



## Mémoire de Master

### Présenté au

**Département** : Génie Électrique  
**Domaine** : Sciences et Technologies  
**Filière** : Electrotechnique  
**Spécialité** : Réseaux Electriques

### Réalisé par :

**BOUTIT Sarah**

Et

**SACI Thinhinane**

## Thème

# Compensation d'énergie réactive par l'utilisation d'un compensateur statique "SVC" dans la station de Béni Mensour

Soutenu le: **30/10/2021**

Devant la commission composée de :

Mr : Mohammedi Ahmed	M.C.A	Univ. Bouira	Président
Bouzida Ahcene	M.C.A	Univ. Bouira	Rapporteur
Mme Bensmail Samia	M.C.B	Univ. Bouira	Examinatrice

## Remerciements

Ce travail a été effectué au sein du Département des Sciences et sciences appliquées de l'Université de Bouira.

Je tiens à remercier, en premier lieu, Dr. BOUZIDA AHCENE, Directeur de ce mémoire de nos avoir accepté comme notre encadreur ,ainsi que pour son soutien ces précieux conseils,et leur esprit informations nécessaires pour réaliser n,otre recherches.

Je remercie également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail :

Dr MOHAMMEDI Ahmed comme président de jury.

Mme BENSMAIL Samia comme examinatrice.

Enfin, j'associe à ces remerciements tous ceux qui ont contribué à réaliser ce travail.

## Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail :

A ma très chère Mère et à mon cher Père, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affectations sans limite. A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance.

A mes chers Frères Karim et Madjid

et mes chères Sœurs Leila et son mari Sofiane, Karima et son mari Marzouk

A mon binôme : Saci thinhinane

A mes chers amis : Razika Kahina Sarah et Souhila

Pour ce qui est la source de mon inspiration et mon courage, à qui je dois de la reconnaissance, mon cher Djahid

Et à ceux qui croiront toujours en moi.

A vous tous un grand merci.

**sarah**

## Dédicace :

Je dédie ce modeste travail aux deux êtres qui me sont très chers dans cette vie mes parent qui nos spécifié leurs vie pour notre réussite et nous ont éclairé le chemin par leur conseils judicieux. Nous espérons qu'un jour, nous pourrons leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous :

Spécialement à ma très chère mère signe d'amour pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien.

A mon cher père qui a toujours été là pour moi et qui m'a donné un magnifique modèle du labeur et persévérance qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études sans toi jamais n'aurai certainement pas fait cela.

A mes chère sœur : FERAL et LILA

Et mon cher frère : SOFIANE

Et mes grandes pères et mes grandes mères .

Sans oublier ma chère binômes «**SARA**» pour son collaboration, afin de nos permettre arriver de réaliser ce projet, et sa famille.

Comme je dédie ce travail à tous mes chers amis.

**THINHINANE**

# Sommaire

---

## Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des Acronymes et Symboles

INTRODUCTION GENERALE..... 1

### **CHAPITRE 1 : Présentation de la station Béni Mensour**

1.1 : Introduction..... 3

1.2 : Présentation général de SONATRACH..... 3

1.2.1 : Création de SONATRACH..... 3

1.2.2 : Les Activités de SONATRACH..... 3

1.2.2.1 : L'Activité amont..... 3

1.2.2.2 : L'Activité aval..... 3

1.2.2.3 : L'Activité Transport par canalisation(TRC)..... 3

1.3 : Présentation de la station de pompage Béni Mensour(SBM)..... 4

1.3.1 : Le But de la station..... 5

1.3.2 : La description de la station..... 5

1.3.2.1 : Description générale des différentes parties de la station..... 5

1.3.2.2 : Les Canalisations..... 6

1.3.2.4 : Les Filtres..... 6

1.3.2.3 : Bacs de stockages..... 7

1.3.2.5 : Les Pomperies Booster..... 7

1.3.2.6 : Les Pomperies Principales..... 8

1.3.2.7 : Le moteur asynchrone (LOHER) ..... 9

1.3.2.8 : Drain et Purge..... 11

1.3.2.9 : Expédition..... 12

1.3.2.2 : Le réseau électrique de la station SBM..... 12

1.3.2.2.1 : Poste de livraison..... 12

1.3.2.2.2 : Poste de transformation..... 13

1.3.2.2.3 : Tableau MCC 5.5 KV..... 14

1.3.2.2.4 : Tableau TGBT..... 15

# Sommaire

---

1.3.2.2.5 : Double Onduleur.....	15
1.3.2.2.6 : Double chargeur avec batteries d'accumulateurs.....	15
1.3.2.2.7 : Groupe électrogène.....	15
1.4 Conclusion.....	16

## CHAPITRE 2 : Compensation d'énergie réactive

2.1 : Introduction.....	17
2.2 : La définition de l'énergie électrique.....	17
2.3 : Energies active, réactive, apparente.....	17
2.3.1 : L'énergie active .....	17
2.3.2 : L'énergie réactive.....	18
2.3.3 : L'énergie apparente.....	18
2.4 : Composante active et réactive du courant.....	18
2.6 : Circulation de l'énergie réactive.....	18
2.7 : Facteur de puissance.....	19
2.7.1 : Amélioration du $\cos(\varphi)$ d'une installation.....	20
2.7.2 : Facteur de puissance et $\cos(\varphi)$ en présence d'harmoniques.....	21
2.7.3 : Avantages d'un bon facteur de puissance.....	21
2.7.4 : Inconvénient d'un mauvais facteur de puissance.....	21
2.7.5 : Relation entre la puissance des condensateurs et l'amélioration du $\cos(\varphi)$ .....	22
2.8 : Compensation d'énergie réactive avec les batteries de condensateurs.....	22
2.8.1 : Définition d'une batterie de condensateur.....	23
2.8.2 : Principe de la compensation.....	23
2.8.3 : Les différents types de compensation.....	23
2.8.3.1 : Les batteries de condensateur de types fixe.....	24
2.8.3.2 : Les batteries de condensateurs type automatique.....	24
2.8.4 : Choix de localisation de la compensation.....	25
2.8.4.1 : Compensation globale.....	26
2.8.4.2 : Compensation partielle ou par secteur.....	26
2.8.4.3 : Compensation individuelle.....	27
2.9 : Conclusion.....	29

## CHAPITRE 3 : Modélisation du système FACT«SVC »

3.1 : Introduction.....	30
3.2 : Généralités sur les systèmes FACTS.....	30

# Sommaire

---

3.2.1 : Systèmes FACTS.....	30
3.2.2 : Différents types des systèmes FACTS.....	30
3.2.2.1 : Les compensateurs parallèles (SVC-STATCOM).....	32
3.2.2.1.1 : Compensateur de la puissance réactive ou bien Statique var compensateur(SVC).34	
3.2.2.1.2 : Static Synchronous Compensator (STATCOM).....	36
3.2.2.2 : Compensateurs Séries.....	37
3.2.3 : Avantage et Apports des FACTS.....	38
3.3 : Structure et principe de fonctionnement du STATCOM et SVC.....	38
3.3.2 : Le Compensateur statique SVC.....	38
3.3.2.1 : Définition du SVC.....	38
3.3.2.2 : Structure et constitution d'un SVC.....	41
3.3.2.3 : Principe de fonctionnement d'un SVC.....	41
3.3.2.3.1 : Condensateur fixe (FC).....	43
3.3.2.3.2 : Réactance commandée par thyristors (TCR).....	45
3.3.2.3.3 : Condensateur commuté par thyristors (TSC).....	46
3.3.2.4 .1 : Caractéristique en tension d'un SVC.....	46
3.3.2.4 : Caractéristiques d'un compensateur statique SVC.....	47
3.3.2.4.2 : Caractéristique de puissance réactive d'un SVC.....	49
3.3.2.5 : Les Avantages d'un SVC.....	49
3.4 : Conclusion.....	49

## CHAPITRE 4 : Résultats de simulation

4.1 Introduction.....	50
4.2 Présentation du Logiciel de simulation.....	50
4.3 Simulation du SVC.....	50
4.3.1 Description du réseau de puissance de station de pompage.....	57
4.3.2 Modélisation et simulation du réseau de puissance sans SVC.....	61
4.3.3 Modélisation et simulation du réseau en présence d'un SVC.....	65
4.3.4 Discussion des résultats.....	65
4.4 Conclusion.....	66
CONCLUSION GENERALE.....	67

# Sommaire

---

Liste Des Figures

Chapitre 1

Figure 1.1 : Situation géographique de SBM sur le réseau national..... 3

Figure 1.2 : Les différentes sections de la station SBM..... 4

Figure 1.3 : La canalisation dans la station SBM..... 5

Figure 1.4 : Les Filtres de la station SBM..... 5

Figure 1.5: Les Bacs de stockage de la station SBM..... 6

Figure 1.6 : Les pomperies boosting..... 7

Figure 1.7 : La pomperie Principale..... 8

Figure 1.8 : Les Composantes d'un moteur asynchrone..... 9

Figure 1.9 : La plaque signalétique d'un moteur asynchrone..... 10

Figure 1.10 : Réseau de drainage..... 10

Figure 1.11 : Expédition de la station SBM..... 11

Figure 1.12 : Le Tableau 30 KV..... 12

Figure 1.13 : Les quatre transformateurs de la station..... 13

Figure 1.14 : Tableau MCC 5.5KV..... 13

Figure 1.15 : Tableau TGBT..... 14

Figure 1.16 : Le Groupe électrogène..... 15

Chapitre 2

Figure 2.1 : Diagramme vectorielle des courants..... 18

Figure 2.2 : Influence du  $\cos(\varphi)$  sur la valeur de la puissance réactive..... 18

Figure 2.3 : Influence du  $\cos \varphi$  sur la valeur de courant apparente..... 19

Figure 2.4 : Diagramme des puissances apparentes..... 21

Figure 2.5 : Influence de la puissance réactive..... 22

Figure 2.6 : Principe de la compensation d'énergie réactive..... 23

Figure 2.7 : Principe de la compensation fixe..... 24

Figure 2.8 : Principe de la compensation automatique..... 25

Figure 2.9 : Compensation globale..... 26

Figure 2.10 : Compensation par secteur..... 27

Figure 2.11 : Compensation individuelle..... 28

Chapitre 3

Figure 3.1: Différents types des FACTS..... 30

Figure 3.2 : Compensateur shunt..... 31

Figure 3.3 : Schéma d'un SVC..... 32

## Liste des figures

---

<b>Figure 3.4:</b> Schéma équivalent de STATCOM.....	33
<b>Figure 3.5 :</b> Schéma équivalent d'un TCSC.....	34
<b>Figure 3.6:</b> Schéma équivalent d'un SSSC.....	35
<b>Figure 3.7 :</b> Compensateur hybrides.....	36
<b>Figure 3.8 :</b> Représentation schématique monophasée d'un Compensateur Statique.....	38
<b>Figure 3.9:</b> Schéma équivalent d'un SVC.....	39
<b>Figure 3.10:</b> Élément de base d'un TCR.....	40
<b>Figure 3.11:</b> Angle d'amorçage et de conduction d'un TCR .....	42
<b>Figure 3.12:</b> Modélisation d'un TSC.....	43
<b>Figure 3.13:</b> Principe d'un TSC.....	44
<b>Figure 3.14:</b> Caractéristique en tension d'un SVC.....	46
<b>Figure 3.15 :</b> Exigences posées à la puissance réactive.....	47

## Chapitre 4

<b>Figure 4.1 :</b> Modèle de SVC sur logiciel EMTPworks.....	50
<b>Figure 4.2 :</b> Sous-circuit SVC sur logiciel EMTPworks.....	51
<b>Figure 4.3 :</b> Branche TCR du SVC.....	51
<b>Figure 4.4 :</b> Branche TSR du SVC.....	52
<b>Figure 4.5 :</b> Système du contrôle du SVC.....	52
<b>Figure 4.6:</b> Unité de mesure de la tension du réseau.....	53
<b>Figure 4.7:</b> Bloc de régulation de la tension.....	53
<b>Figure 4.8:</b> Bloc de génération des signaux de commande et l'angle de retard à l'amorçage.....	54
<b>Figure 4.9 :</b> Bloc d'envoi des signaux de commande et de synchronisation.....	55
<b>Figure 4.10 :</b> Schéma équivalent de réseau électrique étudié.....	56
<b>Figure 4.11 :</b> Schéma de la simulation du réseau.....	57
<b>Figure 4.12 :</b> Courant d'appel des pompes.....	58
<b>Figure 4.13 :</b> Puissance active et réactive consommées par la station de pompage.....	58
<b>Figure 4.14 :</b> Facteur de puissance global de la station de pompage.....	59
<b>Figure 4.15 :</b> Schéma de simulation du réseau avec le SVC.....	60
<b>Figure 4.16 :</b> Puissance active et réactive du SVC.....	61
<b>Figure 4.17 :</b> L'angle d'amorçage des thyristors.....	61
<b>Figure 4.18 :</b> Le courant injecté par le SVC.....	62
<b>Figure 4.19 :</b> Puissance active réactive consommées par l'ensemble des installations.....	62
<b>Figure 4.20 :</b> Puissance active réactive fournies par le réseau de Sonalgaz.....	63
<b>Figure 4.21 :</b> Facteur de puissance global de la station de pompage avec SVC.....	63

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1</b> : Les caractéristiques des bacs de stockage.....	5
<b>Tableau 1.2</b> : Les caractéristiques de moteur asynchrone.....	8

## Liste des symboles

**P** : Puissance active

**Q** : Puissance réactive

**S** : Puissance apparente

**I<sub>a</sub>** : Courant active

**I<sub>r</sub>** : Courant réactive

**I<sub>t</sub>** : Courant apparente

**V, U** : Tension

**F<sub>p</sub>** : Facteur de puissance

**F<sub>d</sub>** : Facteur de déphasage

**Q<sub>c</sub>** : Puissance réactive de condensateur

**C** : Capacité

**tan (φ)** : Tangente du déphasage

**X<sub>L</sub>** : Réactance inductive

**X<sub>C</sub>** : Réactance capacitive

**V<sub>r</sub>** : Tension au jeu de barre de réception

**V<sub>s</sub>** : Tension de la source

**I<sub>sh</sub>** : Courant (shunt) injecté par le STATCOM

**V<sub>sh</sub>** : Tension (shunt) injecté par le STATCOM

**θ** : Déphasage du courant de la ligne

**Q<sub>C</sub>** : La puissance réactive capacitif

**Q<sub>L</sub>** : la puissance réactive inductif

**Q<sub>svc</sub>** : Puissance réactive injectée ou absorbée par le SVC

**V<sub>svc</sub>** : Tension générée par le SVC

**V<sub>sh</sub>** : La tension générée par le STATCOM

**I<sub>svc</sub>** : Le courant total du compensateur

**B<sub>svc</sub>** : Susceptance du SVC

**G<sub>svc</sub>** : Composante résistif du SVC

**$\alpha$**  : L'angle d'allumage

**$\sigma$**  : L'angle d'atténuation

**L<sub>l</sub>** : L'inductance d'atténuation

## **Listes des Acronymes**

**TRC** : Transport par canalisation

**SBM** : Station de Béni Mensour

**GPL** : Gaz de pétrole liquéfié

**OB1** : Pipeline

**HME** : Haoud Al Hamra

**PMD** : La puissance maximale disponible

**JDB** : Jeu de barre

**MCC** : Moteur Contrôle Commande

**MT** : Moyenne tension

**GEP** : Groupe électropompe

**TGBT** : Tableau générale basse tension

**GE** : Groupe électrogène

**DC** : Direct current

**FACTS** : Flexible alternative current transmission système

**STATCOM** : Static Synchronus Compensator

**GTO** : Gate turn-Off Thyristor

**IGBT** : Gate Bipolar Transistors

**IGCT** : Insulated Gate commutated Thyristors

**SVC** : Static var compensateur

**CA** : Courant alternatif

**MSC** : Mechanically switched capacitor

**MSR** : Mechanically switched reactor

**TCSC** : Thyristor controlled series capacitor

**TCSR** : Thyristor controlled series reactor

**SSSC** : Static synchronous series compensator

**IPFC** : Interline power flow controller

**UPFC** : Unified power flow controller

**HVDC**: High voltage direct current

**LCC** : Line commutated converters

**VSC** : Voltage sourced converter

**IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers

**TCR** : Thyristor controlled reactor

**TSR** : Thyristor switched reactor

**TSC** : Thyristor commutated capacitor

**FC** : Fixed capacitor

# INTRODUCTION GENERALE

---

A l'origine, le réseau électrique a été construit et dimensionné pour transporter l'énergie électrique produite par les centres de production jusqu'aux centres de consommation les plus éloignés. Le réseau électrique met donc en œuvre des milliers de kilomètres de ligne, des milliers de poste de transformation, ainsi que de nombreux organes de coupure et d'automates de réglage, dimensionnés pour assurer le bon fonctionnement de la fourniture d'énergie électrique. Ainsi, des contrôles hiérarchisés assurent la tenue en tension et en fréquence ; ceux-ci couplés aux divers automates, ont la charge de garantir la continuité de service du système. Cependant le réseau peut être soumis à des perturbations se propageant vite et sur une partie étendue, et qui peuvent avoir un impact critique pour tout le système électrique.[1]

Les seuls moyens classiques de contrôle des réseaux électrique ce sont des dispositifs électromécaniques (les transformateurs-déphaseurs à réglage en charge pour le contrôle de la puissance active, les condensateurs et inductances additionnelles commutés par disjoncteurs pour compensation série ou shunt, modification des consignes de production de puissance active et réactive des générateurs et changement de la topologie du réseau et action sur l'excitation des générateurs), la dernière action dans ces systèmes de commande est prise avec des dispositifs mécaniques ayant un temps de réponse plus au moins long et avec lesquels l'action d'amorçage et de réamorçage ne peut être répétitivement exécuté à une fréquence élevée par rapport aux dispositifs à base d'interrupteurs statiques (semi-conducteurs).

Le développement rapide de l'électronique de puissance a eu un effet considérable dans l'amélioration des conditions de fonctionnement des réseaux électriques en performant le contrôle de leurs paramètres par l'introduction de dispositifs de contrôle à base des composants d'électronique de puissance très avancés (GTO, IGBT) connus sous l'acronyme FACTS: Flexible Alternative Current Transmission Systems.

Les systèmes de transmission à courant alternatif (FACTS) traduisent un concept qui regroupe tous les dispositifs à base d'électronique de puissance qui permettent d'améliorer l'exploitation du réseau électrique. La technologie de ces systèmes (interrupteur statique) leur assure une vitesse beaucoup plus rapide que celle des systèmes électromécaniques classiques. L'intérêt de ces systèmes et non seulement de pouvoir contrôler l'écoulement de puissance dans les réseaux électriques mais aussi d'augmenter la capacité effective de transport jusqu'à leur limite thermique maximale tout en améliorant la stabilité des réseaux électriques.

Le travail rapporté dans ce mémoire est motivé par le souci de perfectionner le contrôle des puissances réactives et leur production décentralisée et même le contrôle des tensions lors des phénomènes transitoires dans un réseau de transport d'énergie électrique au moyen de dispositifs

# INTRODUCTION GENERALE

---

FACTS, comme celle comportant une branche de réactance commandée par thyristors, tel que le compensateur statique de puissance réactive CSPR (acronyme anglais de « Static Var Compensator SVC »).

Le compensateur statique SVC à base des éléments de l'électronique de puissance contrôlable est un dispositif qui sert à maintenir la tension en régime permanent et en régime transitoire à l'intérieur des limites désirées. Le SVC injecte ou absorbe de la puissance réactive dans le jeu de barres là où il est installé, de manière à satisfaire la demande de puissance réactive de la charge. [2]

L'objectif de ce travail est de proposer une solution adéquate pour optimiser la puissance réactive par la production locale à travers la corporation de dispositif FACTS en vue de l'amélioration du facteur de puissance. Le « SVC ». Le travail s'articule est divisé en quatre chapitres. Dans le premier chapitre nous avons présenté une description générale sur SONATRACH et ces activités, on intéresse au transport par canalisation (TRC) de la station de Béni Mensour(SBM) en précisant des différentes parties de la station et le réseau électrique qui aliment la station.

Dans le deuxième chapitre, des notions générales sur l'énergie électrique, le facteur de puissance et le principe de compensation de l'énergie réactive ont été présentés. Nous avons également présenté les différents méthodes et moyens de la compensation de la puissance réactive (global, partielle et individuelle).

Le troisième chapitre est consacré à la compensation de l'énergie réactive par l'utilisation des systèmes FACTS. Une classification des différents types de FACTS (parallèle, série et hybride) avec une étude détaillée du SVC qui a été abordée dans ce chapitre, ces principes fonctionnements, ces structures et caractéristiques.

Dans le quatrième chapitre nous avons procédé à la simulation du réseau électrique de la station de pompage par le logiciel EMTPWorks afin d'injecter une puissance réactive par l'utilisation d'un SVC (TCR, TSC). Les résultats de simulation les plus importantes ont été présentées et discutées dans ce chapitre.

A la fin de ce travail, nous avons terminé par une conclusion générale et les perspectives.

## 1.1 Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons donner un aperçu général sur SONATRACH et ces activités, nous allons nous intéresser au transport par canalisation (TRC) qui est la station de Béni Mensour (SBM). Donc nous allons parler de ces différentes constitutions et leur objectif, ainsi que la description générale des différentes parties de la station et le réseau électrique qui alimente la station.

