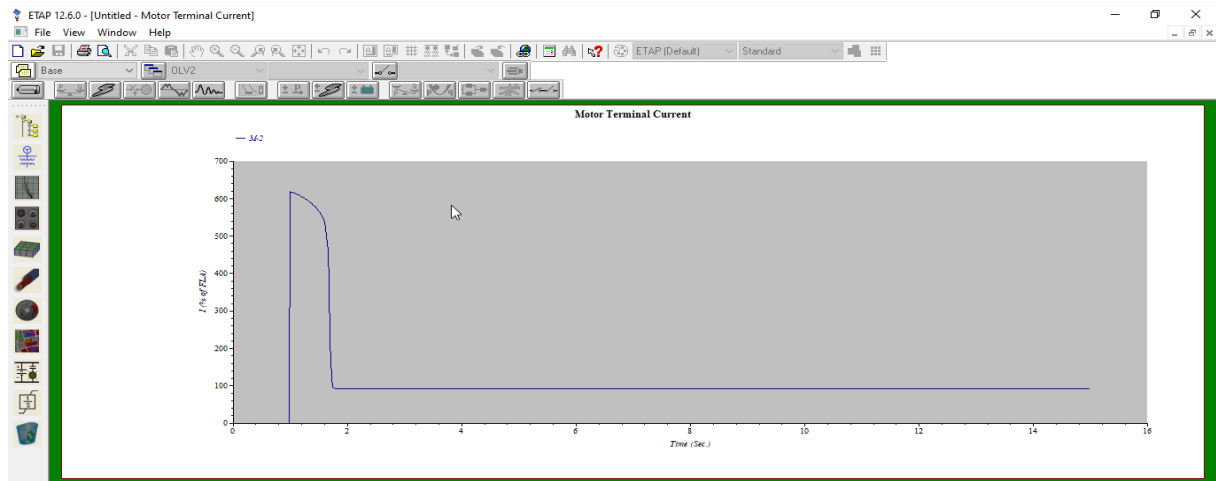
### VII.2.10- la tension du bus (ou tension d'alimentation)



Cette courbe représente les variations de la tension du bus (ou tension d'alimentation) en fonction du temps.

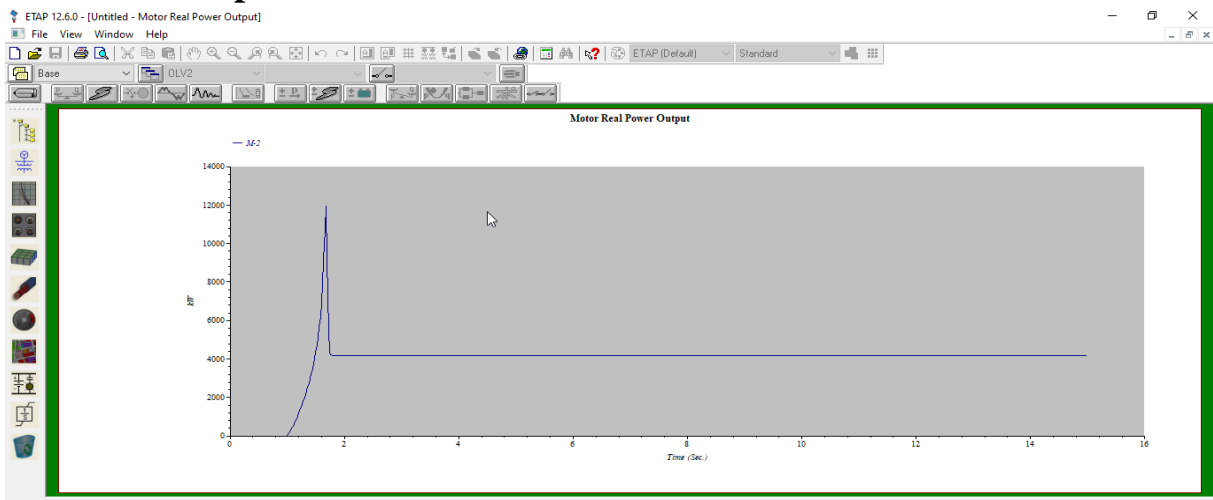
### VII.2.11- courant aux bornes du moteur :