## 1.2 Présentation générale de SONATRACH:

### 1.2.1 Création de SONATRACH:

SONATRACH (société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures) est créée le 31 décembre 1963, répondant ainsi à l'exploitation de la rente pétrolière perçue très tôt comme un élément moteur dans le développement du pays. Cette dernière est intégrée sur l'ensemble de la chaîne de valeurs des hydrocarbures de l'amont à l'aval en passant par le transport par canalisation et les activités de commercialisation des hydrocarbures. [3]

### 1.2.2 Les Activités de SONATRACH:

#### 1.2.2.1 L'Activité amont:

L'activité Amont comprend les activités de recherche, d'exploration, de développement et de production d'hydrocarbures. Elles sont assurées par SONATRACH seule, ou en association avec d'autres compagnies pétrolières. [3]

#### 1.2.2.2 L'Activité aval:

L'activité Aval couvre le développement et l'exploitation des complexes de liquéfaction de gaz naturel, de séparation de GPL, de raffinage et des gaz industriels. On peut l'appeler aussi l'activité de raffinerie. [4]

#### 1.2.2.3 L'Activité Transport par canalisation (TRC):

L'Activité Transport par Canalisation assure le transport des hydrocarbures liquides ou gazeux produit par l'activité exploration-production (L'activité amont) au sud, vers les différents clients nationaux et étrangers ou bien l'utilisateur au nord (l'activité aval ou usager), dans des conditions optimales d'économie, de sécurité et de qualité. [4]

Parmi les composantes du réseau de transport par canalisation on trouve:

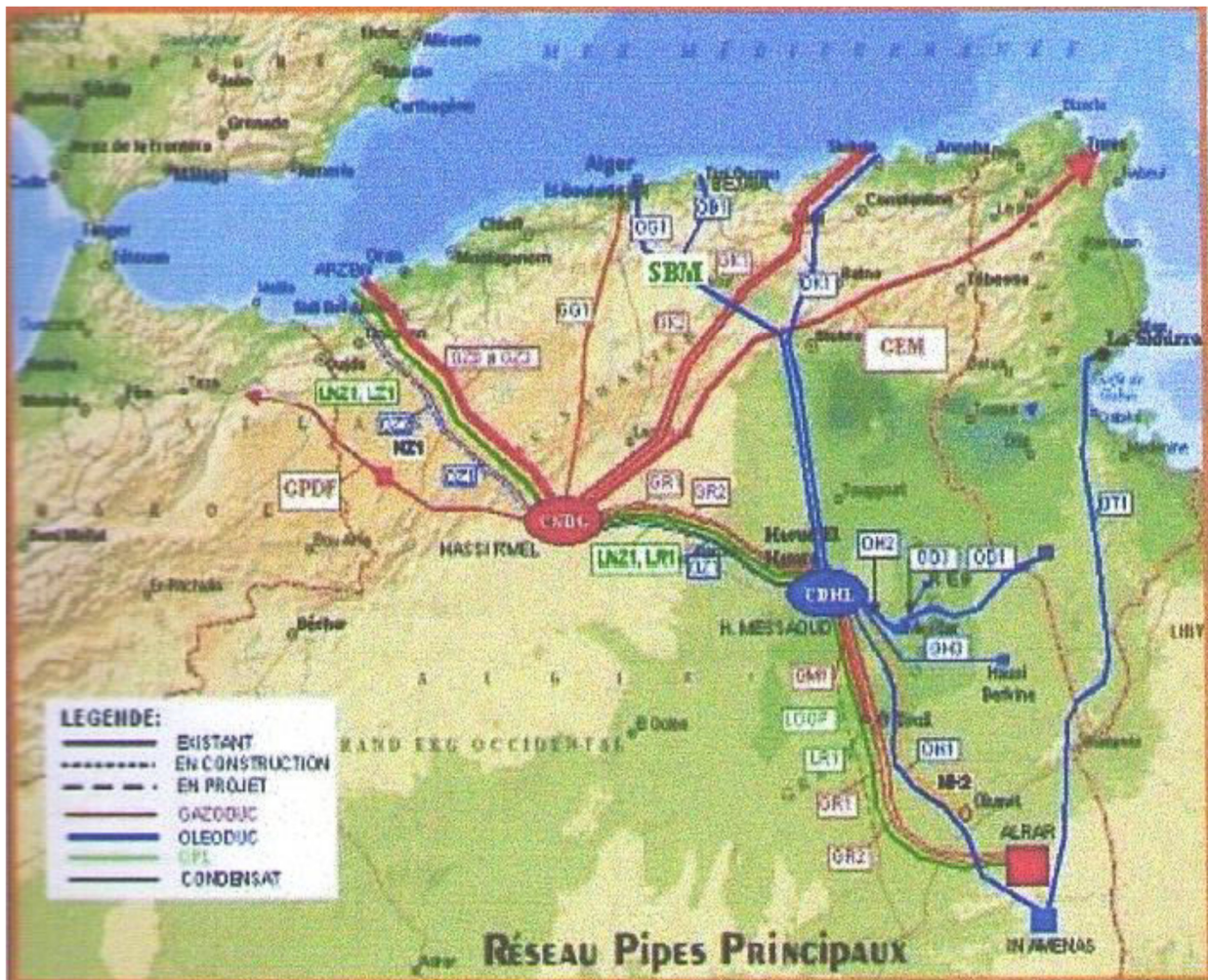
- Les stations d'injections (stations de départ).
- Les stations de pompage.

- Les postes de livraison.
- Les postes de sectionnement.

**1.3 Présentation de la station de pompage Béni Mensour (SBM) :**

La station de pompage Béni Mensour (SBM) est l'une des plus importants à l'échelle nationale en matière de transport par canalisation du pétrole brut dans les années 1971. La SBM est situé dans la commune de Ath Mensour, daïra de M'chedallah à environ de 50 km à l'est de la wilaya de Bouira et environ de 107 km au sud-ouest de la wilaya de Bejaia. Cette station est construite pour le transport du brut vers la raffinerie de Sidi Arcine (Alger) sur un trajet de 135 km.

La SBM est alimenté par un piquage au niveau de pipeline OB1 d'un diamètre de 24 pouce et d'une longueur de 668 km, qui reliant le centre de stockage Haoud Al-Hamra au port pétrolière de Bejaia. Ce dernier doit assure un débit de 650 m<sup>3</sup>/h pour une pression de 68 bars. [5]



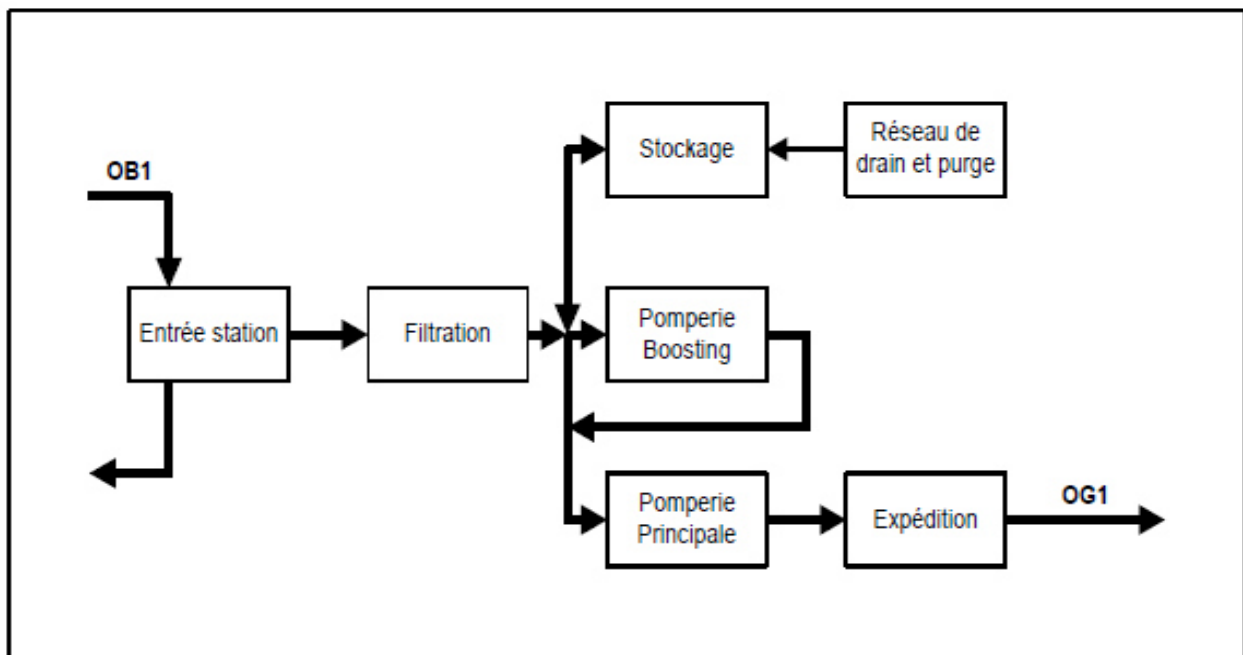
**Figure 1.1:** Situation géographique de SBM sur le réseau national du transport d'hydrocarbures. [3]

### 1.3.1 Le But de la station:

- Le pompage du brut vers la raffinerie d'Alger.
- Assurer un débit continu avec une pression bien déterminé selon la demande des terminaux ou bien des exigences de la station.
- Control du passage du condensat et de brut vers le terminal pétrolier de Bejaia. [6]

### 1.3.2 La description de la station:

La station se compose de sept sections principales qui sont résumées dans ce qui suit :



**Figure 1.2:** Les différentes sections de la station SBM. [5]

#### 1.3.2.1 Description générale des différentes parties de la station:

La station de pompage de Béni Mensour est constituée d'une station principale SBM et d'une annexe SPD (Un manifold pour la sélection des différents cheminements de brut/condensat avec une vanne de régulation pour arrêter le pourcentage de prélèvement sur l'OB1).

### 1.3.2.2 Les Canalisations:

Caractérisé à le même diamètre 20 et le même que la tuyauterie reliant SBM à Alger.



**Figure I.3:** La canalisation dans la station SBM

### 1.3.2.4 Les Filtres:

Sont situer à l'entrée de la station pour éliminer les impuretés tel que le sable ou les particules qui peuvent endommager les pompes au niveau de la station.



**Figure 1.4:** Les Filtres de la station SBM.

### 1.3.2.3 Bacs de stockages:

Le rôle principal est d'emmagasiner le brut dans le cas où la pression de celui-ci à l'entrée de la station dépassant 34 bars qui risque de causer une rupture de la canalisation entre Houd Al Hamra (HME) et SBM. Ils sont aussi d'une importance capitale si la pression de la sortie de brut de la station dépassant 74 bars considère comme une pression de rupture de la canalisation reliant SBM à Alger.

Nom	R561, R562
Hauteur	18,290m
Diamètre	30,5m
Volume	1200m <sup>3</sup>
Epaisseur	16,32mm à la base et 6,32mm au sommet
La date de construction	R561 en 1971 et R562 en 2000

**Tableau 1.1** : Les caractéristiques des bacs de stockage. [5]



**Figure 1.5**: Les Bacs de stockage de la station SBM.

### 1.3.2.5 Les Pomperies Booster:

La pomperie booster se compose de trois pompes de gavage. Ces pompes sont utilisées dans le cas où l'alimentation de la station depuis le pipe OB1 est rendu indisponible (passage de condensat) ou insuffisante (débit/pression) et que la pomperie principale est alimentée par les bacs de stockage. Sont reliées aux bacs de stockage leur rôle est le vidange des bacs et augmentation de pression de brut.

Le fonctionnement des pompes boosters est prévu en mode 2 sur 3, ce qui signifie deux pompes en

service et une pompe en réserve.



**Figure 1.6:** Les pomperies boosting.

#### **1.3.2.6 Les Pomperies Principales:**

La pomperie principale se compose de quatre pompes d'expédition alimentées soit par déviation de la pipe OB1 soit par la pomperie booster.

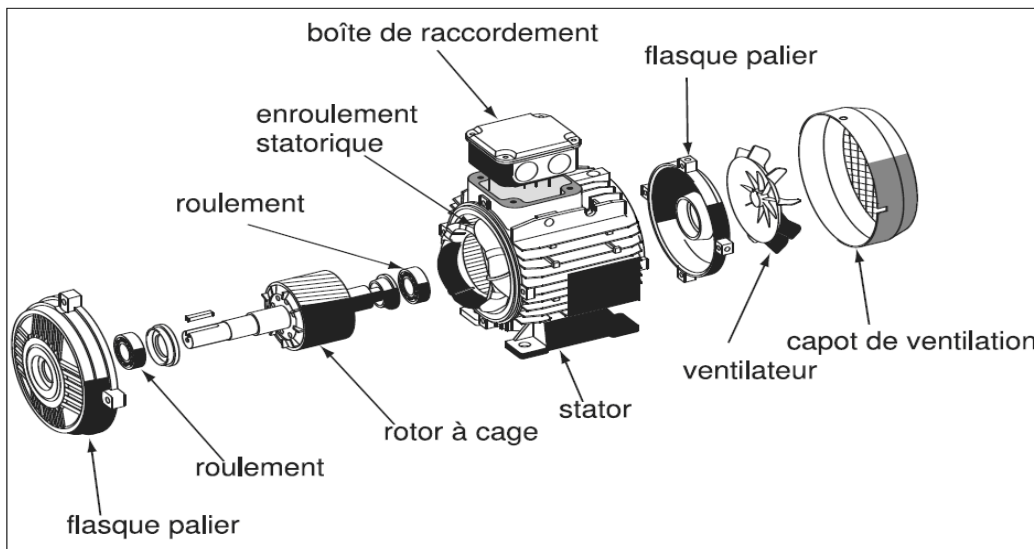
Le fonctionnement des pompes d'expédition est prévu en mode 2 sur 4 et 3 sur 4. Cela signifie que deux pompes sont en service avec deux pompes sont en réserve pour le mode 2 sur 4 et que trois pompes sont en service avec une pompe en réserve pour le mode 3 sur 4.



**Figure 1.7:** La pomperie Principale.

### 1.3.2.7 Le moteur asynchrone (LOHER) :

La machine asynchrone, connue également sous le terme « anglo-saxon » de machine à induction, est une machine électrique à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Les machines possédant un rotor « en cage d'écureuil » sont aussi connues sous le nom de machines à cage ou machines à cage d'écureuil. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent.



**Figure 1.9:** Les Composantes d’un moteur asynchrone. [6]

Le moteur asynchrone est utilisé pour entrainé les pompes principales, les caractéristique de ce moteur se trouvent dans le tableau suivant :

Marque	LOHER GmbH
Type du moteur	DHSL-450LK-02A
Pôles	02 pôles
Type de démarrage	Direct
Température ambiante	45°C
Puissance nominale	540 KW
Tension nominale	5500 V
Fréquence	50HZ
Vitesse	2984 tours/min
Courant nominal	66A
Courant de démarrage	580%
Masse	3900 kg
Sens de rotation	Droite
Degré de protection	IP 65
Moment d’inertie	10 kgm <sup>2</sup> . +

**Tableau 1.2 :** Les caractéristiques de moteur asynchrone. [5]



Figure 1.10: La plaque signalétique d'un moteur asynchrone.

1.3.2.8 Drain et Purge :

Son rôle est de purger les équipements la station s'il y a une formation d'une cavitation d'air.



Figure 1.11: Réseau de drainage.

### 1.3.2.9 Expédition:

- **Banc de comptage:** est présent sur la ligne d'expédition .Ce banc de comptage met à disposition du DCS le recopie des signaux pour affichage sur les consoles opérateur.
- **Gare racleur:** est installée sur la ligne d'expédition du brut Béni-Mensour vers Sidi-Arcine.



**Figure 1.12:** Expédition de la station SBM.

### 1.3.2.2 Le réseau électrique de la station SBM:

La station de Béni Mensour (SBM) est alimenté en énergie électrique par deux lignes électriques à partir de Sonalgaz de 30 kV chacune, l'une est arrivée de El-Esname et l'autre de d'Ikrem.

Pour la station est utilisée une seule ligne et l'autre reste en réserve afin d'assurer leur continuité d'alimentation. Ces deux lignes sont ramenées au poste de livraison ou elles sont séparées par un sectionneur afin d'éviter leur couplage.

#### 1.3.2.2.1 Poste de livraison:

Un poste de livraison alimenté par deux lignes de 30 kV chacune, ce poste est doté de cellules comportant des différents appareils de protection arrivée 30kV. La puissance maximale disponible (PMD) est de 5 MVA Il est constitué de Deux cellules arrivées 30kv :

- Une cellule de mesure de comptage (compteur électronique qui mesure les trois phases des lignes).
- Une cellule protection générale (pour protéger les défauts des lignes de distributions, on

utilisant un disjoncteur qui a le pouvoir de coupure et de caractéristiques adaptés au réseau tension et courant.

**1.3.2.2 Poste de transformation:**

L'énergie arrive sur le jeu de barre (JDB) 30KV au niveau du poste de transformation où sont installés deux départs disjoncteurs pour transformateur 5 MVA (30/5.5KV) et deux départs disjoncteurs pour transformateur 630 KVA (30/400 V).

Quatre transformateurs triphasé abaisseurs assurant l'alimentation des pompes principales en 5,5 KV à partir de réseau 30 KV. Ces transformateurs divisent en deux catégories:

- (30 KV/5.5 KV) : Deux transformateurs (TR001B et TR001A) pour alimenter les électropompes d'expédition et les électropompes de gavage (booster).

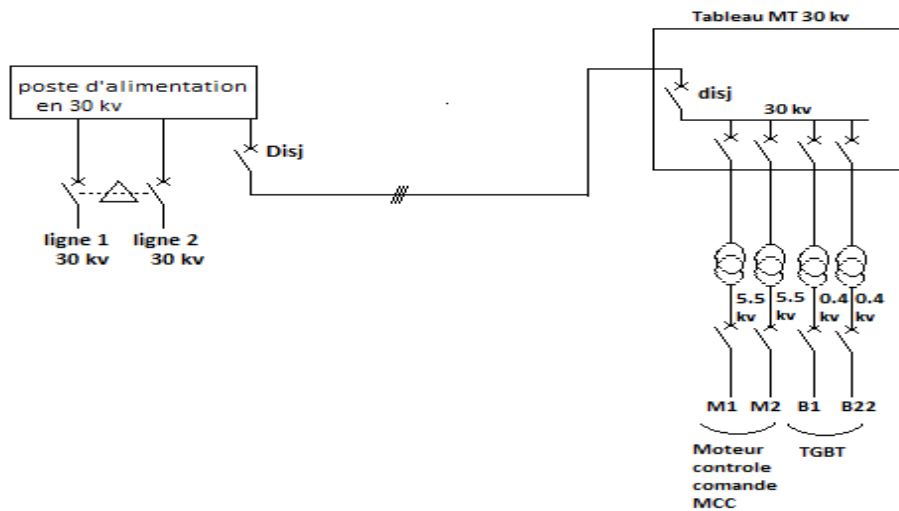
Avec

Rapport de transformation:  $m=U_2/U_1=5.5/30=0.18333$  (1.1)

- (30 KV/400 V): Deux transformateurs (TR002B et TR002A) pour alimenter les équipements basse tension (éclairage, climatisation).

Avec

Rapport de transformation:  $m=U_2/U_1=0.4/30=0.013$  (1.2)



**Figure 1.13:** Le Tableau 30 KV. [7]



Figure 1.14: Les quatre transformateurs de la station.

1.3.2.2.3 Tableau MCC 5.5 KV :

Ce Tableau MCC (Moteur Contrôle Commande) est alimenté par les deux transformateurs de 5MVA de telle sorte que chaque transformateur alimente la moitié du JDB ; En cas d’indisponibilité de l’un des deux transfos, le JDB est coupable.

Le tableau MCC est constitué de Deux arrivées MT 5.5 KV (chaque arrivée prend la moitié du jeu de barre 5.5 KV) avec une cellule de couplage du JDB entier (tous dotées de disjoncteurs 1250 A), Quatre cellules départ disjoncteur et protection pour le démarrage des GEP d’expédition, Trois cellules départ contacteur et protection pour le démarrage des GEP booster et deux cellules (réserve) départ contacteur.

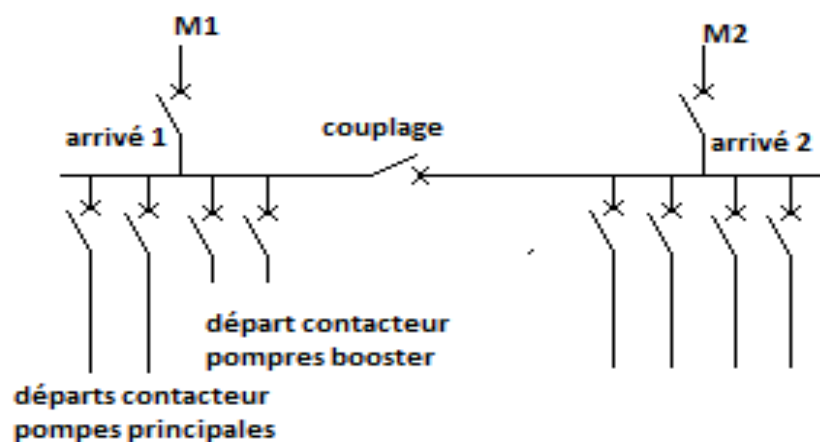


Figure 1.15: Tableau MCC 5.5KV. [8]

### 1.3.2.2.4 Tableau TGBT:

Le tableau TGBT est composé de deux jeu de barres Normal/secours pour l'alimentation électrique des vannes, climatisation, éclairage et d'autre utilités.

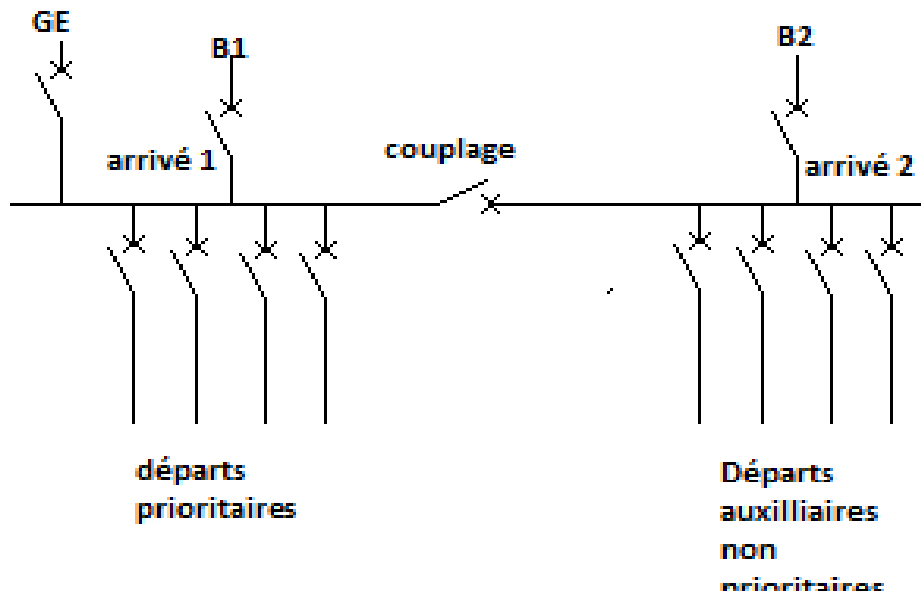


Figure 1.16: Tableau TGBT. [8]

### 1.3.2.2.5 Double Onduleur:

Un double onduleur de 40 KVA est alimenté tous les utilités électronique et informatique (DCS, les automates programmables, cartes électronique).

### 1.3.2.2.6 Double chargeur avec batteries d'accumulateurs:

Un double chargeur avec batteries d'accumulateurs 40 AH pour l'alimentation en 110 Vcc des différents circuits de commande. En l'absence de l'énergie électrique sur les deux réseaux (Sonalgaz et GE) certaines équipements doivent rester en fonctionnement tels que: Automates sécurité (220v), Serveurs (220v), Contrôle commande des disjoncteurs (110V/DC), ainsi tous les systèmes informatique liés au contrôle commande et la sécurité et chaque section de ces équipements a son groupent des batteries d'accumulateurs qui lui assure généralement 30min d'autonomie.

### 1.3.2.2.7 Groupe électrogène: [8]

Un groupe électrogène de secours de 400 kVA est utilisé pour fournir l'énergie électrique à base d'une autre énergie (thermique), cette conversion ce fait à basse de plusieurs composantes

électrique et mécanique on les situés:

- ❖ **moteur diesel(Perkins):**Le moteur est choisi pour sa fiabilité sa marque Perkins de puissance 400kw ,6 cylindres en V avec refroidissement à eau.
- ❖ **Alternateur:** La génératrice est de marque LEROY SOMMER, sans balais, auto excitée, auto régulée et auto ventilée, elle est d'une puissance de 450kva peuvent fournir une intensité de 580A et sous 400v.
- ❖ **Autonomie carburant:** Le moteur et l'alternateur sont couplés et montés sur un bâti d'acier robuste. ce bâti comprend un réservoir de carburant de 500 litres qui assure une autonomie d'environ 8 heures à pleine charge .il est également prévu une citerne de carburant de 200 litres sur skid avec une pompe d'appoint automatique.
- ❖ **Système de commande du groupe:** peut être installé pour contrôler le fonctionnement et la sortie du groupe électrogène et pour le protéger contre d'éventuels 'mauvais fonctionnements.



**Figure 1.17:** Le Groupe électrogène.

#### 1.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes parties de la station (partie instrumentation, partie électrique) ainsi que ces différents équipements. Nous allons découvrir aussi leur rôle de transport à l'échelle nationale et son but principal qui d'assurer l'alimentation de la raffinerie d'Alger.

### 2.1 Introduction :

L'énergie électrique est parmi les biens de consommation, un des plus rapidement mis à la disposition des utilisateurs. L'énergie électrique provenant d'une centrale de production est acheminée jusqu'aux consommateurs par des réseaux de transport à travers des plusieurs postes (transformations, répartitions, distributions).

L'utilisateur ne bénéficie que de l'apport énergétique de la partie active, la partie réactive ne peut pas être éliminée, mais compensée par des dispositifs appropriés ce qu'on appelle la compensation d'énergie réactive, donc cette compensation est un élément très important pour améliorer la qualité du réseau électrique.

L'énergie réactive d'une installation est facturée au même titre que l'énergie active par les fournisseurs d'énergie, donc cette énergie fait consommer plus de puissance est contribuer ainsi à alourdir le facteur d'électricité.

Dans ce chapitre, nous allons parler de principe de compensation d'énergie réactive ainsi que ces différents types et choix d'installation.

### 2.2 La définition de l'énergie électrique :

L'énergie électrique est une pierre angulaire de notre qualité de vie, Il aura un besoin continue des produits et des services pour exploiter son utilisation. L'énergie transférée ou emmagasinée grâce à l'électricité. Cette énergie est transférée d'un système à un autre par un mouvement de charges. Elle n'est pas une véritable énergie comme l'énergie cinétique ou l'énergie potentielle, mais un vecteur énergétique, un moyen de transférer l'énergie comme le sont la chaleur ou le travail. [9]

### 2.3 Energies active, réactive, apparente :

Tout système électrique (câble, ligne, transformateur, moteur, éclairage...) utilisant un courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie : l'énergie active et l'énergie réactive. [10]

### 2.3.1 L'énergie active :

Transformée en énergie mécanique (travail) et en chaleur (pertes). Elle correspond à la puissance active  $P(W)$  ou (KW). [9]

➤ En monophasé :  $P = VI \cos(\varphi)$ . (2.1)

➤ En triphasé :  $P = \sqrt{3} UI \cos(\varphi)$ . (2.2)

### 2.3.2 L'énergie réactive :

Utilisée pour créer des champs magnétiques. Elle correspond à la puissance réactive  $Q$  (kVar) des récepteurs. [9]

➤ En monophasé :  $Q = VI \sin(\varphi)$  (2.3)

➤ En triphasé :  $Q = \sqrt{3} UI \sin(\varphi)$  (2.4)

Elle se mesure en VAR (Voltampères réactifs), ou en kVar à l'échelle industrielle.

### 2.3.3 L'énergie apparente :

La somme vectorielle des deux énergies précédentes. Elle correspond à la puissance apparente  $S$  (kVA) des récepteurs, somme vectorielle de  $P$  (kW) et  $Q$  (kVar). [9]

➤  $S = P + jQ$  (2.5)

➤ En monophasé :  $S = VI$  (2.6)

➤ En triphasé :  $S = \sqrt{3} UI$  (2.7)

Elle se mesure en VA (Voltampères) ou en kVA à l'échelle industrielle.

## 2.4 Composante active et réactive du courant :

A chacune de ces énergies active et réactive correspond un courant. Le courant actif ( $I_a$ ) est en phase avec la tension du réseau. Le courant réactif ( $I_r$ ) est déphasé de  $90^\circ$  par rapport au courant actif, soit en retard (récepteur inductif), soit en avance (récepteur capacitif).

Le courant apparent ( $I_t$ ) est le courant résultant qui parcourt la ligne depuis la source jusqu'au récepteur. Si les courants sont parfaitement sinusoïdaux, on peut utiliser la représentation de Fresnel. [10]

Ces courants se composent alors vectoriellement comme représenté à la figure (2.1) :

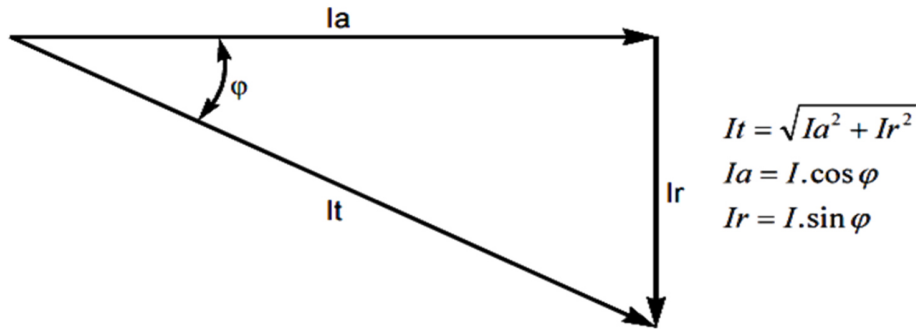


Figure 2.1 : Diagramme vectorielle des courants. [10]

### 2.5 Circulation de l'énergie réactive :

La circulation d'énergie réactive à des incidences techniques et économiques très importantes sur le choix des matériels et le fonctionnement des réseaux.

En effet, pour une même puissance active P, la figure suivante montre qu'il d'autant plus de puissance apparente, et donc de courant que la puissance réactive est importante. Ainsi de fait d'un courant appelé plus important , donc cette circulation sur les réseaux entraine des surcharges au niveau des transformateurs ainsi que des chutes de tension importantes avec des pertes supplémentaire et l'échauffement des câbles d'alimentation. [11]

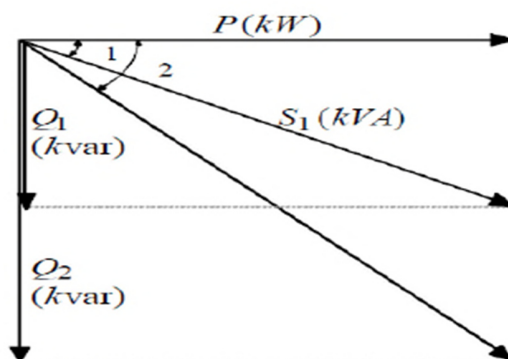


Figure 2.2 : Influence du  $\cos \varphi$  sur la valeur de la puissance réactive. [11]

De façon identique, pour un même courant actif utilisé  $I_a$  (pour une tension  $U$  constante du réseau), il faut fournir d'autant plus un courant apparent ( $I_2 > I_1$ ) que le  $\cos \varphi$  soit faible (voir la figure 2.3).

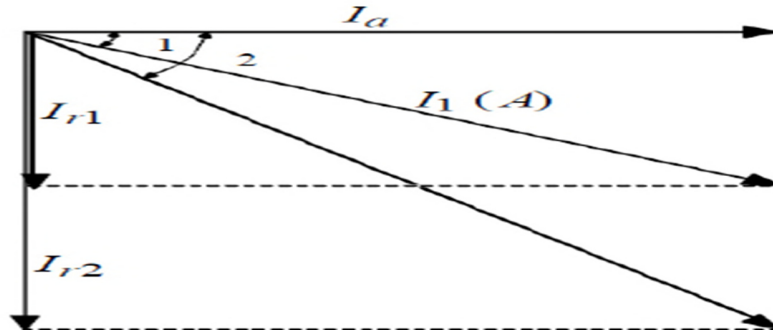


Figure 2.3 : Influence du  $\cos \varphi$  sur la valeur de courant apparente. [11]

## 2.6 Facteur de puissance :

Par définition le facteur de puissance -autrement dit le  $\cos(\varphi)$  d'un appareil électrique est égal au rapport de la puissance active  $P$  (kW) sur la puissance apparente  $S$  (kVA) et peut varier de 0 à 1.

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} \quad (2.8)$$

- ✓ Un facteur de puissance égal à 1 ne conduira à aucune consommation d'énergie réactive (résistance pure).
- ✓ Un facteur de puissance inférieur à 1 conduira à une consommation d'énergie réactive d'autant plus importante qu'il se rapproche de 0 (inductance pure).

$$F_p = \frac{P \text{ (puissance active)}}{S \text{ (puissance apparente)}} \quad (2.9)$$

Si les courants de tensions sont des signaux parfaitement sinusoïdaux, le facteur de puissance est égal à  $\cos(\varphi)$  c'est-à-dire :

$$F_p = \cos(\varphi) = \frac{P}{S} \quad (2.10)$$

### 2.6.1 Amélioration du $\cos(\varphi)$ d'une installation :

L'énergie réactive absorbée par les moteurs et les transformateurs varie peu entre le fonctionnement à vide et le fonctionnement en charge, alors que l'énergie active augmente avec la puissance fournie. À vide ou à faible charge, leur facteur de déphasage sera par conséquent très mauvais, il convient donc : [12] [13]

- ✓ D'éviter la marche à vide des moteurs.
- ✓ D'éviter le surdimensionnement des moteurs et des transformateurs.

### 2.6.2 Facteur de puissance et $\cos(\varphi)$ en présence d'harmoniques :

Le facteur de puissance est le rapport entre la puissance active et la puissance Apparente, Les facteurs de déphasage est le rapport entre la puissance active et la puissance apparente de la composante fondamentale.

Facteur de déformation caractérise le lien entre le facteur de puissance et le facteur de déphasage :

$$Fd = \frac{Fp}{\cos(\varphi)} \quad (2.11)$$

### 2.6.3 Avantages d'un bon facteur de puissance :

Un bon facteur de puissance permet d'optimiser une installation électrique et apporte les avantages suivants :

- La suppression de la facturation de l'énergie réactive
- La diminution de la puissance souscrite en kVA.
- La limitation des pertes d'énergie active dans les câbles compte-tenu de la diminution de l'intensité véhiculée dans l'installation.
- L'amélioration du niveau de tension en bout de ligne.
- L'apport de puissance disponible supplémentaire au niveau des transformateurs de puissance si la compensation est effectuée au secondaire. [11]

Un bon facteur de puissance c'est :

- ✓  $\cos(\varphi)$  élevé proche de 1, Ou  $\text{tg}(\varphi)$  faible proche de 0.

**2.6.4 Inconvénient d'un mauvais facteur de puissance :**

Un mauvais facteur de puissance dans une installation entraîne de nombreux inconvénients tel que :

- Intensité de courant en ligne trop élevée ce qui engendre l'augmentation des pertes d'énergie active dans les câbles.
- La facturation de l'énergie réactive.
- Augmentation de la puissance souscrite en kVA
- Saturation des transformateurs.
- Dégradation de la qualité de l'installation électrique. [10]

**2.6.5 Relation entre la puissance des condensateurs et l'amélioration du  $\cos(\varphi)$  :**

Supposons qu'en un point du réseau de puissance active P et réactive Q, on désire améliorer  $\cos(\varphi)$  pour obtenir  $\cos(\varphi')$ , ou passer de  $\tan(\varphi)$  à  $\tan(\varphi')$ :

$$\tan(\varphi') = \frac{Q'}{P} \tag{2.12}$$

On installe des condensateurs de puissance réactive  $Q_c$ , on a alors :

$$Q' = Q - Q_c \tag{2.13}$$

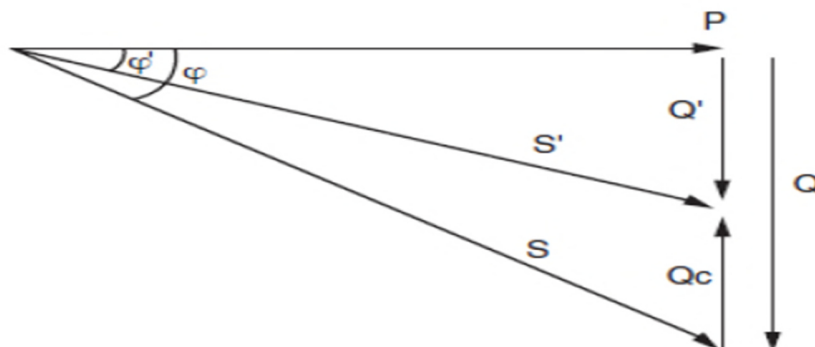
D'où :

$$\tan \varphi' = \frac{Q'}{P} = \frac{(Q-Q_c)}{P} = \tan(\varphi) - \left(\frac{Q_c}{P}\right) \tag{2.14}$$

$$Q_c = P (\tan(\varphi) - \tan(\varphi')) \tag{2.15}$$

Avec  $Q_c = CWU^2$  (2.16)

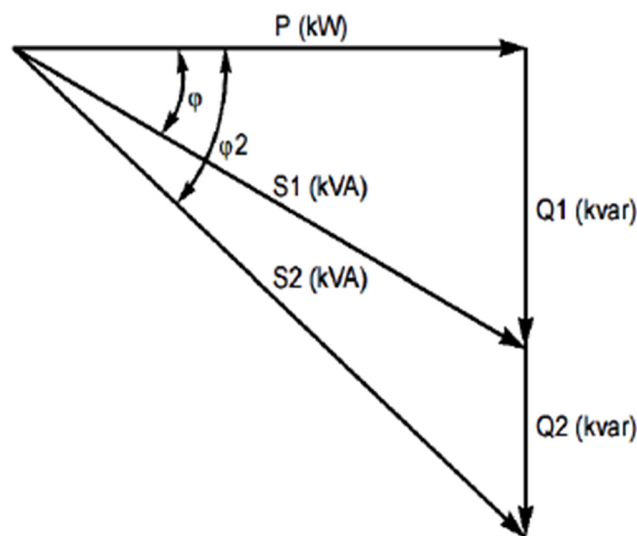
Donc  $C = \frac{(\tan \varphi - \tan \varphi')}{WU^2}$  (2.17)



**Figure 2.4 :** Diagramme des puissances apparentes. [14]

### 2.7 Compensation d'énergie réactive avec les batteries de condensateurs :

Il est nécessaire de produire l'énergie réactive au plus près possible des charges, pour éviter qu'elle ne soit pas appelée sur le réseau. C'est ce qu'on appelle « compensation d'énergie réactive ». Pour inciter à cela et éviter de sur-calibrer son réseau, le distributeur d'énergie pénalise financièrement les consommateurs d'énergie réactive au-delà d'un certain seuil. Donc on utilise des condensateurs pour fournir l'énergie réactive aux récepteurs inductifs. [14]



**Figure 2.5 :** Influence de la puissance réactive. [14]

#### 2.7.1 Définition d'une batterie de condensateur :

Une batterie de condensateur est un ensemble de condensateurs réunis entre eux pour former un condensateur plus important ou est un générateur de puissance réactive nécessaire pour alléger la puissance apparente des réseaux en amont des lieux de consommation permet ainsi de compenser l'énergie réactive qui sert essentiellement à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électrique avec un très bon rendement. [15]

#### 2.7.2 Principe de la compensation :

Le condensateur est un récepteur constitué de deux parties conductrices (électrodes) séparées par un isolant. Ce récepteur a la propriété lorsqu'il est soumis à une tension sinusoïdale de déphaser son intensité, donc sa puissance (réactive capacitive), de  $90^\circ$  en avant sur la tension.

La compensation d'une installation consiste à installer une source d'énergie réactive qui permet d'améliorer le facteur de puissance d'installation. [15] [16]

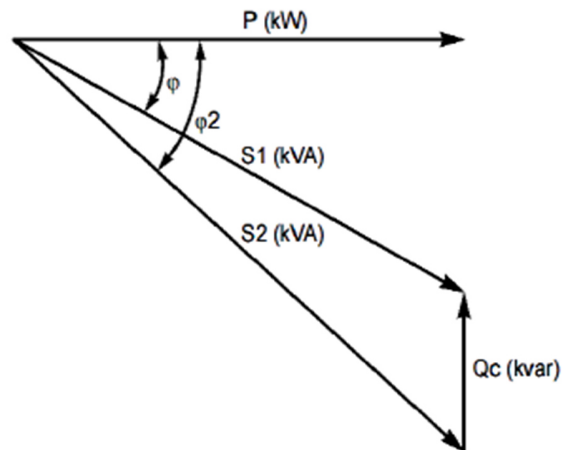


Figure 2.6 : Principe de la compensation d'énergie réactive. [16]

### 2.7.3 Les différents types de compensation :

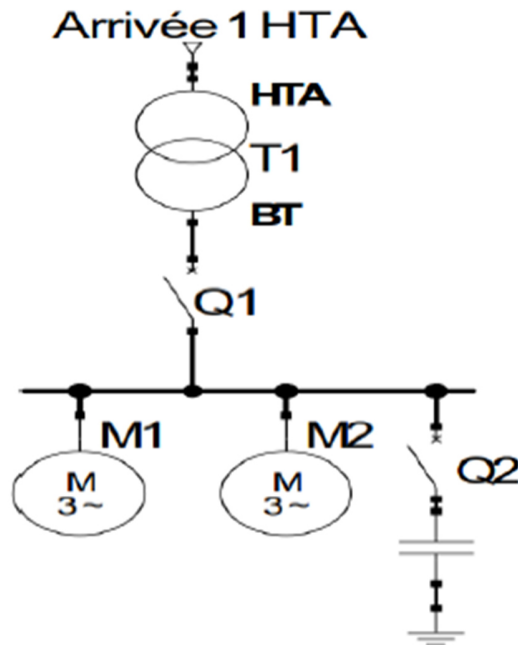
La compensation peut être effectuée avec deux familles de produits :

- Les condensateurs de valeurs fixes ou batterie fixe.
- Les batteries de condensateurs en gradins avec régulateur (automatique).

#### 2.7.3.1 Les batteries de condensateur de types fixe :

Les batteries de condensateurs fournissent une puissance réactive constante quelque soient les variations des charges récepteurs.

La mise en service d'un ensemble de la batterie dans un fonctionnement « tout ou rien », la mise en service peut être manuelle (par disjoncteur ou interrupteur), semi-automatique (par contacteur), asservie aux bornes des moteurs. Ce type de compensation est utilisé lorsque la puissance réactive est faible (< 15% de la puissance de transformateur) et la charge relativement stable. [17]



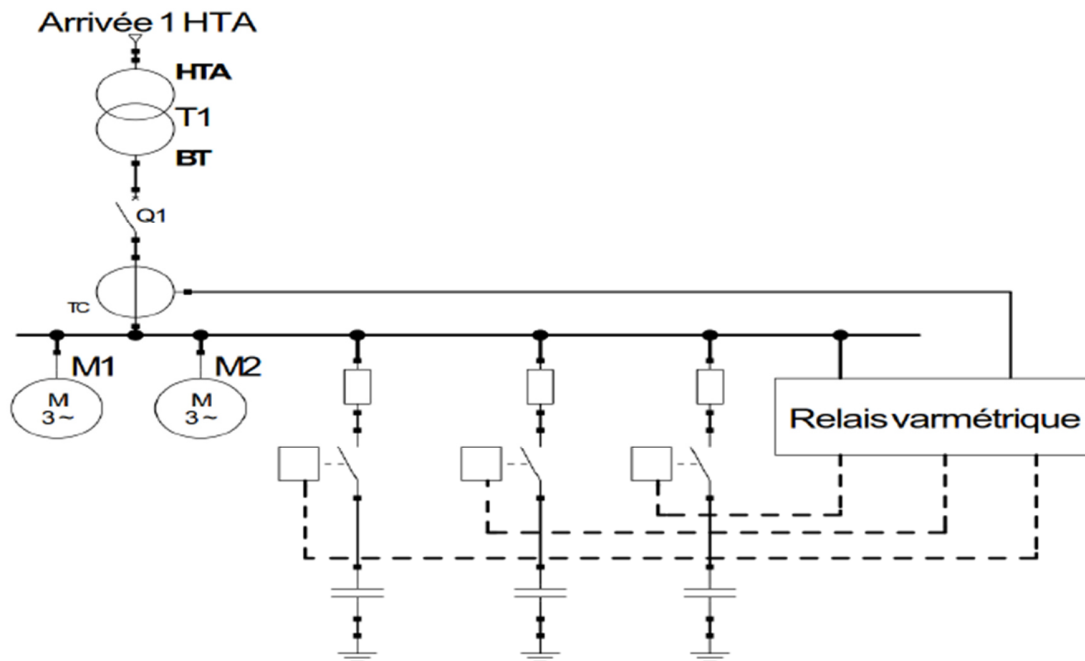
**Figure 2.7 :** Principe de la compensation fixe. [17]

### 2.7.3.2 Les batteries de condensateurs type automatique :

La batterie de condensateur est fractionnée en gradins, avec possibilité de mettre en service plus ou moins de gradins, en général de façon automatique. Permettent d'adapter automatiquement la puissance réactive fournie par les batteries de condensateurs. Un relais varométrique détecte le  $\cos(\varphi)$  de l'installation et commande automatiquement l'enclenchement de gradins de condensateurs en fonction de la charge et  $\cos(\varphi)$  désirée.

Ce type permet d'éviter le renvoi d'énergie réactive sur le réseau et les surtensions dangereuses lors des marches à faible charge de l'installation et ainsi de maintenir à la valeur  $\cos(\varphi)$  désirée.

[17]



**Figure 2.8 :** Principe de la compensation automatique. [17]

#### 2.7.4 Choix de localisation de la compensation :

On distingue trois modes de compensation :

- ✓ Compensation globale.
- ✓ Compensation partielle ou par secteur.
- ✓ Compensation individuelle.