## Chapitre VII : Acceleration motor analysis



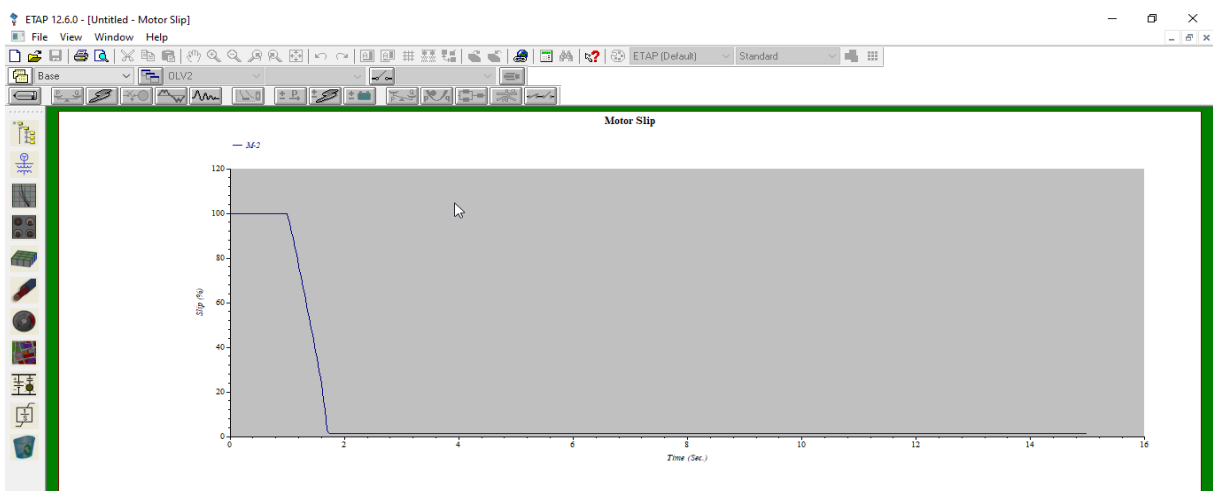
Cette courbe représente les variations du courant aux bornes du moteur en fonction du temps.

### VII.2.12- la puissance réelle de sortie du moteur



Cette courbe représente les variations de la puissance réelle de sortie du moteur en fonction du temps.

### VII.2.13- glissement du moteur :



Cette courbe représente les variations du glissement du moteur en fonction du temps.

### VII.3- Conclusion

L'étude de l'accélération dynamique du moteur dans ETAP a fourni des informations précieuses sur les performances de notre moteur de 4,6 kW. Grâce à l'utilisation de plots graphiques, nous avons pu observer les courbes d'accélération de la vitesse, du couple, ainsi que les variations de courant, de tension et de puissance. Ces résultats ont permis d'évaluer la réactivité du moteur lors du démarrage et de vérifier sa capacité à surmonter les forces de résistance initiales.

Nous avons constaté que le moteur a réussi à atteindre un courant stabilisé de 516,4 A après 1,84 seconde, ce qui démontre son bon fonctionnement et sa capacité à fournir la puissance nominale. De plus, aucune alerte marginale ou critique n'a été détectée, indiquant que le moteur fonctionne sans aucun problème majeur.


L'étude de l'accélération dynamique du moteur dans ETAP a donc confirmé la fiabilité et les performances satisfaisantes de notre moteur de 4,6 kW. Ces informations sont essentielles pour garantir un démarrage efficace et une exploitation optimale du moteur dans notre système électrique.


*Chapitre VIII :*  
*Protection du Moteur 4.6 MW*

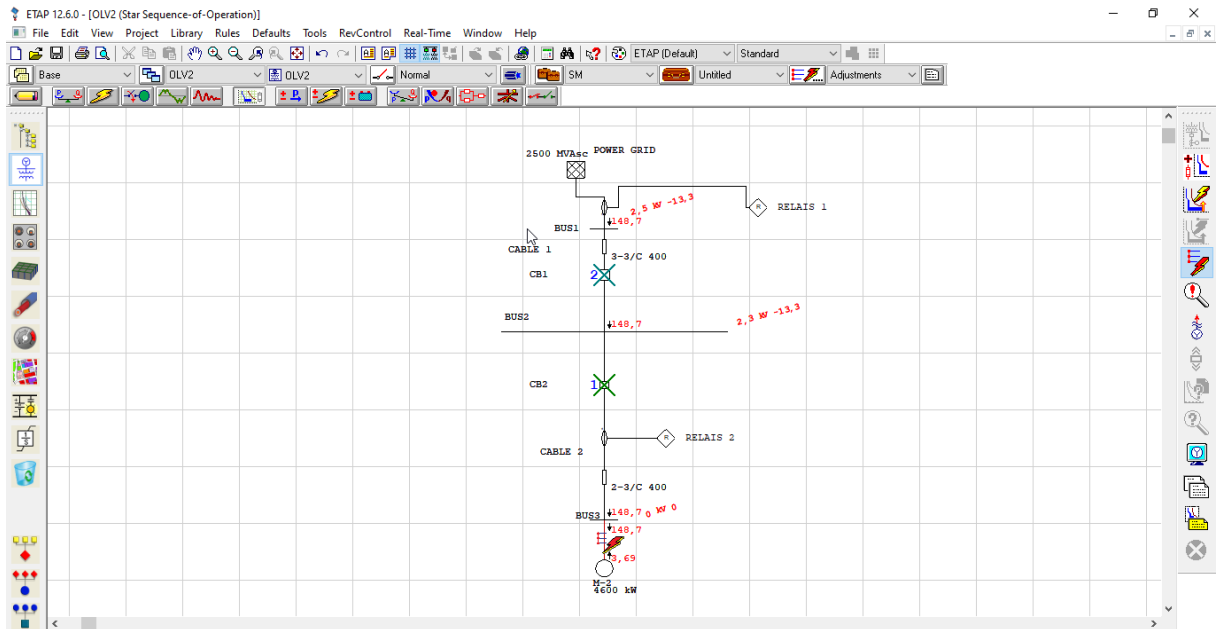
### VIII.1- L'étude de la surintensité avec ETAP