##### 2.7.4.1 Compensation globale :

La batterie de condensateur est raccordée en tête d'installation et assure la compensation pour l'ensemble des charges. Ce type de compensation convient pour une installation simple de moyenne puissance, elle permet de supprimer les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive et soulager le poste de transformation, ainsi que d'ajuster le besoin réel de l'installation (kW) à la souscription de la puissance apparente (kVA). [18]

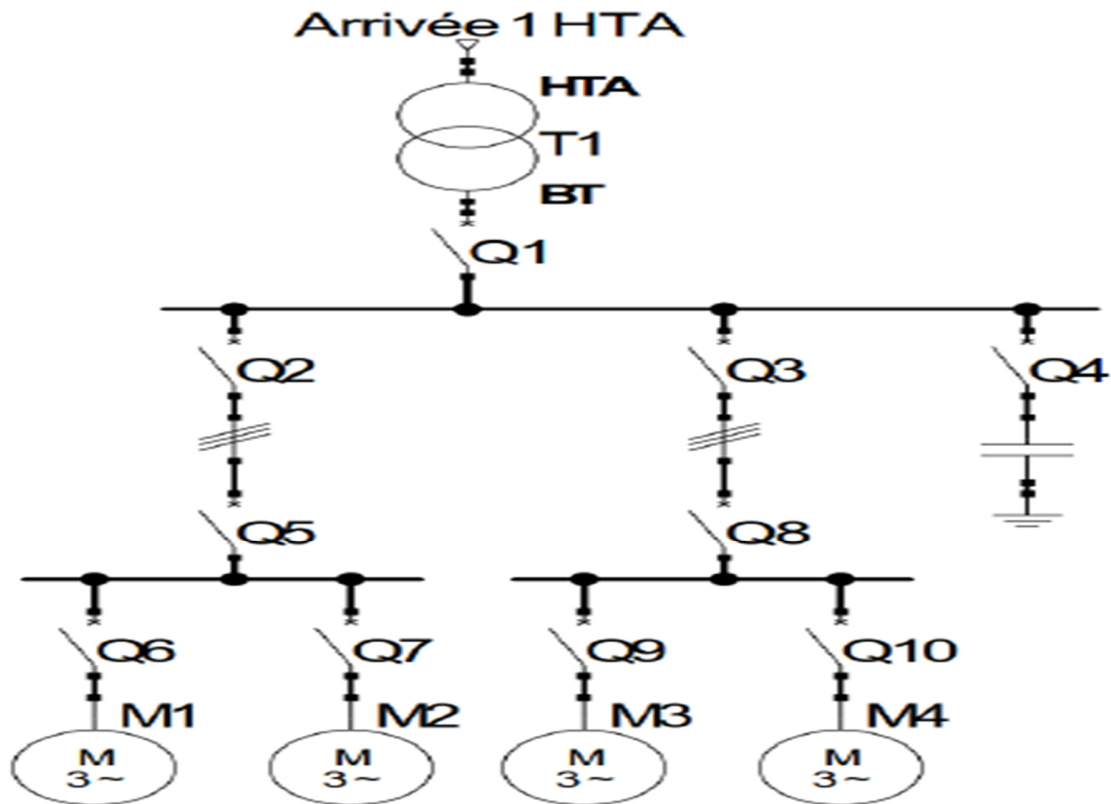


Figure 2.9 : Compensation globale. [18]

#### 2.7.4.2 Compensation partielle ou par secteur :

La batterie de condensateur est installée au départ de chaque atelier à compenser. Elle convient lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents. Ce type de compensation en plus d'avantage de la compensation globale permet de soulager les câbles alimentant les différents ateliers et optimise une partie du réseau, le courant réactif n'étant pas véhiculé entre le niveau situé en amont du secteur compensé, dont la diminution des pertes joules et la chute de tension. [19]

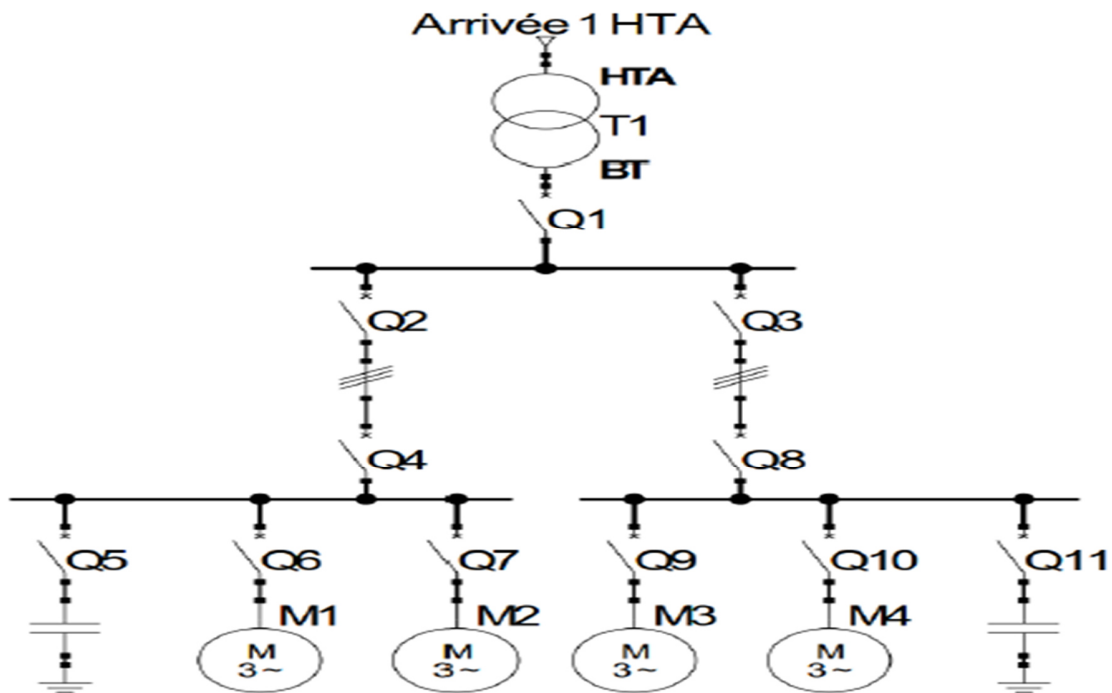


Figure 2.10 : Compensation par secteur. [18]

#### 2.7.4.3 Compensation individuelle :

La batterie de condensateur est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur inductif. Cette compensation est à envisager lorsque la puissance du récepteur est importante par rapport à la puissance souscrite.

Cette compensation individuelle est techniquement idéale puisqu'elle produit l'énergie réactive à l'endroit même où elle est consommée, et en quantité ajustée à la demande. [18]

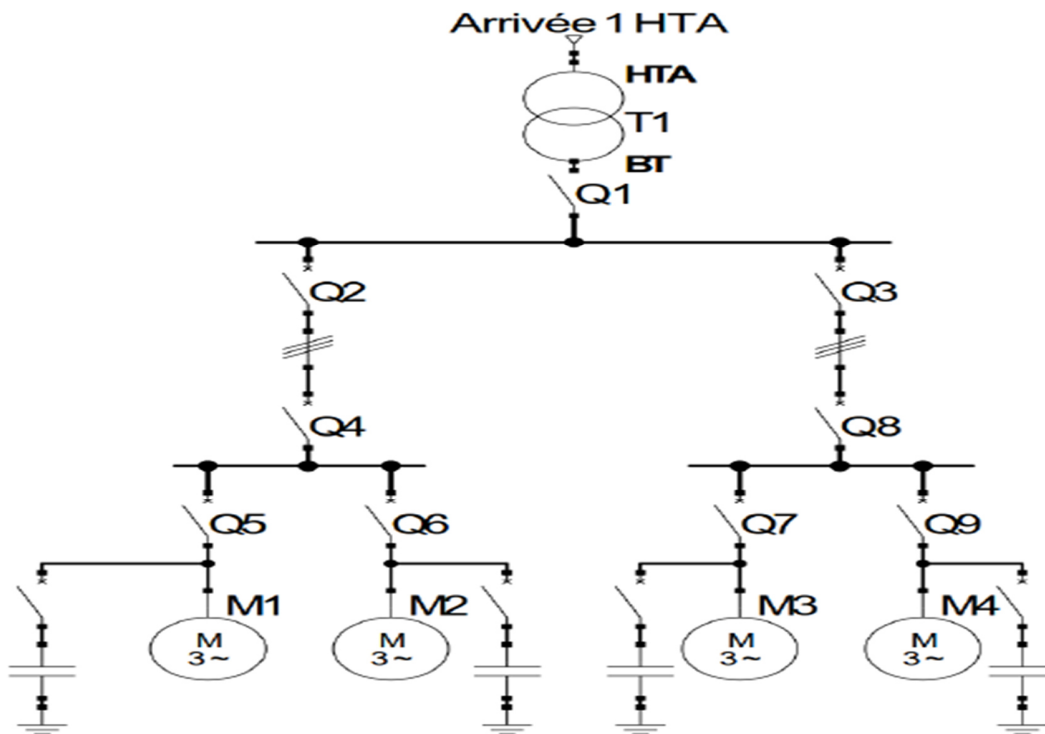


Figure 2.11 : Compensation individuelle. [19]

## 2.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présentés le principe de compensation de la puissance réactive par des batteries de condensateurs.

Nous avons met en évidence, d'une part à travers les notions de puissances : la puissance réactive et l'importance du facteur de puissance.

Nous avons terminez, en développant les différents choix nécessaires à apprendre pour la localisation de la compensation de la puissance réactive soit : global, partielle et individuelle.

### 3.1 Introduction :

Dans le demain d'électricité, l'électronique de puissance est un demain vital touche plusieurs activités tel que le réseau électrique.

Le développement d'électronique de puissance a permis d'améliorer la gestion des réseaux électriques en introduisant un nouveau concept par ce système FACTS (SVC).

Dans ce chapitre, nous allons parler sur les systèmes FACTS ainsi que ces différents types (parallèle, série et hybride), en passant sur le compensateur parallèle (SVC), en donnant en brève définition et explication sur son principe de fonctionnement et sa structure.

### 3.2 Généralités sur les systèmes FACTS :

Système FACTS [Flexible alternative current transmission système] ou bien système de transmission de courants alternatifs flexibles. [20]

L'utilisation efficace des réseaux électriques en cas de creux et de hausses de tension extrême provoque des pertes qui sont largement reconnues comme les problèmes les plus importants dans l'industrie de l'énergie. Pour cela l'électronique de puissance spécifiquement le système de transmission CA flexible (FACTS) basé sur un convertisseur joue un rôle très important dans le contrôle du flux de puissance ou bien l'amélioration de la qualité d'énergie.

#### 3.2.1 Systèmes FACTS :

Les dispositifs FACTS à base d'électronique de puissance sont couramment utilisés pour l'amélioration du profil de tension dans les limites admissibles, la réduction des pertes de puissance et l'équilibrage de charge. Donc ces dispositifs par l'injection de puissance active et réactive dans le réseau peuvent compenser les charges sensibles. [20]

Les FACTS sont agissants généralement absorbant ou en fournissant de la puissance réactive, en contrôlant l'impédance des lignes ou en modifiant les angles de tension. Les FACTS sont aussi utilisés pour la symétrie des lignes de transport d'accroître leur capacité. [21]

#### 3.2.2 Différents types des systèmes FACTS : [21]

Les systèmes FACTS sont très nombreux, ils font toujours partie de la famille des compensations électriques actives, mais cette compensation est série, parallèle (Shunt) ou hybride.

Les FACTS sont principalement constitués de capacité et d'inductance pour générer la puissance réactive, ainsi que l'électronique de puissance ou de disjoncteurs pour interrompre et rétablir le courant.

Les Types des FACTS sont très nombreux et parmi les FACTS les plus répandus on trouve :

- Les compensateurs parallèles(Shunt).
- Les compensateurs séries.
- Les compensateurs hybrides (série-parallèle).

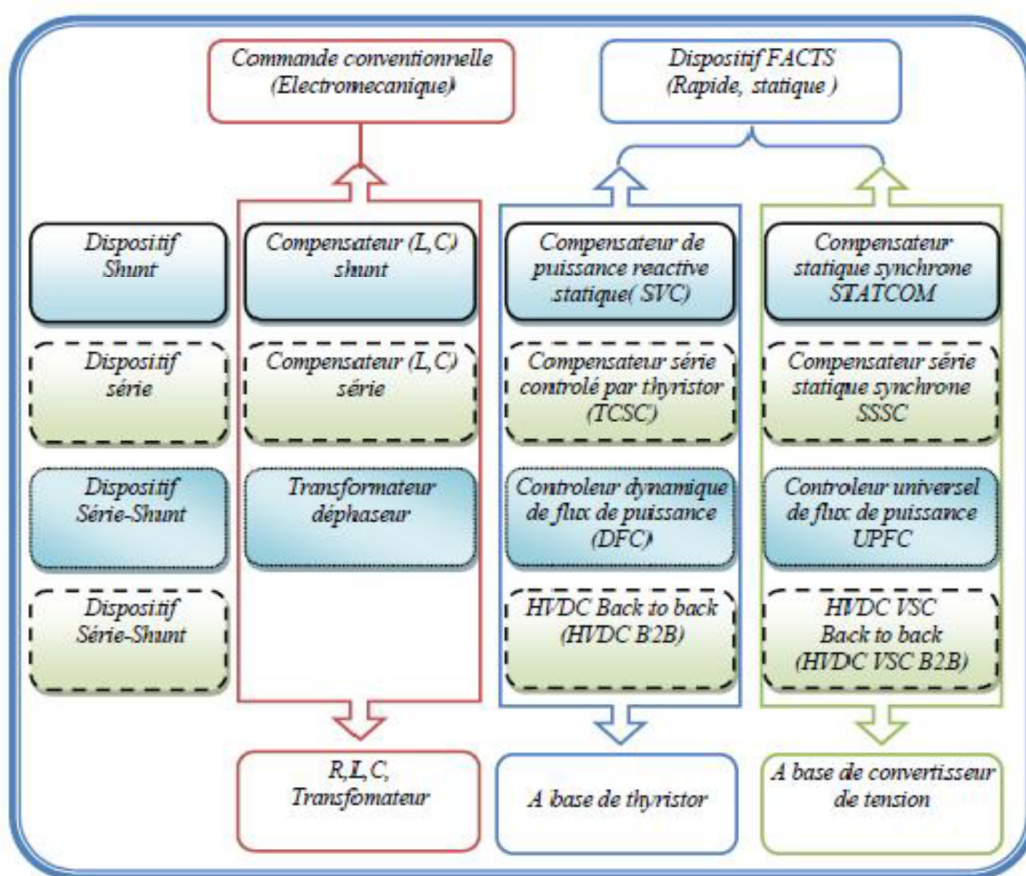


Figure 3.1: Différents types des FACTS. [22]

Dans le tableau (3.1), la colonne droite présente les dispositifs (l'électronique de puissance) à base de convertisseur de tension VSC sont la technologie la plus avancée des FACTS, à base des interrupteurs statique GTO (Gate turn-Off Thyristor), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors), ou bien les IGCT (Insulated Gate commutated Thyristors), tel que le STATCOM, le SSSC,

l'UPFC et HVDC. Ces convertisseurs de sources de tension fournissent ou injectent une tension totalement contrôlable en amplitude et en phase, en série ou en parallèle dans le réseau selon les exigences de contrôle. Puis des dispositifs à base des thyristors (CSC) comme le SVC, TCSC et TCSR, IPFC. En suite la colonne gauche présente la commande conventionnelle (électromécanique), tel que les compensateurs shunts (L ou C) MSC ou MSR, FSC, Transformateur déphaseur(PST). [23][24][25]

### 3.2.2.1 Les compensateurs parallèles (SVC-STATCOM) :

Ces Compensateurs sont connectés en parallèle avec les réseaux, agit principalement sur la tension (contrôle de tension) et en limite les oscillations, sont utilisés pour la compensation de la puissance réactive.

Les compensateurs parallèles consistent en une impédance variable, source variable ou une combinaison des deux, Ils injectent un courant dans le réseau à travers le point de connexion. Le courant réactif injecte dans la ligne pour maintenir la magnitude du voltage, ainsi la puissance réactive sera plus fournie. [26]

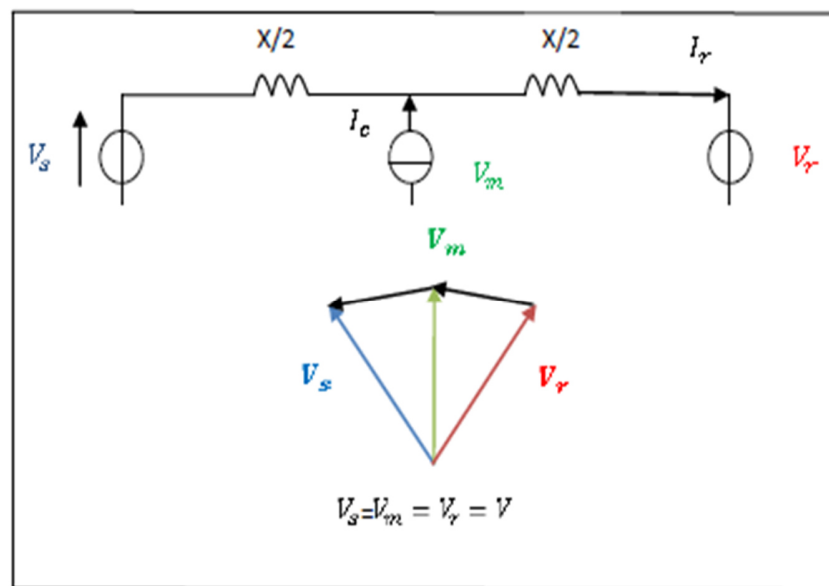


Figure 3.2: Compensateur shunt. [27]

### 3.2.2.1.1 Compensateur de la puissance réactive ou bien Statique var compensateur(SVC) :

Compensateur d'énergie réactive Shunt dit aussi compensateur statique de puissance réactive est le plus répandu des FACTS ont le première modèle est installé en 1979 en Afrique du sud.

Le SVC permettent le contrôle et le soutien de la tension en fournis de la puissance réactive à l'endroit ou il est connecté grâce à la commutation synchrone de batterie de capacités et d'inductance. Ces équipements étaient constitués essentiellement d'une inductance en série avec un gradateur, le retarde d'amorçage des thyristors permettait de régler l'énergie réactive absorbée par le dispositif. [28][29][30]

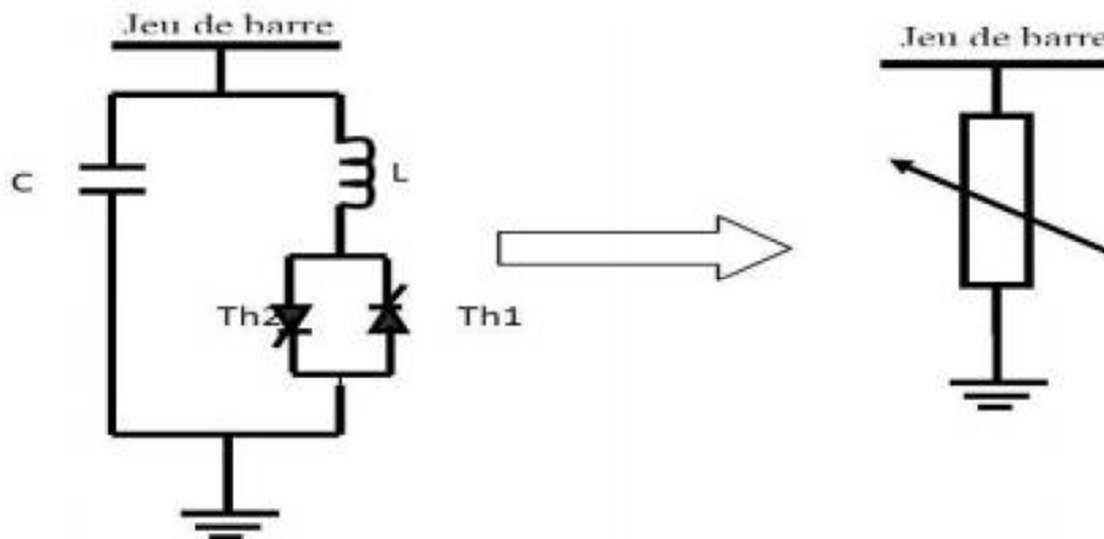


Figure 3.3: Schéma d'un SVC. [28]

### 3.2.2.1.2 Static Synchronus Compensator (STATCOM):

Le STATCOM ayant le même principe que SVC, Il sert compenser l'énergie réactive dans la ligne, Il est banché en Shunt, Son concept de base à été proposé par Gyugyi en 1976.

Le STATCOM est couramment utilisé pour l'amélioration de profil de tension, la réduction des pertes de puissance, ainsi que l'équilibrage de charge dans le système de distribution. Sa fonction centrale dans le système d'alimentation est de réguler la tension au point de couplage commun(Pcc) en injectant et en absorbant la puissance réactive vers/du système à un taux très

élevée. Donc le STATCOM injecte un courant dans le système pour corriger l'affaissement et le gonflement de tension, Il se présente le plus souvent sous la forme d'un onduleur de tension.

D'après L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Le STATCOM est défini comme un générateur synchrone fonctionnant comme un compensateur parallèle de l'énergie réactive dont le courant capacitif ou inductif généré peut être contrôlé séparément de la tension du réseau. [31]

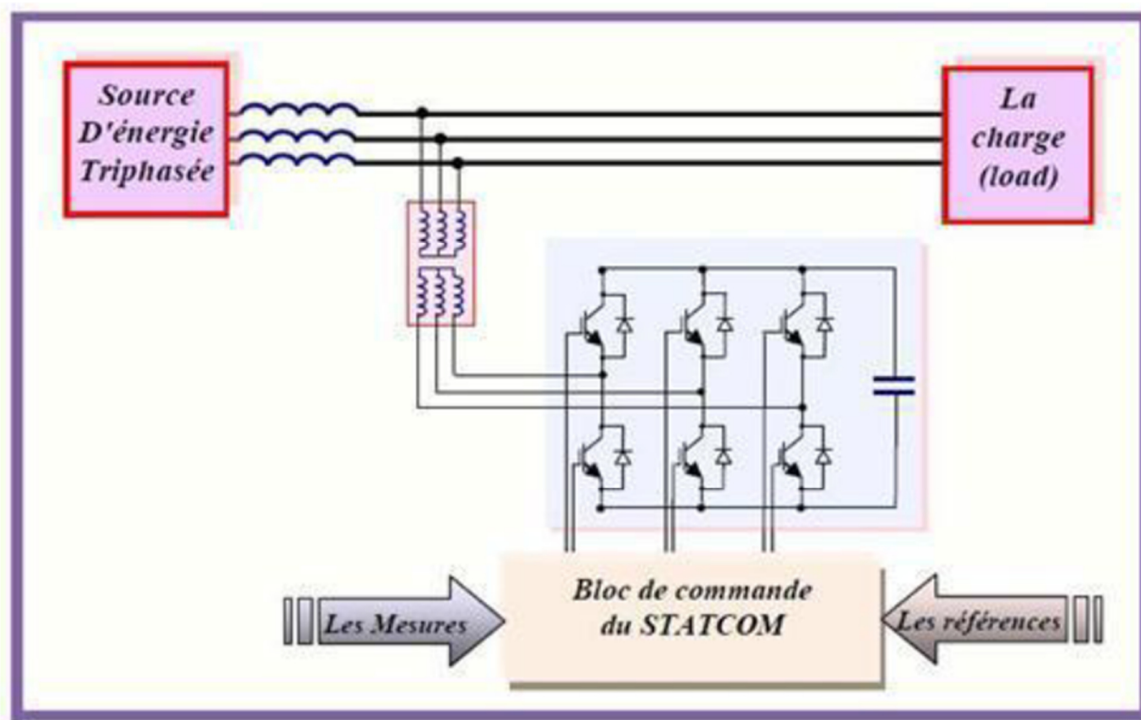


Figure 3.4: Schéma équivalent de STATCOM. [31]

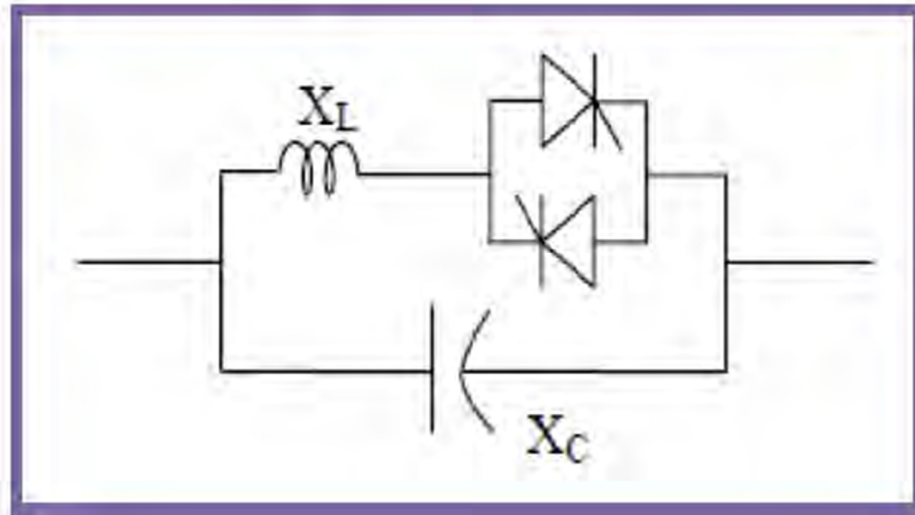
### 3.2.2.2 Compensateurs Séries :

Ces compensateurs sont connectés en série avec le réseau comme une impédance variable (inductive ou capacitive) ou une source de tension variable.

La compensation série agit principalement sur la réactance, elle réduit ainsi le rapport de dépendance tension/charge, en générale les dispositifs séries injectent une tension en série avec la ligne de transmission. [24][32][33]

Parmi les compensateurs séries les plus utilisés on situe :

- ❖ TCSC (Thyristor controlled series compensation) : Ce type est constitué d'une inductance en série avec un gradateur connecté en série avec le réseau pour contrôler le flux de puissance et d'élever la capacité de transfert des lignes. [34][35]



**Figure 3.5:** Schéma équivalent d'un TCSC. [34]

- ❖ SSSC (Static synchronous series compensateur) : C'est l'un des plus importants dispositifs FACTS, similaire à un STATCOM mais avec une tension de sortie injectée en série dans la ligne. [24][26]

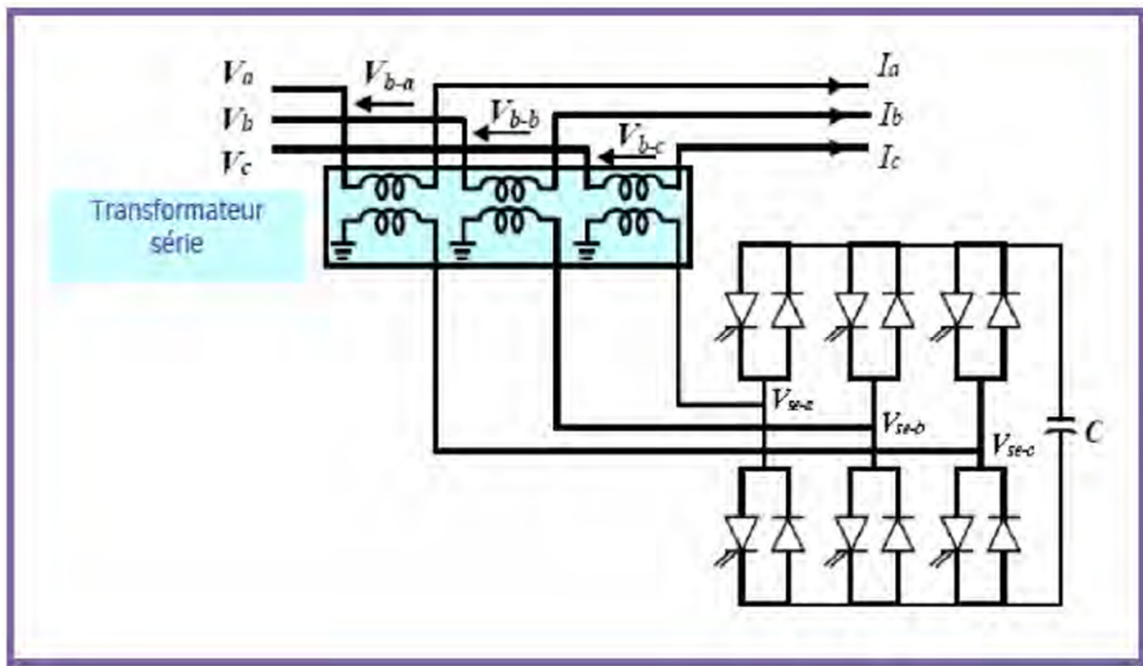


Figure 3.6: Schéma équivalent d'un SSSC. [24]

### 3.2.2.3 Compensateur Hybride (série-parallèle) TCPAR, UPFC, IPFC :

Le compensateur hybride est une combinaison des dispositifs séries et shunts commandé d'une manière coordonnée afin d'accomplir un contrôle prédéfini, Ils servent à contrôler le flux de puissance active et réactive, la tension et l'angle de transport de l'énergie. [24]

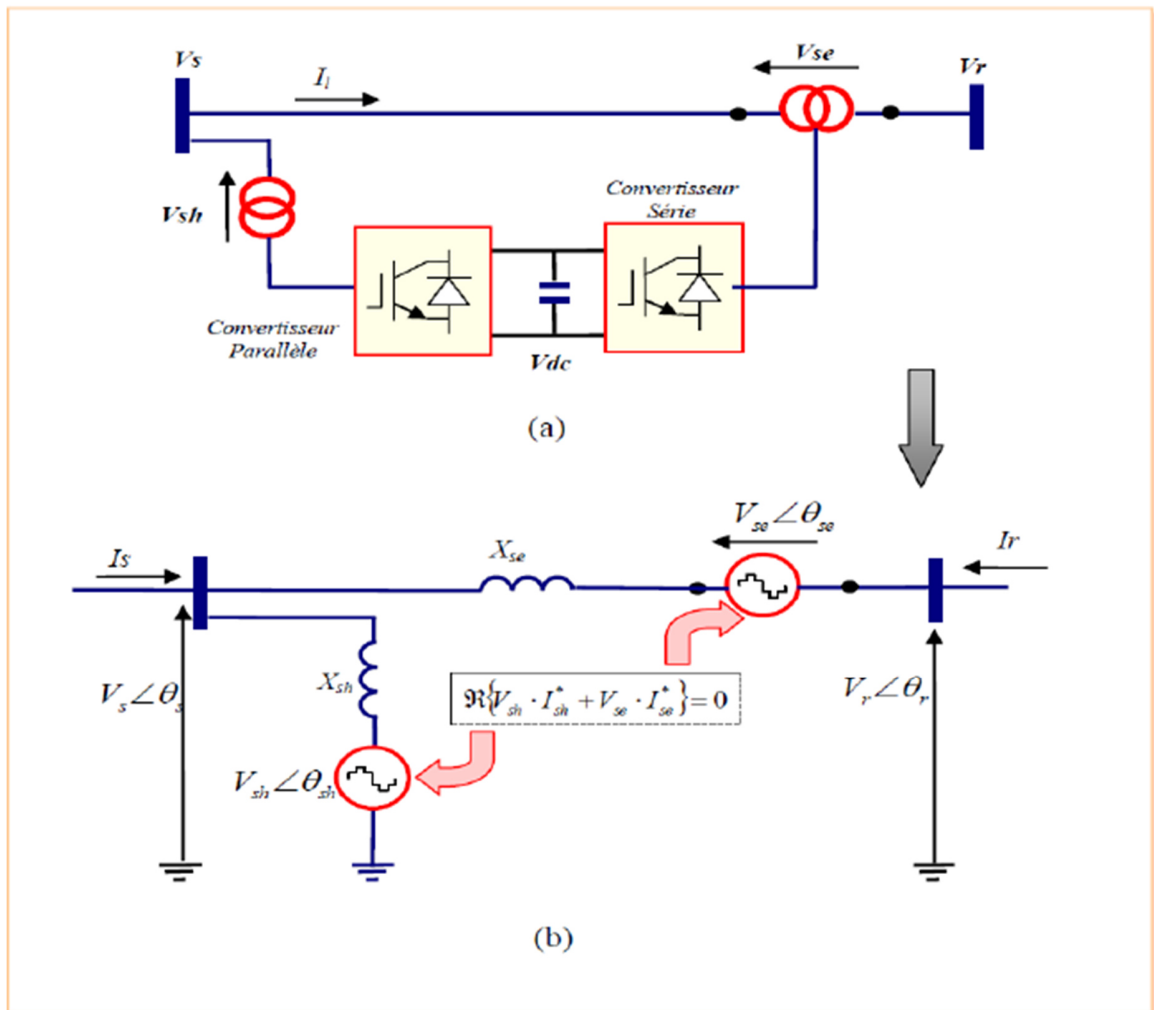


Figure 3.7: Compensateur hybrides. [24]

3.2.3 Avantage et Apports des FACTS : [24][35]

Parmi les avantages majeurs des FACTS :

- Le support du profil de la tension et le contrôle dans les nœuds.
- L'amélioration de la stabilité statique et dynamique et de qualité d'énergie.
- L'amortissement des oscillations subsynchrones.

En effet les FACTS permettent :

- Ne pas transporter d'énergie réactive en la fournissant la ou elle est demander.
- Augmenter les puissances maximales transmissibles et donc le transfert de puissance active.

- Contrôler les flux de puissance pour les surcharges des lignes et les risques de déclenchement en cascade.

### 3.3 Modélisation du Compensateur statique SVC :

#### 3.3.1 Définition du SVC :

Le compensateur statique de puissance réactive SVC est un générateur électronique qui contrôle dynamiquement le flux de puissance à travers un réactif variable accès au réseau, ou bien le SVC est une sorte de tensions permanentes et transitoires dans les limites requises, injecter ou absorber de la puissance réactive dans le jeu de barre ou il est connecté de manière à satisfaire la demande de puissance réactive de la charge. [27][36]

#### 3.3.2 Structure et constitution d'un SVC :

SVC (static var compensateur) est un contrôleur FACTS de type shunt connecté en parallèle avec le réseau, Il se compose d'une sortie de contrôleur tel que TCR (Thyristor controlled reactor) ou TSR (Thyristor switched reactor) pour absorbant les vars réactifs et TSC (Thyristor commute condensator) pour injecter les vars réactifs dans le système à moment de l'exigence. Il se compose également de divers filtres pour filtrés certaines harmoniques dans le système. Le SVC joue un rôle plus important dans la correction du facteur de puissance. [37]

La figure (3.8) donne une représentation schématique monophasée d'un compensateur statique shunt (SVC), il se compose d'un condensateur de réactance capable de fournir entièrement la puissance réactive enclenchement ou déclenchement complet et d'une bobine d'induction de réactance inductive qui contrôle la puissance réactive absorbée entre zéro et sa valeur maximale à travers des thyristors montés en tête-bêche pour assures des inversions très rapides du courant.

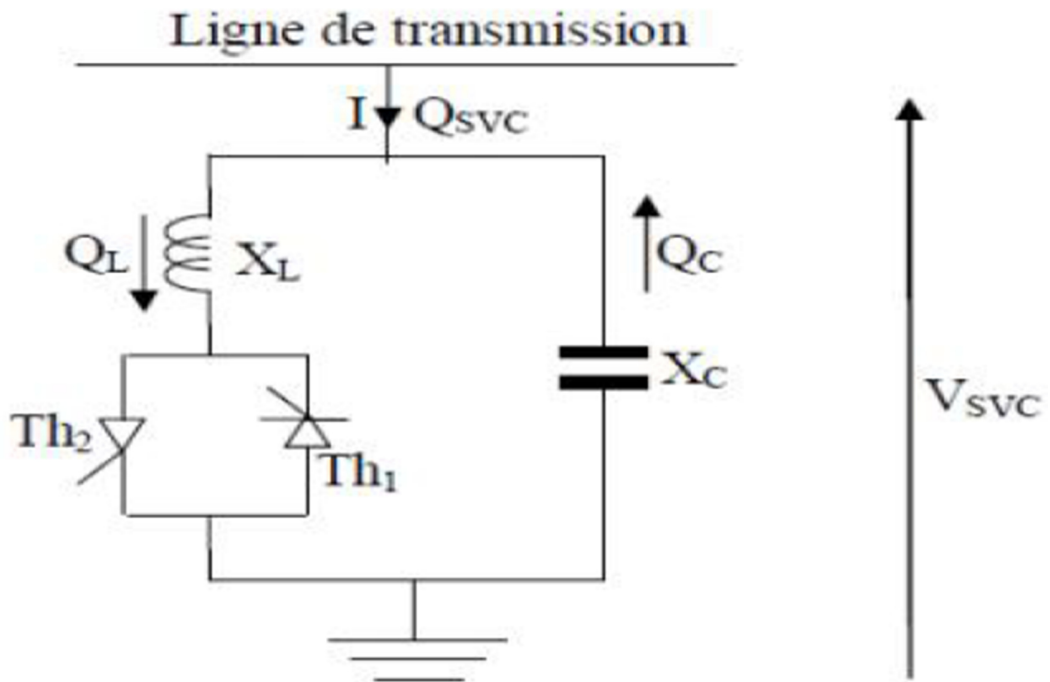


Figure 3.8: Représentation schématique monophasée d'un Compensateur Statique. [37]

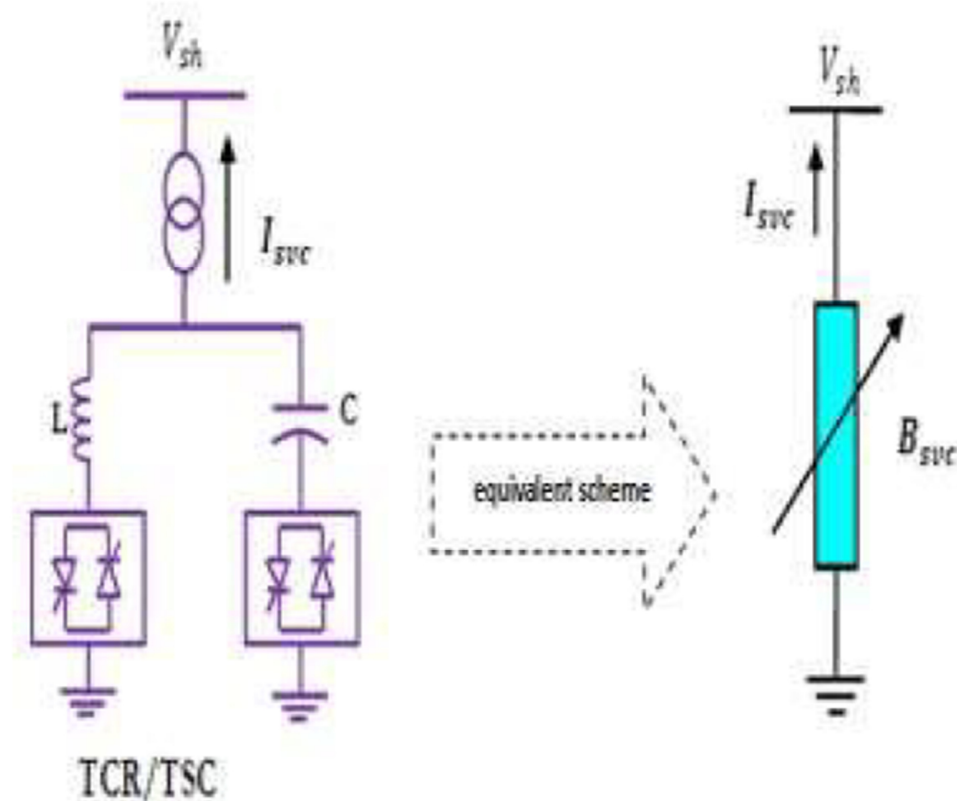


Figure 3.9: Schéma équivalent d'un SVC. [37]

Supposons que le SVC idéal ne contienne pas de composant résistif ( $G_{SVC}=0$ ), donc il ne consomme pas d'énergie active du réseau, sa puissance réactive est fonction de la tension au jeu de barre de connexion et de la susceptance  $B_{SVC}$ .

$$P_i=0 \quad (3.1)$$

$$Q_i= -I V_i I^2 B_{SVC} \quad (3.2)$$

Le SVC est essentiellement représenté par une variable réactance avec limites inductive et capacitives maximales pour contrôler la tension du bus SVC, avec un bloc de contrôle supplémentaire et signaux pour amortir les oscillations (Voir la figure 3.9).

Un signal de stabilisation supplémentaire et un contrôle supplémentaire, superposés à la boucle de contrôle de tension d'un SVC peuvent fournir l'amortissement de l'oscillation du système.

[38][39]

### 3.3.3 Principe de fonctionnement d'un SVC :

Le compensateur statique SVC se compose de plusieurs composants, tel que le condensateur fixe (FC) contrôlé par des éléments mécaniques ; d'une réactance contrôlé par thyristor (TCR) et condensateur commuté par thyristor (TSC) et parfois par réactance thyristor (TSR) et de filtres d'harmoniques.

#### 3.3.3.1 Condensateur fixe (FC) :

Le condensateur fixe fournit une puissance réactive fixe au jeu de barre, il est connecté mécaniquement au réseau et avoir une commande ouverte connectez-le au disjoncteur du jeu de barre.

#### 3.3.3.2 Réactance commandée par thyristors (TCR) :

La réactance commandée par thyristors TCR possède une impédance fixe connectée en série avec une valve à thyristors bidirectionnelle, la réactance contrôlée par thyristors permet un contrôle plus fin de la puissance réactive car elle permet un contrôle continu du courant de compensation.

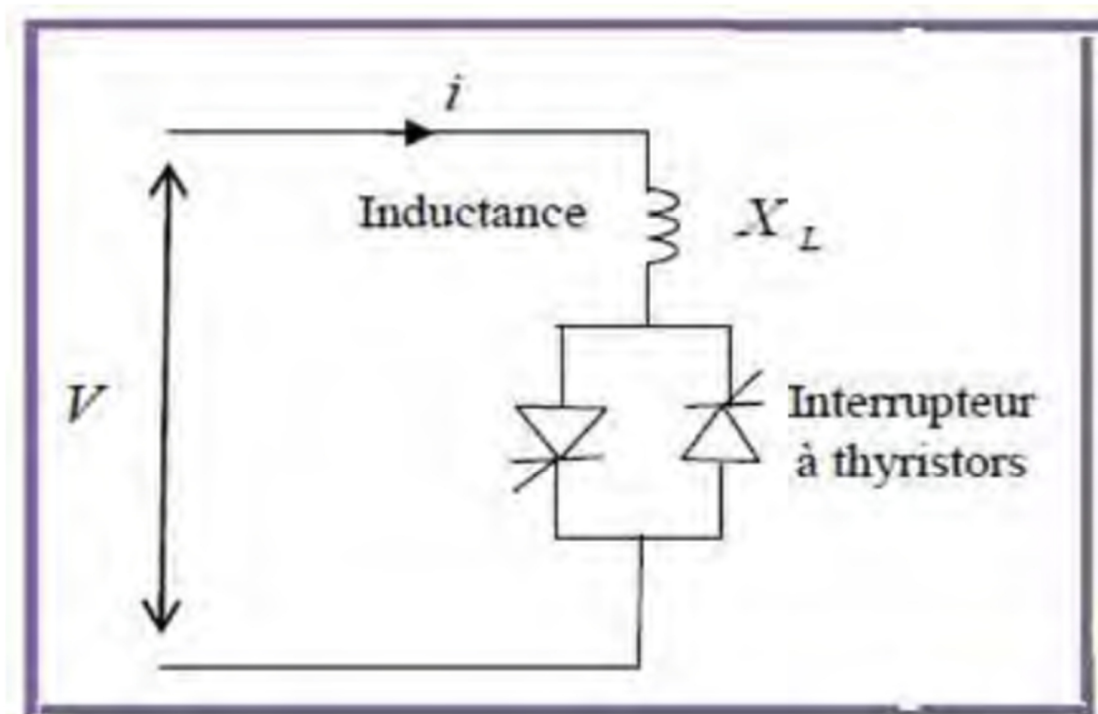


Figure 3.10: Élément de base d'un TCR. [40]

La valeur de l'impédance va continuellement changée par l'amorçage des thyristors, un thyristor se met à conduire quand un signal de gâchette lui est envoyé et la tension à ses bornes est positive, il s'arrête de conduire lorsque le courant qui le traverse s'annule.