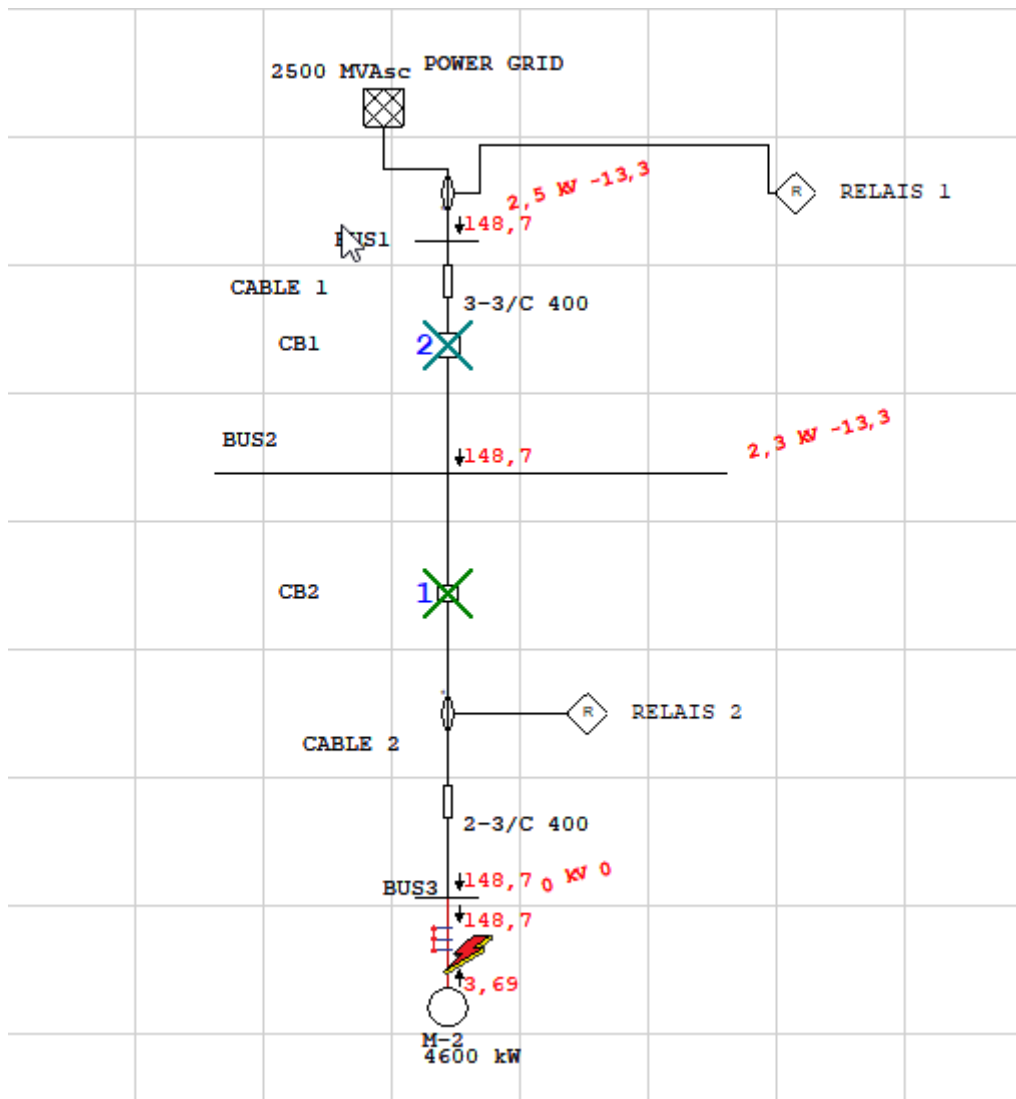
L'étude de la surintensité est essentielle pour garantir la protection et la fiabilité des systèmes électriques. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous concentrons sur l'utilisation du logiciel ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) pour réaliser une étude de la surintensité.

L'objectif principal de cette étude est d'analyser les performances des dispositifs de protection contre les surintensités, tels que les relais et les disjoncteurs, et d'évaluer leur coordination pour une réponse optimale en cas de surcharge ou de court-circuit. Au cours de cette étude, nous examinerons les caractéristiques du système électrique, y compris les données du disjoncteur, les spécifications du transformateur de courant (TC) et les paramètres du relais utilisé. L'utilisation du logiciel ETAP nous permettra de modéliser le système électrique, de simuler des scénarios de surintensité et d'analyser les performances des dispositifs de protection en termes de temps de déclenchement, de coordination et de sélectivité.

Nous réaliserons une étude de surintensité consiste que nous activerons la fonctionnalité "Coordination des dispositifs de protection" (Protective Device Coordination Star)  .

Ensuite, nous utiliserons la fonctionnalité "Insertion de défaut" (Fault Insertion)  pour simuler des défauts dans le système.





Lors de notre étude de coordination des disjoncteurs, nous avons utilisé le diagramme unifilaire pour choisir judicieusement l'emplacement de notre curseur. Nous avons identifié l'emplacement de la faute et nous avons analysé les réactions des disjoncteurs.

Nous avons constaté que le deuxième disjoncteur (CB2) a été déclenché en premier, suivant notre stratégie de coordination. Cette réaction a permis d'isoler la partie du système électrique affectée par le défaut, réduisant ainsi les risques de propagation et de dommages supplémentaires.

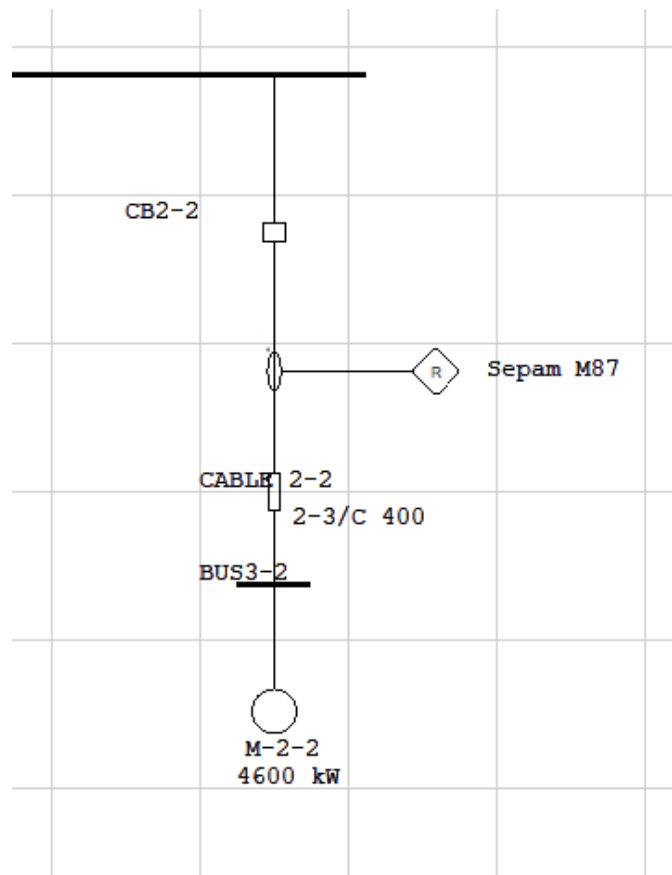
Ensuite, le premier disjoncteur (CB1) a été déclenché à son tour, confirmant que notre coordination était correcte. Cette séquence de déclenchement des disjoncteurs reflète une coordination efficace, où chaque disjoncteur a réagi en fonction de son réglage de déclenchement et de son temps de réponse. Notre approche basée sur l'emplacement de la faute et la séquence de déclenchement des disjoncteurs démontre l'importance d'une coordination soigneusement planifiée pour assurer la fiabilité et la sécurité du système électrique étudié.