Les thyristors sont enclenchés avec un certain angle d'allumage et conduisent alternativement sur une demi-période. On définit l'angle d'allumage  $\alpha$  à partir du passage par zéro dans le sens positif de la tension aux bornes du thyristor à allumer. L'angle de conduction  $\sigma$  est l'angle pendant lequel les thyristors conduisent. Un thyristor se met à conduire quand un signal de gâchette lui est envoyé et la tension à ses bornes est positive. Il s'arrête de conduire lorsque le courant qui le traverse s'annule. Les thyristors sont allumés de façon symétrique toutes les demi-périodes. Le courant à fréquence fondamentale est réglé par la commande de phase de la valve à thyristors. En pleine conduction ( $\alpha = 90^\circ$ ), le courant est essentiellement réactif et sinusoïdal, et lorsque  $\alpha = 180^\circ$ , on est en conduction nulle. [40][41][42][43]

La relation qui lie l'angle d'allumage et l'angle de conduction en régime permanent

Est :  $\sigma = (\pi - \alpha)$ . Une conduction partielle des thyristors est accomplie avec un angle d'amorçage  $\alpha$  compris entre  $90^\circ$  et  $180^\circ$ , a pour effet de réduire la fondamentale du courant, figure (3.11) (les courbes b et c), et donc de diminuer la susceptance apparente de l'inductance. [40]

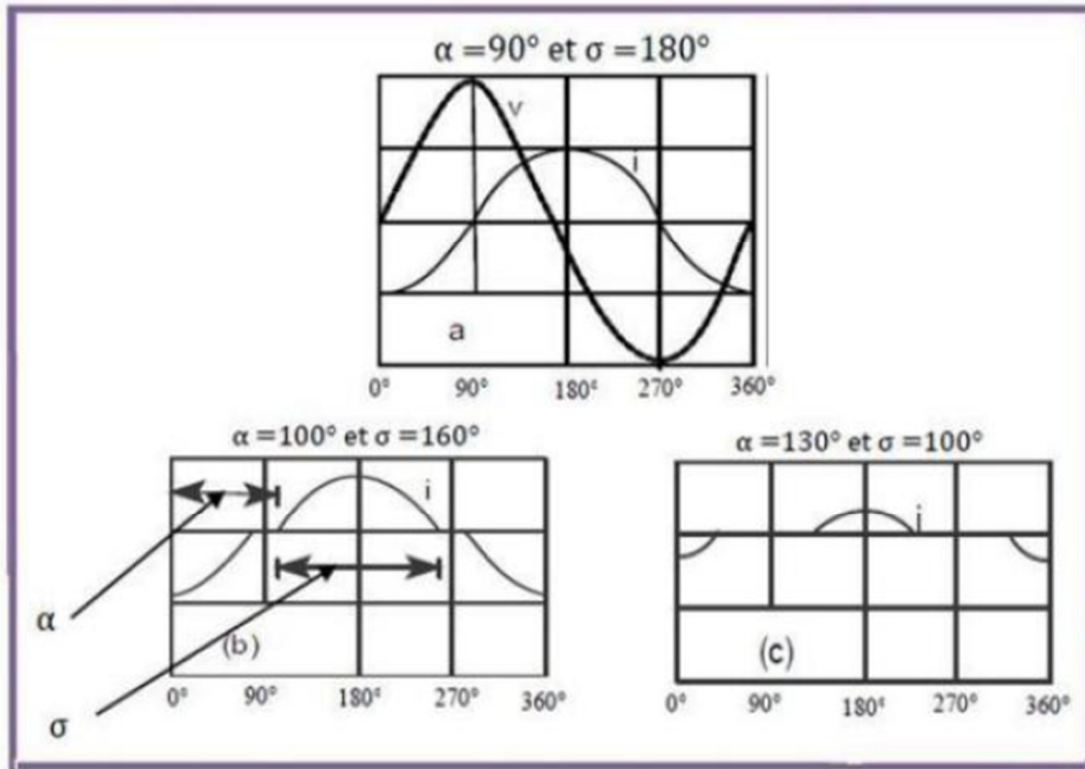
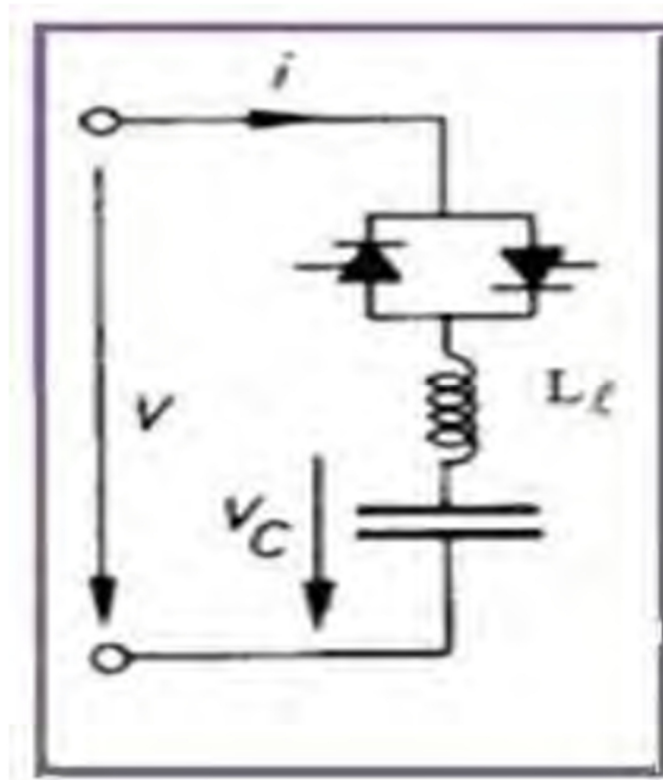


Figure 3.11: Angle d'amorçage et de conduction d'un TCR. [41]

### 3.3.3.4 Condensateur commuté par thyristors (TSC) :

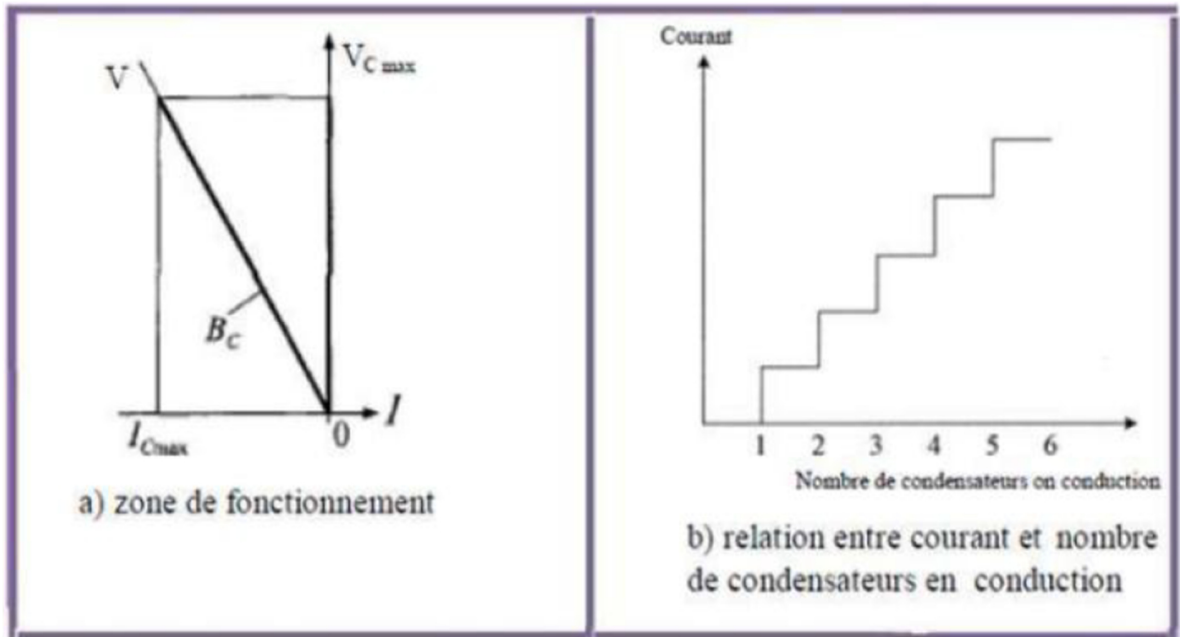
Le condensateur commuté par thyristors TSC (Thyristor-Switched Capacitor) est composé d'un condensateur fixe « C » branché en série avec une valve à thyristors bidirectionnelle et une bobine d'inductance d'atténuation «  $L_l$  ». Le commutateur a pour rôle d'enclencher et de déclencher le condensateur pour un nombre entier de demi-cycles de la tension appliquée. Le condensateur n'est ainsi pas commandé en phase, mais simplement enclenché et déclenché. L'inductance d'atténuation sert à limiter le courant en cas de fonctionnement anormal et à éviter la résonance avec le réseau à des fréquences particulières. [40] [41]

Pour avoir un minimum de perturbations transitoires, les instants de commutation sont choisis de façon à ce que la tension aux bornes des thyristors soit minimale. L'enclenchement est donc réalisé lorsque la tension résiduelle du condensateur est égale à la tension instantanée du réseau.



**Figure 3.12:** Élément de base d'un TCS. [40]

Le condensateur peut être commuté avec un minimum de transitoire si le thyristor est allumé (état on), à l'instant quand la tension  $V_C$  du condensateur et la tension  $V$  du réseau ont la même valeur. La susceptance étant fixe, le courant dans le TSC varie linéairement avec la tension  $V$  (qui explique l'absence des harmoniques sur le TSC). La zone de fonctionnement est similaire à celle d'un TSR; elle est illustrée à la figure (3.13.a). Généralement le SVC de type TSC contient  $n$  banc de TSC montés en parallèle. La susceptance est ajusté par le contrôle du nombre de condensateurs parallèles en conduction. Chaque condensateur conduit toujours pour un nombre intégrant de demi-cycle. La relation qui relie le courant de compensation et le nombre de condensateurs en conduction est montrée dans la figure (3.13.b). [37][44]



**Figure 3.13:** Principe d'un TSC. [44]

Plusieurs TSC de tailles différentes peuvent être mis en parallèle, de façon à former un banc de condensateurs enclenchables et déclenchables par thyristors. Dans certaines installations, les commutations sont parfois réalisables par disjoncteurs. Ce type de dispositif porte le nom de condensateur commuté mécaniquement MSC (Mechanically-Switched Capacitor). Les MSCs sont des dispositifs conçus pour n'être enclenchés et déclenchés que quelques fois par jour. De ce fait, leur fonction principale est de fournir de la puissance réactive en régime permanent.

### 3.3.4 Contrôle d'un SVC :

SVC est essentiellement un générateur/charge var statique connecté en dérivation dont la sortie est ajustée pour échanger capacitive ou inductive, courant afin de maintenir ou de contrôler des variables spécifiques du système d'alimentation ; typiquement, la variable contrôlée est la tension du bus SVC.

L'une des principales raisons d'installer un SVC est d'améliorer le contrôle dynamique de la tension et ainsi, augmenter la capacité de charge du système. Aussi le SVC est traditionnellement utilisé pour l'injection de puissance réactive, la taille de contrôle est déterminée à partir des exigences en régime permanent, c'est-à-dire la quantité de réactif poivre et nécessaire. [45]

L'introduction de contrôleur SVC à un emplacement approprié, en soi ne fournit pas

l'amortissement, car la tâche principale des contrôleurs est de contrôler la tension. Par conséquent, afin d'augmenter l'amortissement du système, il est nécessaire d'ajouter un bloc de contrôle supplémentaire avec un signal d'entrée.

Le signal d'entrée de commande supplémentaire souhaité doit être de préférence local pour éviter les problèmes associés au signal à distance contrôlé. Les choix typiques de signaux locaux sont la puissance réelle/réactive flux et courants de ligne dans les lignes adjacentes. Ici, un mode l'indice d'observabilité a été utilisé pour déterminer la meilleure entrée signal [46]. Ce signal supplémentaire est alimenté par un lavage bloc de commande pour éviter d'affecter le fonctionnement en régime permanent du contrôleur, et un bloc de contrôle avance-retard supplémentaire est utilisé pour améliorer la réponse dynamique du système.

Le contrôle du SVC surveille la tension primaire en envoie les impulsions appropriées aux 24 thyristors (6 thyristors par banc triphasé) pour obtenir la susceptance requise par le régulateur de tension. Chaque banque triphasée est connectée en triangle de sorte que, lors d'un fonctionnement équilibré normal, les harmoniques triplent homopolaires restent piégées à l'intérieur du delta, réduisant ainsi l'injection d'harmonique dans le système d'alimentation.

### 3.3.4 Caractéristiques d'un compensateur statique SVC :

#### 3.3.4.1 Caractéristique en tension d'un SVC :

Ajustons l'angle  $\alpha$  des thyristors commandant la branche inductive à  $90^\circ$ , de façon à obtenir la pleine conduction. Le courant est alors à sa valeur maximal, la droite (L//C) de la figure (3.14) montre la relation entre la tension  $U$  et le courant  $I_{SVC}$ . [47]

$$V_{SVC} = I_{SVC} / (X_L // X_C) \quad (3.3)$$

Lorsque l'inductance est débranchée alors l'angle des thyristors est  $180^\circ$  et le condensateur est en service seule, le courant total par phase sous une tension  $V$  est égale :

$$I_{SVC} = V_{SVC} / X_C \quad (3.4)$$

La coutume est d'apposer un signe (-) à ce courant capacitif pour le distinguer du courant inductif. La relation entre le courant et la tension est alors une nouvelle droite, désignée par (C), figure (3.14).

Les droites (L//C) et (C) forment ensemble une « courbe en V » qui correspond aux limites inductive et capacitive du compensateur statique. [47]

- Cette figure pour  $X_C = 2 * X_L$

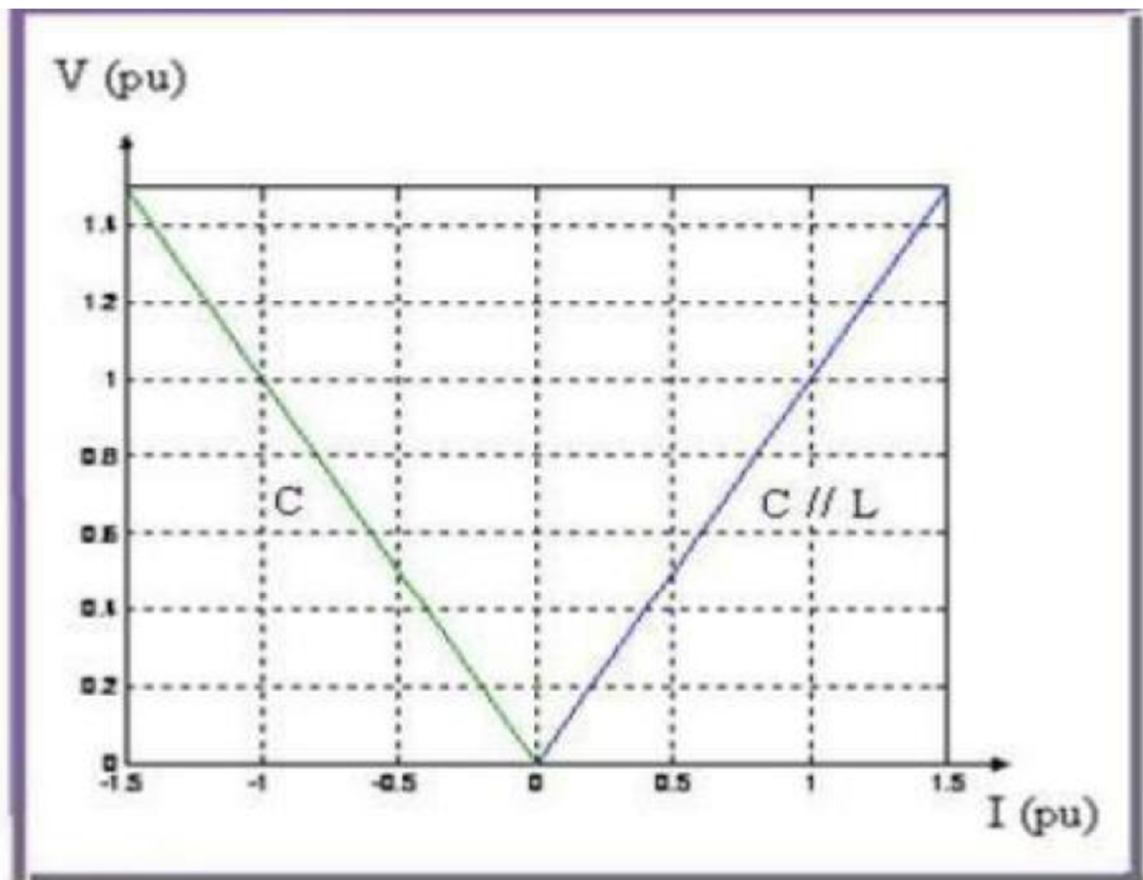
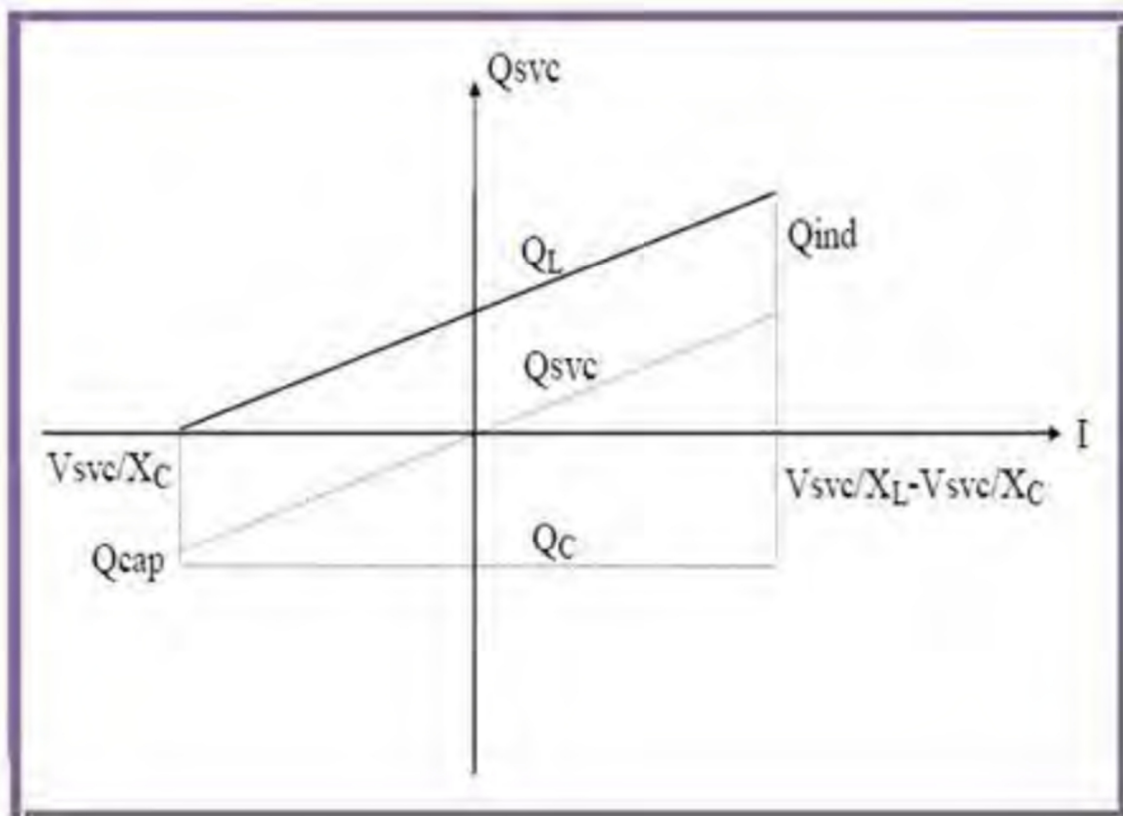


Figure 3.14: Caractéristique en tension d'un SVC. [47]

D'après cette courbe, on a un courant capacitif lorsque le condensateur est en service et l'inductance est débranchée donc le montage génère une puissance réactive et cette puissance est en fonction de la capacité du condensateur et de la tension. Lorsque les deux sont en service le montage génère ou consomme une puissance réactive. [32][48]

### 3.3.4.2 Caractéristique de puissance réactive d'un SVC :

Pour fixer le signe de puissance réactive  $Q_{SVC}$ , le compensateur est considéré comme un commutateur. La puissance réactive  $Q_{SVC}$  est positive lorsqu'elle est absorbée par le compensateur (comportement inductif), le courant d'entrée  $I$  est un courant réactif, il est supposé positif lorsqu'il est retardé de  $90^\circ$  par rapport à la tension  $V_{SVC}$ . Si par contre, le compensateur fournit de la puissance réactive (comportement capacitif), cette dernière est considérée comme étant négative, ainsi que le courant  $I$ . Ces relations sont prises en compte sur la figure (3.15). Par conséquent, la puissance réactive  $Q_L$  est positive alors que la puissance réactive  $Q_C$  est négative. [49][50]



**Figure 3.15:** Exigences posées à la puissance réactive. [50]

La puissance réactive  $Q_{SVC}$  varie entre une valeur inductive "  $Q_{ind}$  " et une valeur capacitive "  $Q_{cap}$  ", Avec :

$$Q_{cap} = \frac{V_{SVC}^2}{X_C} \quad (3.5)$$

On obtient alors la réactance capacitive  $X_C$  nécessaire pour le condensateur. De la relation suivante, on peut déterminer la réactance  $X_L$  de la bobine d'inductance :

$$Q_{ind} = V_{SVC}^2 - \frac{V_{SVC}^2}{X_C} \quad (3.6)$$

Les relations (3.5) et (3.6) se rapportent à une phase du compensateur.

**3.3.5 Les Avantages d'un SVC : [51]**

- Réduire les pertes de transmission.
- Augmenter la capacité de transmission.
- Améliorer la commande et la stabilité de tension.
- Augmenter la limite de stabilité.
- Stabiliser la tension des systèmes faibles.
- Atténuer les oscillations de puissance.

**3.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté une vue globale sur les dispositifs FACTS (série, parallèle et hybride) avec des schémas qui structurent chaque dispositifs, de plus nous avons présenté quelques installations FACTS en exploitation dans le monde tel que : SVC, le STATCOM, le TCSC, le SSSC etc....

Dans ce chapitre nous avons choisi d'étudier le SVC (static var compensateur) comme dispositifs FACTS pour contrôler la tension et optimiser la puissance réactive dans une station de pompage. Nous avons décrit aussi son principe de fonctionnement et ces différents éléments qui constituent.

#### 4.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons essayer de connecter un SVC aux réseaux électriques de la Station afin d'améliorer le facteur de puissance est réduire l'appel de la puissance réactive à partir du réseau de Sonalgaz. Pour ce faire nous utiliserons un logiciel des réseaux électriques appelé EMTPworks en réalisant en premier lieu le réseau sans injection de la puissance réactive et en deuxième lieu, le SVC sera connecté afin d'injecter une partie de la puissance réactive nécessaire pour alimenter les équipements de la station de pompage.

Les résultats de simulation seront présentés et commentés dans cette partie.

#### 4.2 Présentation du Logiciel de simulation :

Avant de commencer la phase de simulation, il est préférable de décrire brièvement le logiciel utilisé pour la simulation EMTP-RV (Electromagnetic Transient Analysis Program). EMTP-RV est un progiciel spécialement utilisé pour simuler et analyser les phénomènes transitoires du réseau électrique. L'EMTP Développement Coordination Group (DCG) est le résultat de plus de 20 années de recherches approfondies. EMTP-RV est le progiciel d'analyse et de simulation de réseau électrique transitoire le plus polyvalent au monde. EMTP-RV est conçu pour effectuer une variété d'études de réseau électrique, qu'elles soient liées à l'ingénierie et à la conception de projets, à la résolution de problèmes ou à la réparation de défauts inexplicables. [52]

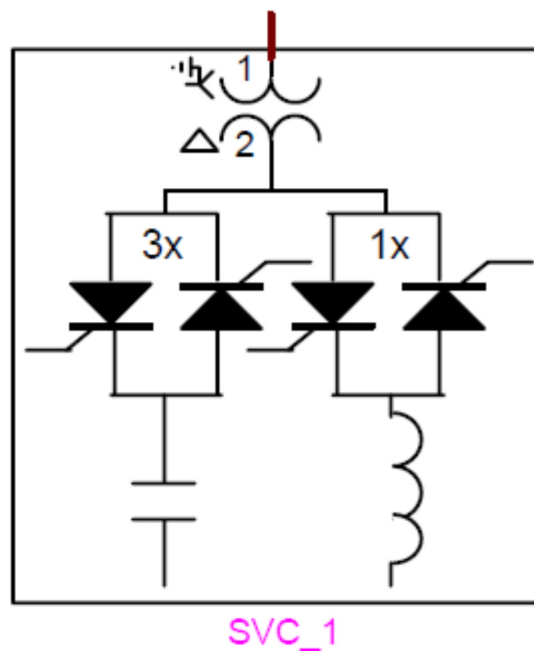
#### 4.3 Simulation du SVC :

Le Compensateur Statique (SVC) est un dispositif de dérivation de la famille « **Flexible AC Transmission Systems (FACTS)** » utilisant l'électronique de puissance pour contrôler le flux de puissance et améliorer la stabilité transitoire sur les réseaux électriques en injectant ou absorbant la puissance du réseau. En général, le SVC peut être utilisé lorsqu'un contrôle continu et rapide ou une puissance réactive est requis pour atteindre tout ou partie des objectifs suivants. [53]

- Régulation de tension ;
- Amélioration de l'état stationnaire et de la stabilité dynamique ;
- Réduction des surtensions ;
- Réduction des creux de tension ;
- Amortissement des oscillations ;
- Réduction des déséquilibres de tension ou de courant.

Toutes les fonctions assurées par le SVC peuvent être réalisées en contrôlant le flux de la puissance réactive transmise entre le SVC et le réseau.

Dans notre cas, l'injection permanente de la puissance réactive par le SVC permettant de garder une bonne valeur du facteur de puissance de l'installation.



**Figure 4.1 :** Modèle de SVC sur logiciel EMTPworks.

Ce SVC est un modèle générique utilisant trois bancs de condensateurs commutés par thyristors (TSC) et un réacteur contrôlé par thyristors (TCR).

Le SVC régule la tension à ses bornes en contrôlant la quantité de puissance réactive injectée ou absorbée par le système électrique. Lorsque la tension du système est faible, le SVC génère une puissance réactive (SVC capacitive). La variation de puissance réactive est réalisée en commutant des batteries de condensateurs triphasées et des batteries d'inductances connectées au secondaire d'un transformateur de couplage. Chaque banque TSC est allumée et éteinte tandis que le TCR est contrôlé en phase.