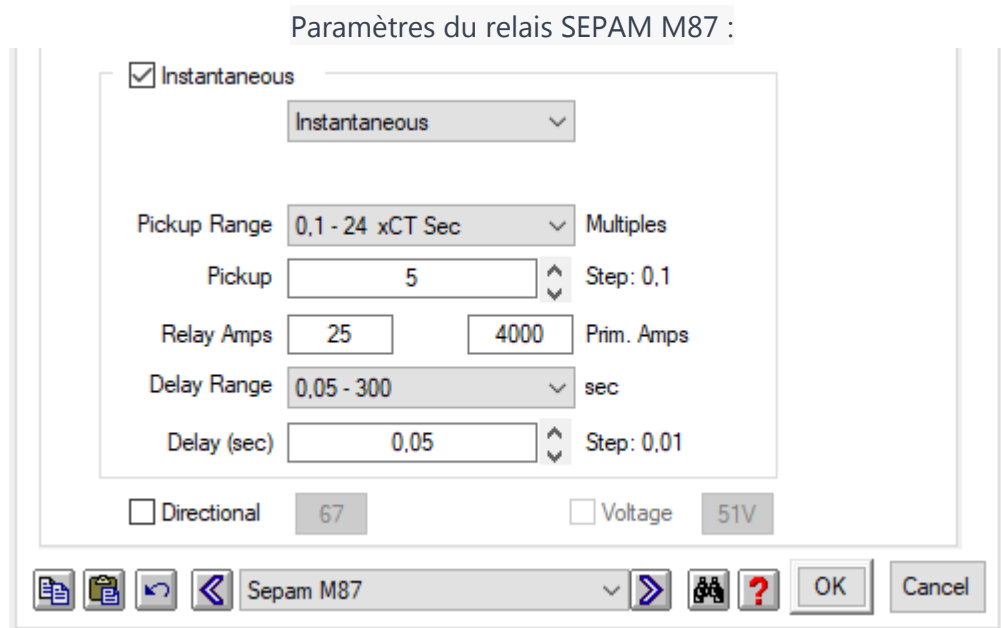
## VIII.2 Etude comparative des performances des relais IMM 7990 et Sepam M87 dans la détection des surintensités avec logiciel ETAP

Dans ce mémoire, nous nous concentrons sur l'étude comparative des performances des relais IMM 7990 et Sepam M87, spécifiquement dans le contexte de la protection des moteurs électriques d'une puissance de 4,6 kW. L'objectif est de déterminer quel relais offre les caractéristiques les plus appropriées pour assurer une protection efficace du moteur dans notre système électrique. Pour réaliser cette comparaison, nous avons utilisé le logiciel de simulation électrique ETAP, qui offre une plateforme permettant de modéliser les différents composants du système électrique, de configurer les paramètres des relais de simuler des défauts de surintensité pour évaluer les performances des relais.

La méthodologie adoptée consiste à modéliser le système électrique avec ses disjoncteurs, et autres éléments pertinents, en intégrant les données techniques spécifiques des relais IMM 7990 et Sepam M87. Nous avons ensuite introduit des défauts de surintensité dans le modèle et observé les réactions de chaque relais en termes de temps de déclenchement et d'efficacité de la détection.

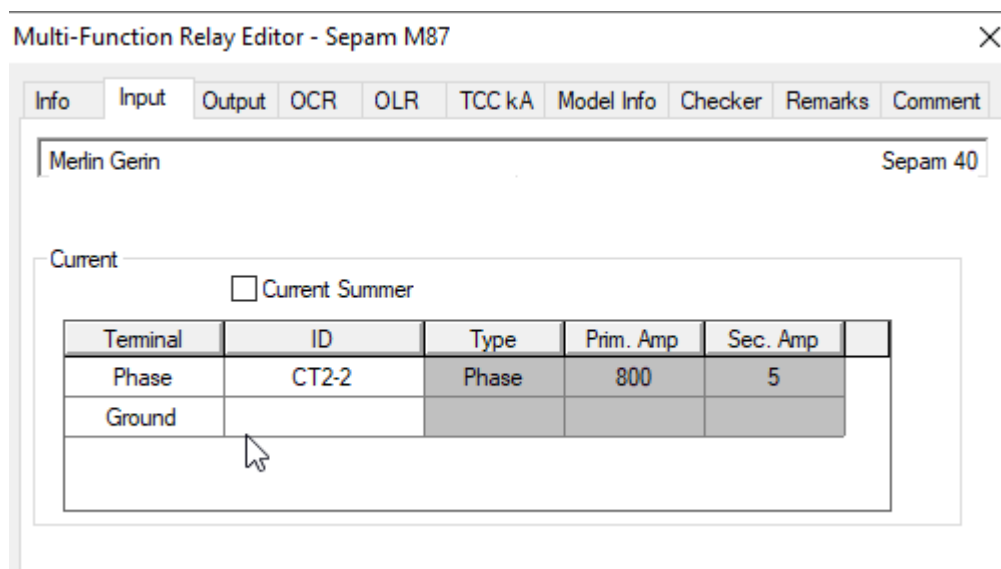
### VIII.2.1- La protection numérique simulée SEEPAM M87





Le relais Merlin Gerin Sepam M87 est un relais instantané utilisé pour la protection et le contrôle des circuits électriques, basée sur le courant de court-circuit primaire du TC. Le relais est réglé pour se déclencher à des multiples de déclenchement de 5, avec un ampérage de relais de 25 A. Le courant primaire du relais est de 4000 A, ce qui lui permet de gérer des charges importantes. Le relais dispose d'une plage de délai de 0,05 à 300 secondes, mais il est réglé pour un délai de déclenchement de 0,05 seconde, assurant ainsi une réaction rapide en cas de problème électrique.

### VIII.2.2- Le transformateur de courant (TC) associé



Le transformateur de courant (TC) associé est conçu pour mesurer le courant dans le circuit. Il a un rapport de transformation de 800:5, ce qui signifie que le courant mesuré dans le primaire de 800 A est réduit à un courant secondaire de 5 A. Classé avec la désignation 5P10, ce TC est capable de gérer une charge maximale de 15 VA.

### VIII.2.3- Le disjoncteur HT associé

High Voltage Circuit Breaker Editor - CB2-2

Info Rating Reliability Interlock Remarks Comment

7,2 kV 0,07 sec 50 kA 125 kA

Standard  
 ANSI  
 IEC

Library Info  
  
MFR   
Model

Rating

Rated kV	Rated Amp	FPC Factor	Ithr
<input type="text" value="7,2"/>	<input type="text" value="1250"/>	<input type="text" value="1,3"/>	<input type="text" value="0"/>
Min. Delay	Making Peak	TRV	AC Breaking
<input type="text" value="0,07"/>	<input type="text" value="125"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="50"/>
Tkr	<input type="text" value="3"/>		

Application/Association  
 Association

Interlock

Relay Element	Level/Zone	Device	ID	Action
Any	Any	HVCB	CB2-2	Open

Le disjoncteur Merlin Gerin MCsetLF3 est conçu pour des applications à une tension nominale de 7,2 kV et un courant nominal de 1250 A. Il possède un délai minimal de

## Chapitre VIII : Protection du Moteur 4.6 MW

déclenchement de 0,07 seconde, ce qui lui permet de réagir rapidement en cas de surcharge ou de court-circuit. Avec une capacité de pointe de fermeture de 125 kA et une capacité de coupure en courant alternatif de 50 kA, ce disjoncteur offre une protection robuste contre les courts-circuits.

Nous effectuerons une nouvelle étude de surintensité pour notre système, suivie de



l'utilisation de la fonction "Sequence Viewer".

Cela nous permettra de visualiser les séquences d'opérations de protection dans notre système.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
50,0	Sepam M87	148,7	50,0		Phase - OC1 - 50
120	CB2-2		70,0		Tripped by Sepam M87 Phase - OC1 - 50
12500	RELAIS 1-2	148,7	12500		Phase - OC1 - 51
12570	CB1-2		70,0		Tripped by RELAIS 1-2 Phase - OC1 - 51

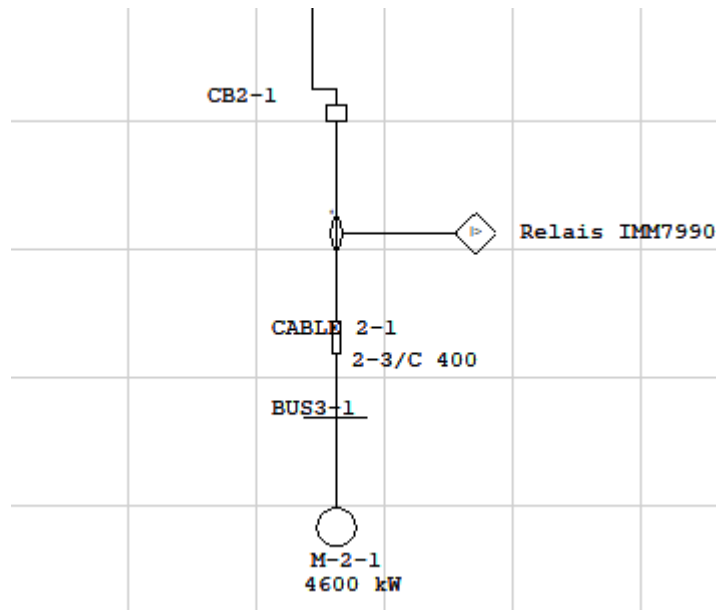
Nous avons constaté que notre relais numérique a réagi de manière précoce et rapide, avec un délai de temps de déclenchement de 50 ms, lorsqu'un courant de défaut de 148,7 kA a été détecté. Cela démontre l'efficacité de notre relais dans la détection et la réponse rapide aux surintensités potentiellement dommageables pour le moteur.

Ensuite, le disjoncteur CB2 a été déclenché avec un délai de 120 ms, offrant une protection supplémentaire et limitant davantage les effets du défaut de surintensité.

Le relais situé près de la source d'alimentation a été configuré avec un délai de temps de déclenchement de 12 500 ms, permettant une temporisation plus longue pour évaluer la situation du défaut et décider de la meilleure action à entreprendre.