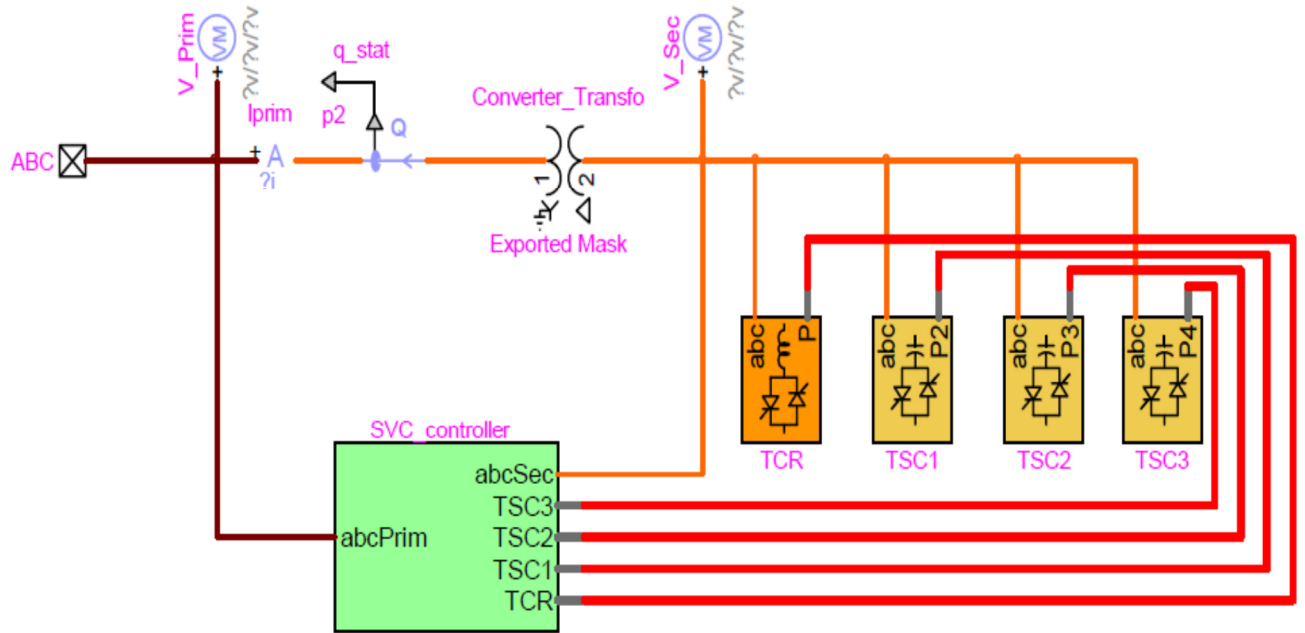


Figure 4.2 : Sous-circuit SVC sur logiciel EMTWorks.

Les figures (4.3) et (4.4) représentent les branches du SVC compensées de TCR et TSC pour chaque phase.

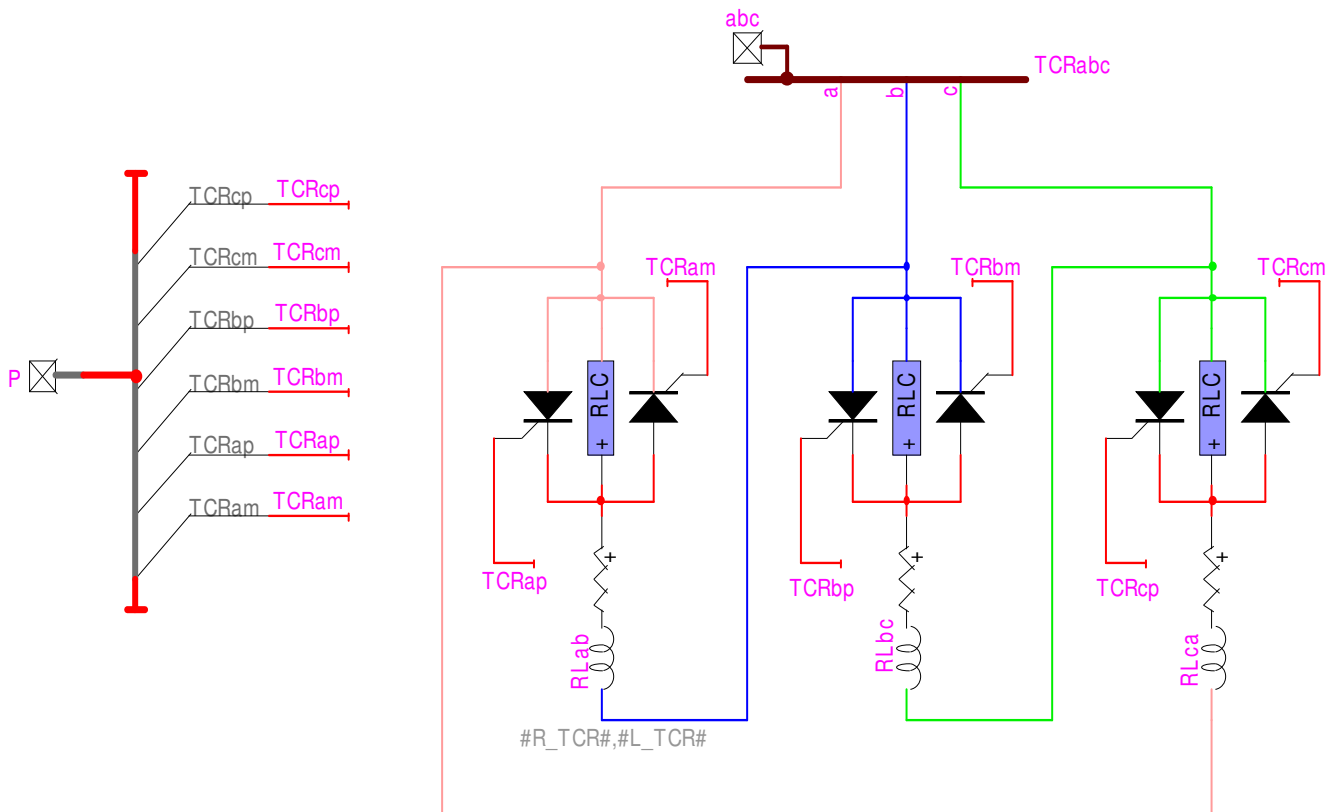


Figure 4.3 : Branche TCR du SVC.

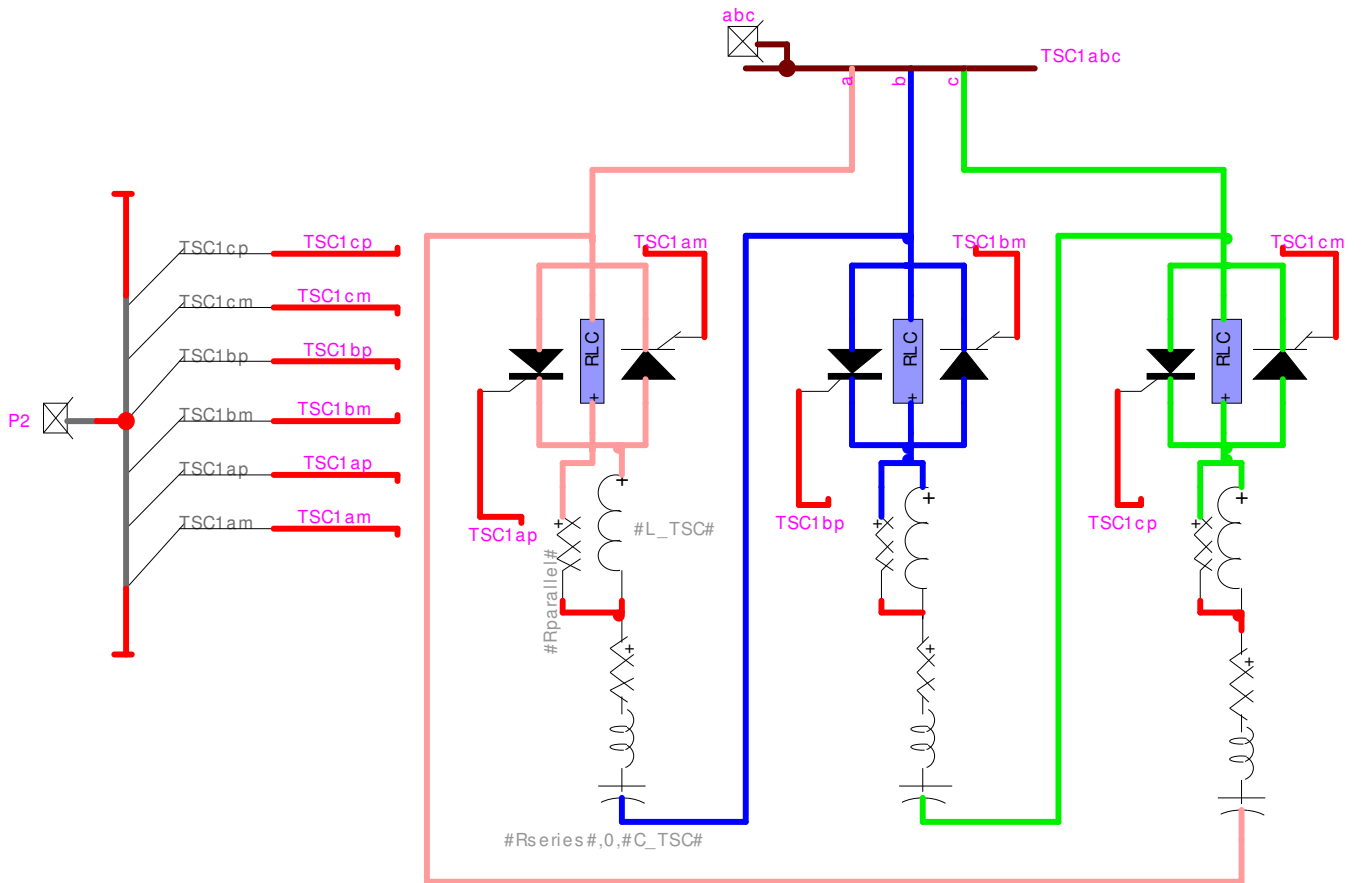


Figure 4.4 : Branche TSR du SVC.

Le sous-circuit du système de contrôle (illustré à la Figure (4.5)) se compose de :

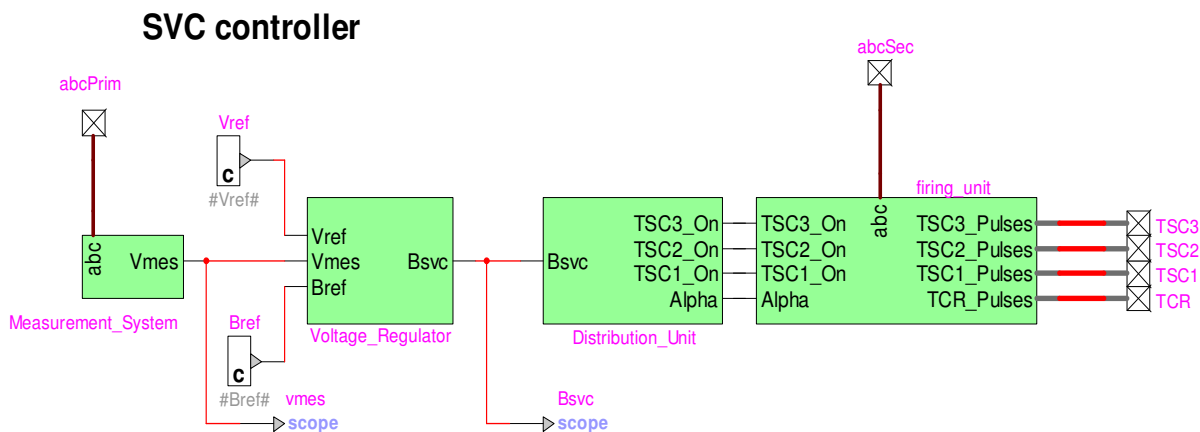


Figure 4.5 : Système du contrôle du SVC.

- Un système de mesure mesurant la tension directe à contrôler sur le point de raccordement du SVC.

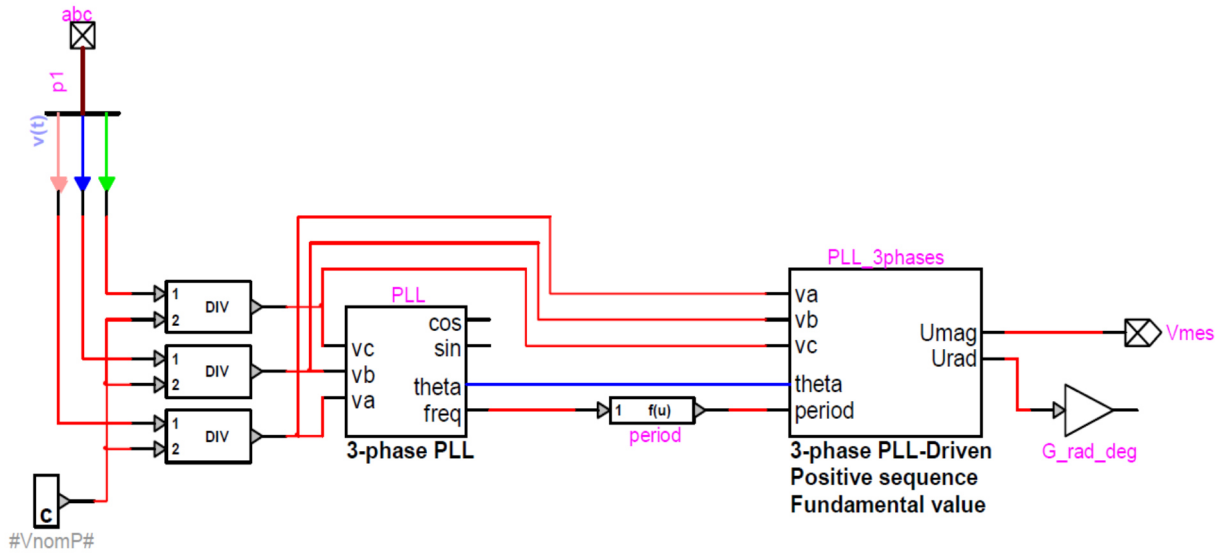


Figure 4.6: Unité de mesure de la tension du réseau.

- Un régulateur de tension (Figure (4.7)) qui utilise l'erreur de tension (différence entre la tension mesurée  $V_{mes}$  et la tension de référence  $V_{ref}$ ) pour déterminer la susceptance  $B_{svc}$  nécessaire pour maintenir la tension du système constante.

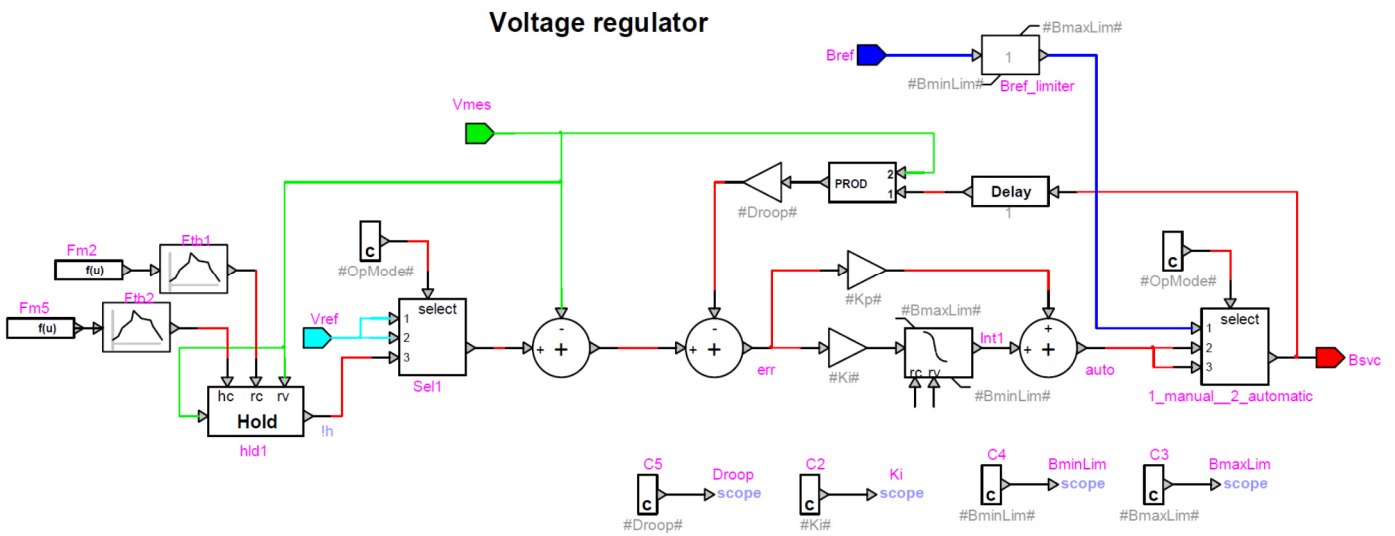
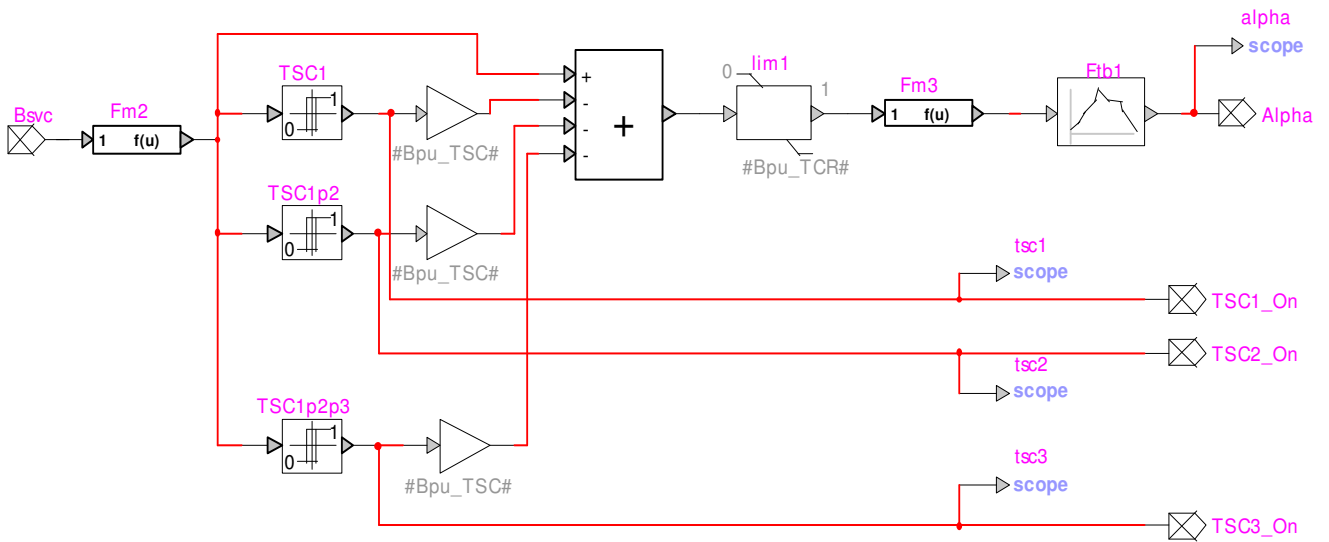


Figure 4.7: Bloc de régulation de la tension.

- Une unité de distribution (Figure (4.8)) qui détermine les TSC qui doivent être allumés et éteints, et calcule l'angle d'amorçage des TCR.



**Figure 4.8:** Bloc de génération des signaux de commande et l'angle de retard à l'amorçage.

Une unité de d'amorçage qui comprend un système de synchronisation utilisant une boucle à verrouillage de phase (PLL) synchronisée sur les tensions secondaires et un générateur d'impulsions qui envoie les impulsions appropriées aux thyristors.

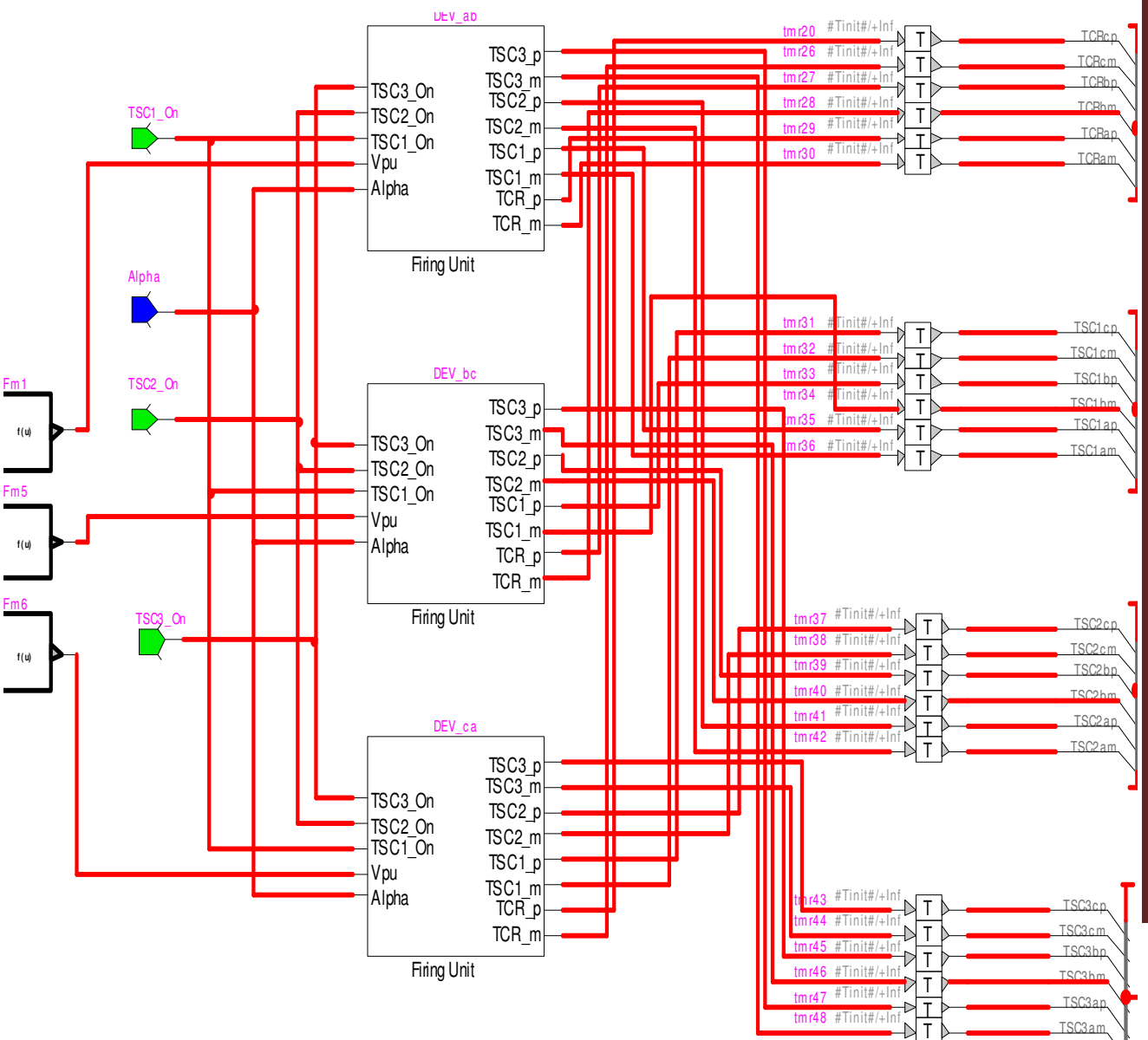


Figure 4.9 : Bloc d'envoi des signaux de commande et de synchronisation.