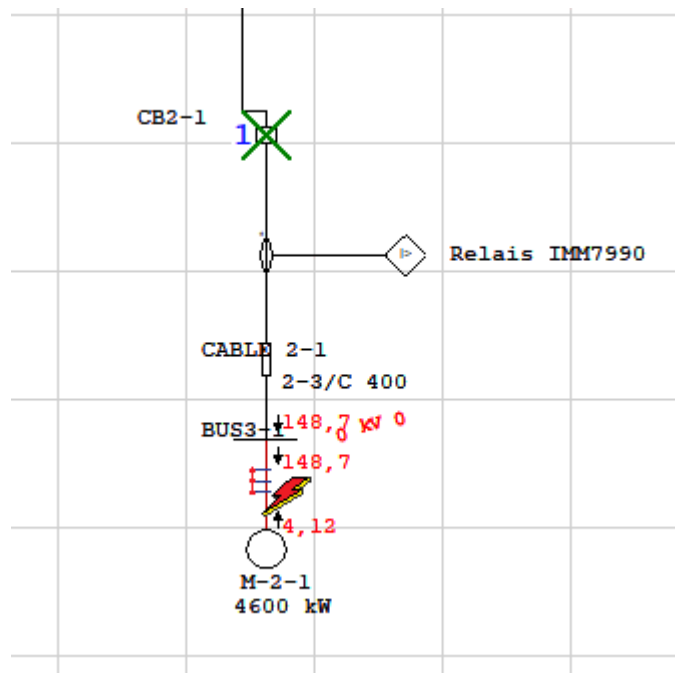
Enfin, le disjoncteur CB1 a été déclenché avec un délai de temps de 12 570 ms, assurant une protection complète et éliminant définitivement le défaut de surintensité du système électrique.

VIII.2.4- La protection analogique simulé IMM 7990.



En suivant les mêmes étapes que précédemment pour l'étude de la surintensité, nous avons conservé le transformateur de courant (TC) et le disjoncteur (CB) utilisés précédemment. Cependant, nous avons utilisé les paramètres suivants pour le relais analogique lors de notre étude.

VIII.3- Etude de surintensité



Instantaneous

Pickup Range 1 - 25 xCT Sec Multiples

Pickup 5 Step: 0,1

Relay Amps 25 4000 Prim. Amps

Delay Range 0,1 - 3 sec

Delay (sec) 0,1 Step: 0,05

Relais IMM7990 OK Cancel

Nous avons également utilisé le relais analogique IMM 7990 pour fournir une protection instantanée contre les surintensités. Ce relais est équipé d'une fonction de détection rapide et réagit de manière instantanée dès que le courant dépasse le seuil prédéfini. Avec un pick up multiples de 5, il est capable de détecter les surintensités avec précision, assurant ainsi une protection efficace du système électrique.

Le relais analogique IMM 7990 est spécifiquement conçu pour les applications de protection contre les surintensités. Avec une capacité de courant de 4000 A au niveau primaire, il est capable de gérer des charges de grande envergure et de détecter les surintensités dans les délais les plus brefs. De plus, sa plage de retard de 0,1 à 3 secondes, avec un délai de 0,1 seconde spécifié, permet une réponse rapide et adéquate en cas de surintensité, limitant ainsi les dommages potentiels aux équipements électriques.

Nous effectuerons une nouvelle étude de surintensité pour notre système, suivie de l'utilisation



de la fonction "Sequence Viewer". Cela nous permettra de visualiser les séquences d'opérations de protection dans notre système.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
100	Relais IMM7...	148,7	100		Phase - OC1 - 50
170	CB2-1		70,0		Tripped by Relais IMM7990 Phase - OC1 - 50
12500	RELAIS 1-1	148,7	12500		Phase - OC1 - 51
12570	CB1-1		70,0		Tripped by RELAIS 1-1 Phase - OC1 - 51

Nous avons observé que notre relais analogique a réagi de manière précoce et rapide, avec un temps de déclenchement de 100 ms, lorsqu'une surintensité de 148,7 kA a été détectée. Cette réponse démontre l'efficacité de notre relais dans la détection et la réaction rapide aux surintensités potentiellement préjudiciables pour le moteur. Par la suite, le disjoncteur CB2 a été activé en seulement 120 ms, fournissant une protection supplémentaire et limitant davantage les effets de la surintensité. Le relais situé près de la source d'alimentation a été programmé avec un retard de déclenchement de 12 500 ms, permettant une temporisation plus longue pour évaluer la situation du défaut et prendre la meilleure décision. Enfin, le disjoncteur CB1 a été déclenché avec un temps de déclenchement de 12 570 ms, garantissant une protection complète et éliminant définitivement la surintensité du système électrique.

### VIII.4- Conclusion

En conclusion, lors de notre étude de surintensité, nous avons évalué la fiabilité, la sélectivité et la disponibilité des relais SEPAM et IMM dans notre système électrique. Le relais SEPAM s'est avéré extrêmement fiable, avec une réactivité impressionnante de 50 ms, assurant une protection rapide et efficace contre les surintensités. Sa sélectivité a été démontrée par sa capacité à cibler spécifiquement les défauts de courant et à éviter les déclenchements indésirables. De plus, la disponibilité du relais SEPAM a été excellente, permettant un fonctionnement continu et une protection constante du moteur.

Quant au relais analogique IMM, bien qu'il ait nécessité un délai de déclenchement légèrement plus long de 100 ms, il a également démontré une fiabilité satisfaisante en détectant et en répondant aux surintensités de manière efficace. Sa sélectivité a été maintenue en ciblant les défauts de courant spécifiques, assurant ainsi une coordination adéquate avec d'autres dispositifs de protection. En termes de disponibilité, le relais analogique a répondu de manière fiable et a été prêt à réagir lorsque des surintensités ont été détectées.

Dans l'ensemble, les deux relais ont montré des performances satisfaisantes en termes de fiabilité, de sélectivité et de disponibilité lorsqu'il s'agissait de protéger notre système contre les surintensités. Ils ont démontré leur capacité à réagir rapidement et de manière précise, minimisant ainsi les dommages potentiels au moteur et assurant la sécurité de l'ensemble du système électrique.

# *Conclusion Générale*

### Conclusion Générale

Pour une bonne protection de ces équipements stratégiques. Nous avons jugé utile de changer ces relais obsolètes par des relais numériques plus performant, vue aussi que ces équipements sont inexistant sur le marché et leur remplacement est inévitable à court terme, non seulement pour les départs eau de mer mais pour tous les départs avant de passer à une gestion automatisée du réseau de complexe GL2Z dans le but d'augmenter la fiabilité et la sécurité des installations avec le souci de garantir la continuité de la production.

Ce mois passé au sein du complexe, nous a permis d'avoir un contact direct avec le matériel et de relever le degré de vétusté des relais utilisé ce qui nous a poussé à chercher des solutions de rechange.

Nos recherches nous ont permis d'éplucher plusieurs documents techniques ce qui nous a permis d'avoir une idée sur l'évolution de la technologie de la fabrication des relais dans le monde.

Une rénovation de ces équipements est inévitable les investissements seront important mais les gains le seront surement plus.

L'utilisation du logiciel ETAP pour l'analyse du moteur, de l'accélération et de la coordination des dispositifs de protection a permis d'évaluer avec précision les performances électriques du moteur. Les résultats ont démontré que le moteur de 4.6MW répond aux exigences de charge spécifique de l'application de la pompe, en fournissant une puissance nominal adéquate. L'analyse de l'accélération a confirmé la réactivité du moteur lors du démarrage et sa capacité à surmonter les forces de résistance initiales. de plus, l'étude de la coordination des dispositifs de protection a révélé la fiabilité et la sélectivité des relais SEPAM et IMM pour la protection contre les surintensités. Ces résultats garantissent le bon fonctionnement du moteur et la sécurité du système électrique dans son ensemble. L'utilisation d'ETAP a donc permis d'optimiser la performance, la stabilité et la protection du moteur, contribuant ainsi à une exploitation efficace et fiable du système électrique.

# *Bibliographie*

# Bibliographie

- **Livre bibliothèque Usto :**

[1] : « Machines électriques (M. Kostenko et Piotrovski) », code : 10-03-12.

- **Catalogues Schneider Electric Merlin Gerin :**

[2] : « Contrôle-commande et protection des moteurs HT », cahier technique N°165.

[3] : « Motor starting and protection ». <http://www.automation.schneider-electric.com/>.

[4] : « Disjoncteur débrochable 1 a 24 KV ». <http://www.schneider-electric.ch/custom/upload/docs/document/DOC75201.pdf>.

[6] : « Sûreté des protections en MT et HT », cahier technique N°175.

[8] : « Compensation d'énergie réactive et filtrage d'harmoniques ». <http://www.engineering.schneider-electric.ma/Attachements/ed/cat/catalogue-condensateurs-propivar-et-batteries-MT.pdf>.

- **Techniques de l'ingénieur :**

[5] : « Protection des réseaux de transport et de répartition », Technique de l'ingénieur, traité « génie électrique » D4805.

- **Les documentations du complexe GL2Z :**

- Fiches techniques et schémas électriques des équipements.
- Remplacement des relais de protection conventionnels d'un départ pompe EDM par relais numériques « par M. BOUDERAA et M. NEDJADI », année 2007.
- Modernisation des protections du complexe GL2Z, par DJEMEL ABOU NABIL. Année 2003.
- 

- **Constructeur Sepam80 (Merlin Gerin) :**

[7] : « Catalogues 2006, SCHNEIDER ELECTRIC ». <http://www.melingerin.com/MG/KW-sepam-3.0/kit-sepam-20-40-80/sepam-v60-fr/index.htm>.