### 4.3.1 Description du réseau de puissance de station de pompage :

Le réseau électrique de la station de pompage est composé de plusieurs équipements qui peuvent être simplifiés par leurs caractéristiques réelles suivantes :

- ✓ Un départ de réseau de Sonalgaz d'une tension de 30 kV.
- ✓ Deux transformateurs 5 KVA, 30/5.5 KV alimentant plusieurs machines asynchrones (pompes).
- ✓ Deux transformateurs de 630 KVA, 5.5 KV/400V alimentant plusieurs installations de la station.
- ✓ Quatre moteurs asynchrones de 540 KW, 5.5 KV.

Le schéma électrique unifilaire de la station de pompage est donné sur la figure (4.10):



4.3.2 Modélisation et simulation du réseau de puissance sans SVC :

En premier lieu, nous avons réalisé le réseau de la station de pompage sur le logiciel à partir du poste de distribution 30kV. Les différentes charges sont regroupées dans des charges fixes sauf les composés sont modélisées par moteurs asynchrones triphasés. La figure (4.11) illustre le schéma du réseau de la station sans SVC connecté.

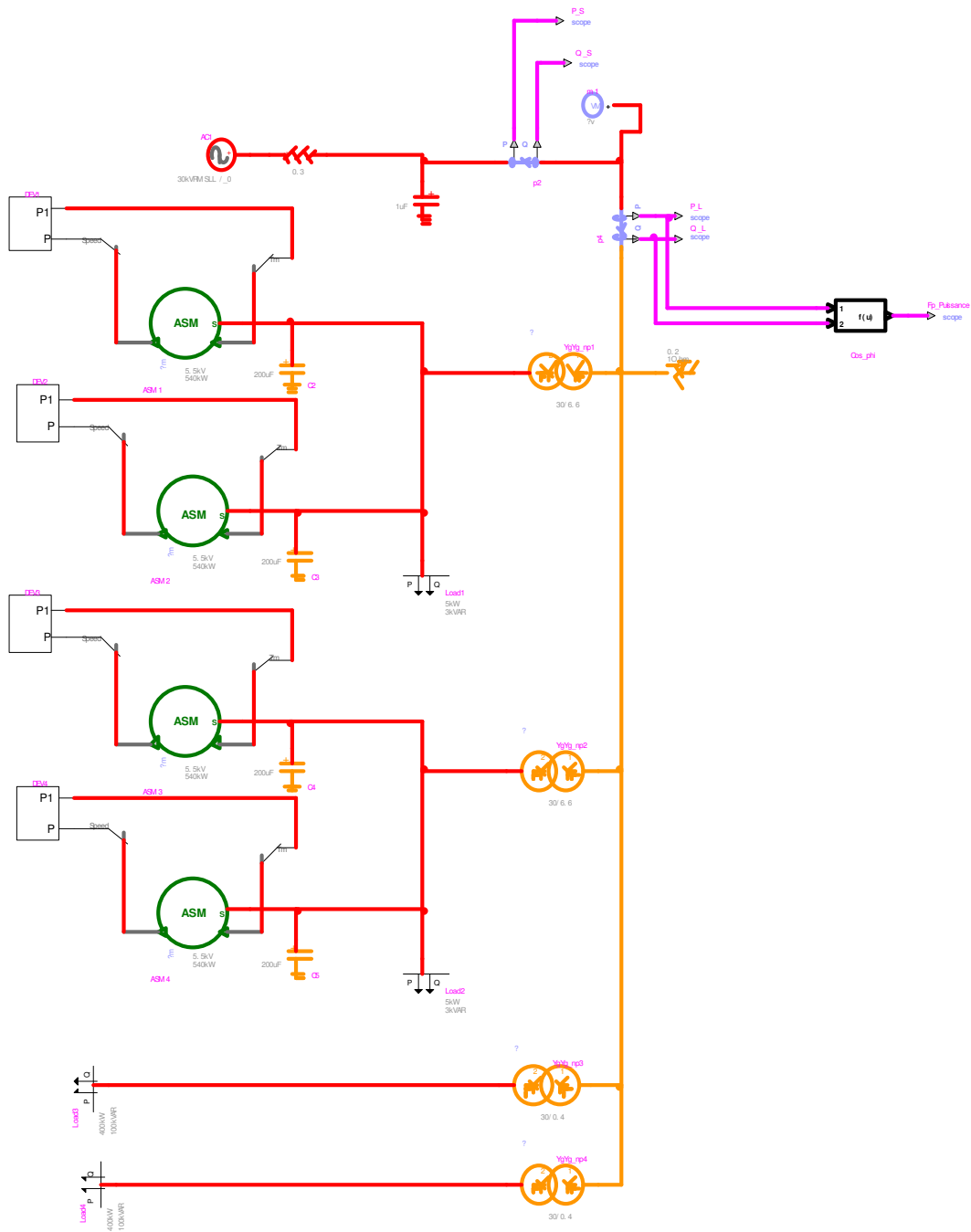


Figure 4.11 : Schéma de la simulation du réseau.

Nous avons effectué une simulation du réseau et les résultats de simulation sont montrés sur les Figures (4.12), (4.13) et (4.14)

La simulation du modèle se lance sans les conditions initiales et toutes les grandeurs sont mises à zéro au premier pas de simulation. Par conséquent, les pompes triphasées passes ainsi par des régimes transitoires qui font un appel à des puissances importantes lors du démarrage. La figure (4.12) montre le courant d'appel absorbé par l'une des pompes installées.

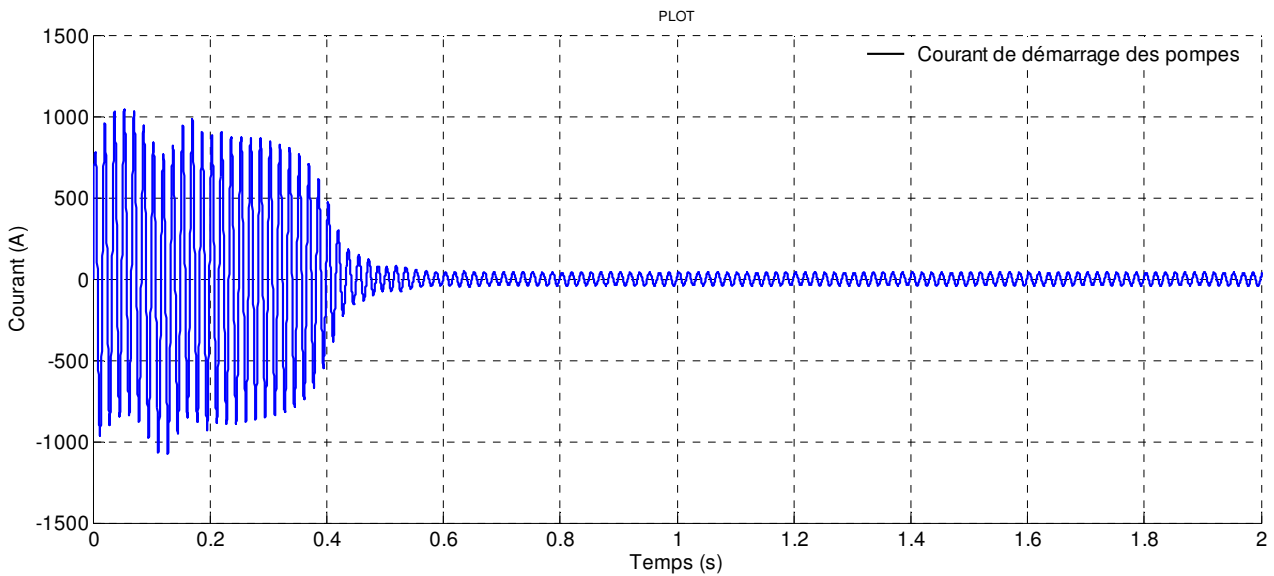


Figure 4.12 : Courant d'appel des pompes.

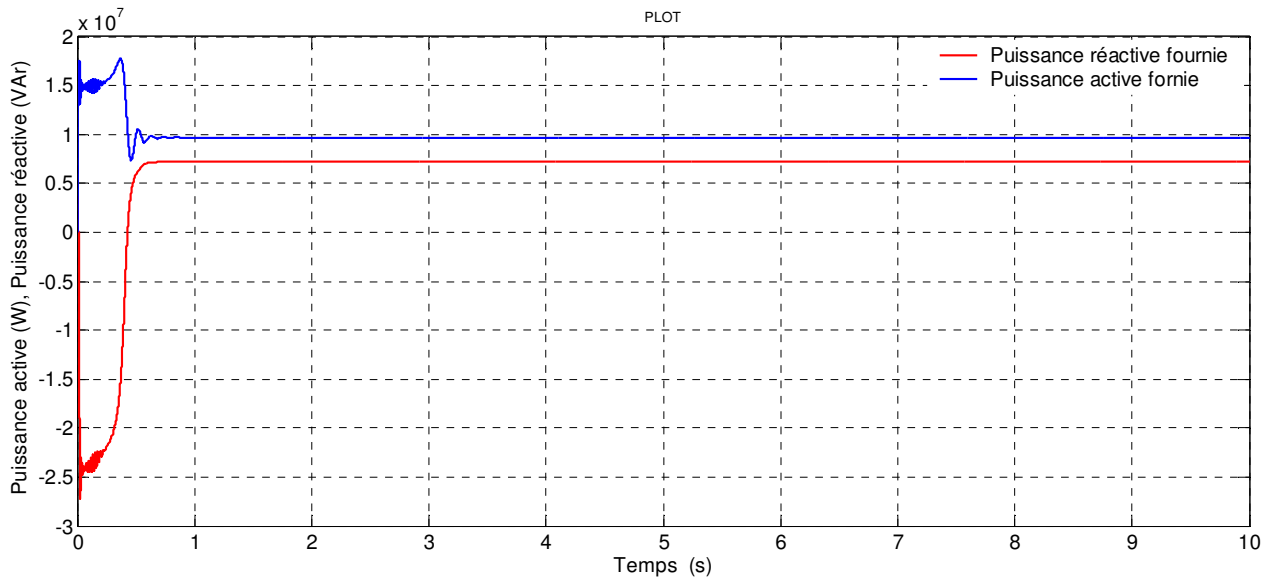
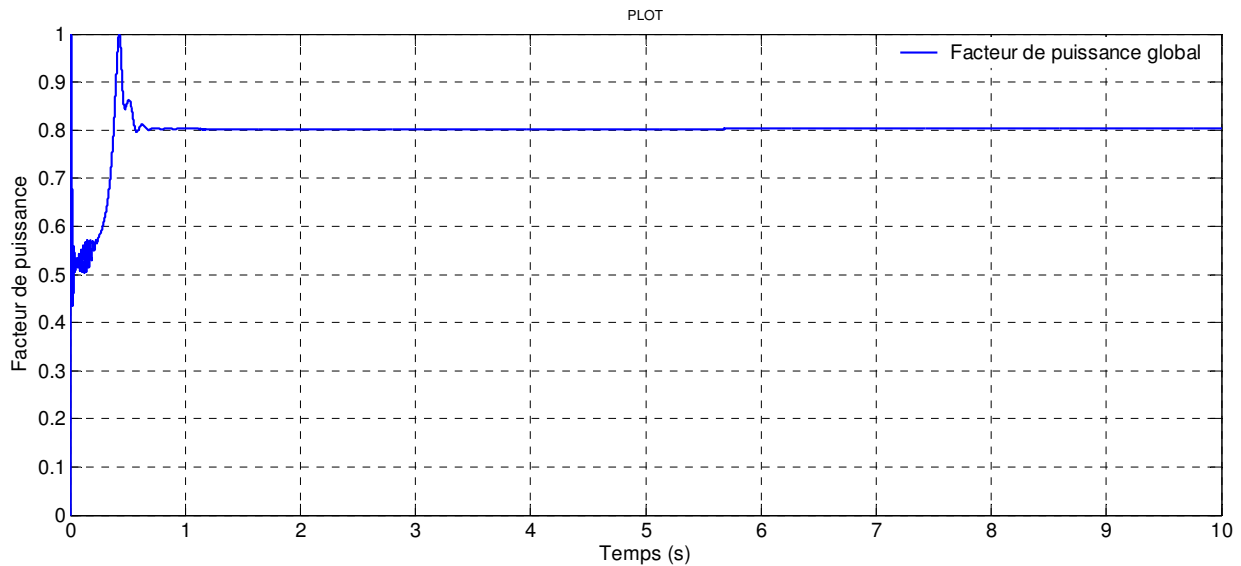


Figure 4.13 : Puissance active et réactive consommées par la station de pompage.



**Figure 4.14 :** Facteur de puissance global de la station de pompage.

La figure montre que les installations de la station de pompage fonctionnent sous un facteur de puissance de 0,8. La puissance réactive totale demandée du réseau est de 7,2MVar.

Cette puissance transitée du réseau de Sonalgaz peuvent être produite localement et éviter les conséquences de son transport.

#### 4.3.3 Modélisation et simulation du réseau en présence d'un SVC :

Un SVC de puissance 20MVar a été choisi afin de compenser l'énergie réactive et améliorer le facteur de l'installation. La figure (4.15) montre le schéma du réseau électrique de la station avec un SVC connecté pour une configuration de compensation globale.

L'injection ou l'absorption de la puissance réactive du réseau par le SVC peut être ajusté par une petite augmentation/diminution de la tension de référence du SVC ou un échelon sur la valeur de la susceptance.

Le SVC se compose d'un transformateur de couplage de 30 KV/16 KV, 20 MVA, d'un banc de TCR et trois bancs de TSC (TSC1, TSC2 et TSC3) connectés sur le côté secondaire du transformateur.

La commutation des TSC en entrée et en sortie permet une variation discrète de la puissance réactive.

Le contrôle SVC surveille la tension primaire en envoie les impulsions appropriées aux 24 thyristors (6 thyristors par banc triphasé) pour obtenir la susceptance requise par le régulateur de tension. Chaque banque triphasée est connectée en triangle de sorte que, lors d'un fonctionnement équilibré normal, les harmoniques triplés homopolaires restent piégées à l'intérieur du delta, réduisant ainsi l'injection d'harmonique dans le système d'alimentation.

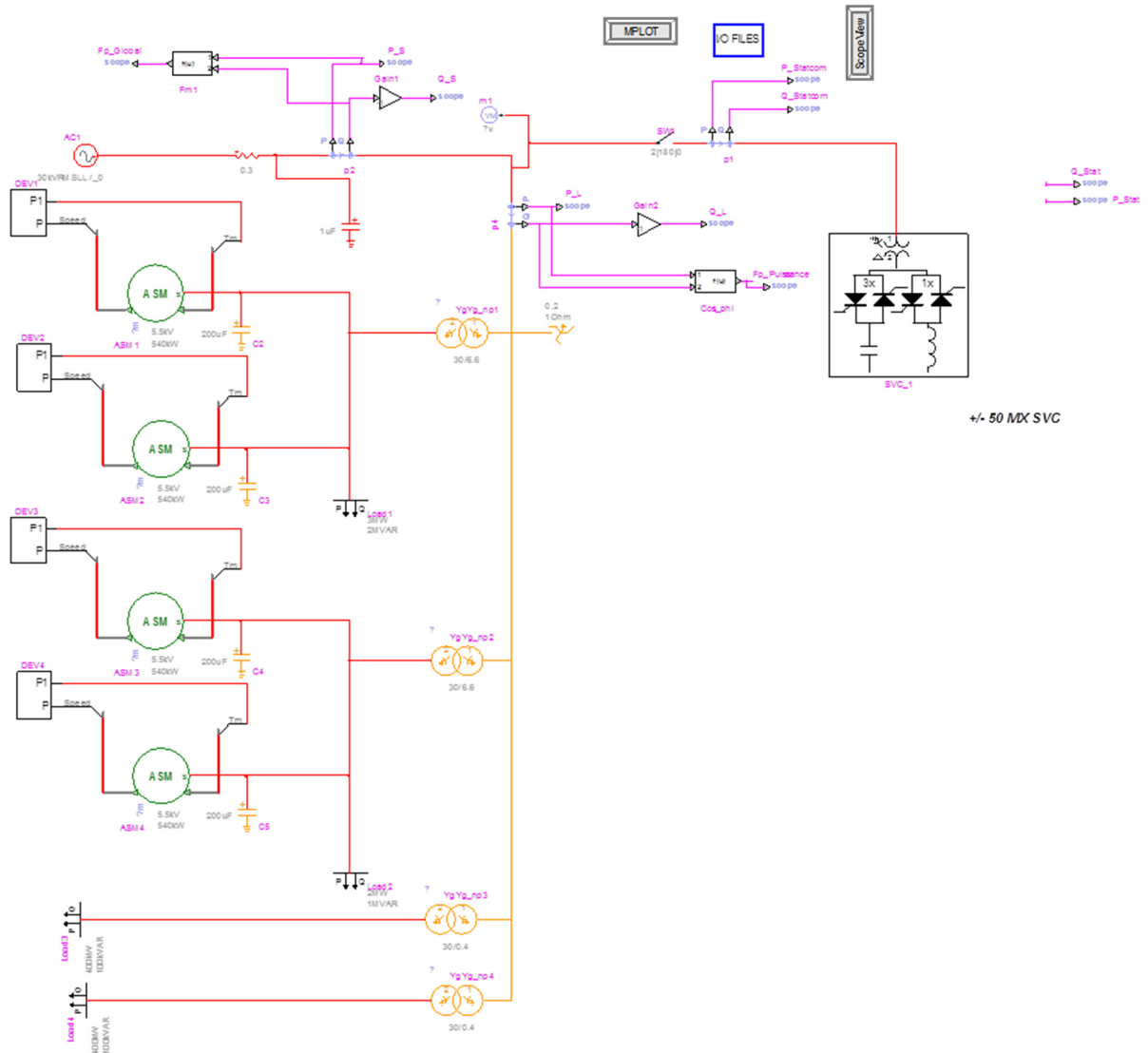


Figure 4.15 : Schéma de simulation du réseau avec le SVC.

Pour voir l'effet du compensateur SVC sur le réseau nous avons programmé une connexion brusque de l'équipent (SVC) sur le réseau à partir de l'instant  $t=3s$ .

Les résultats de simulations les plus significatifs sont représentés sur les courbes des figures (4.16), (4.17), (4.18), (4.19), (4.20) et (4.21).

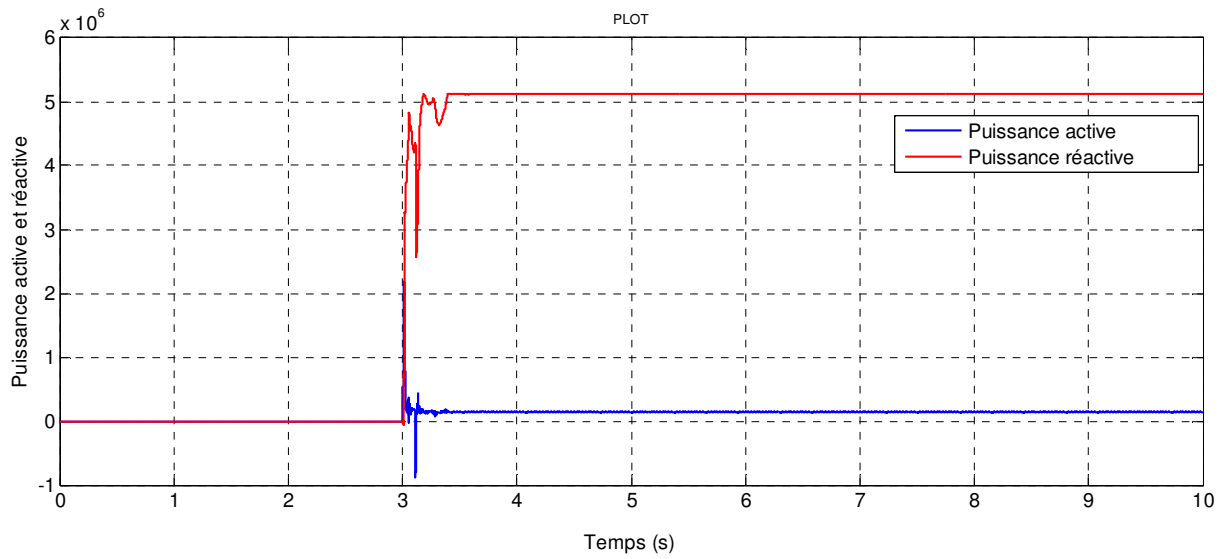


Figure 4.16 : Puissance active et réactive du SVC.

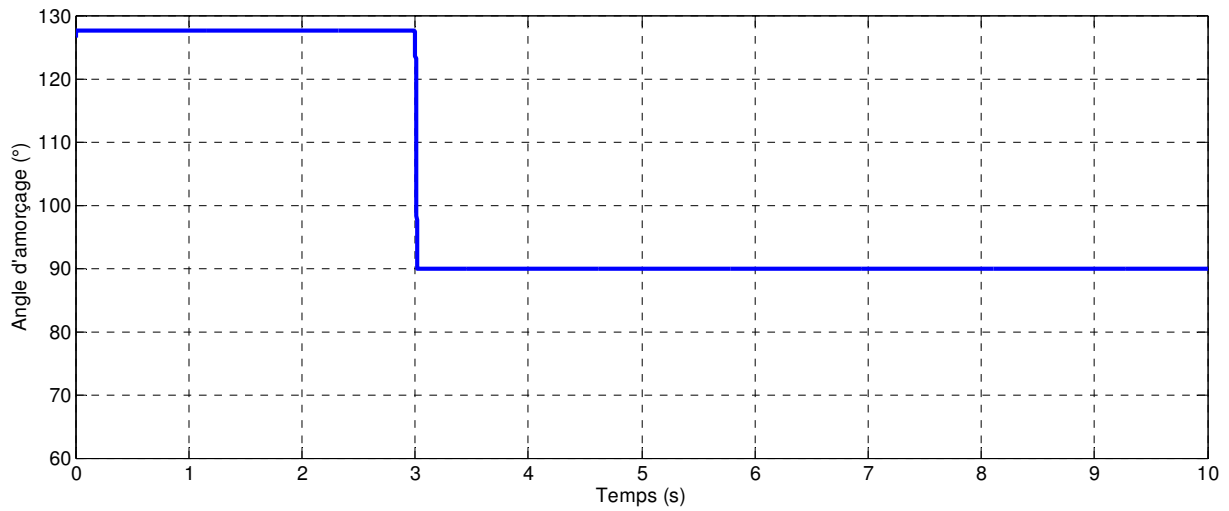


Figure 4.17 : L'angle d'amorçage des thyristors.

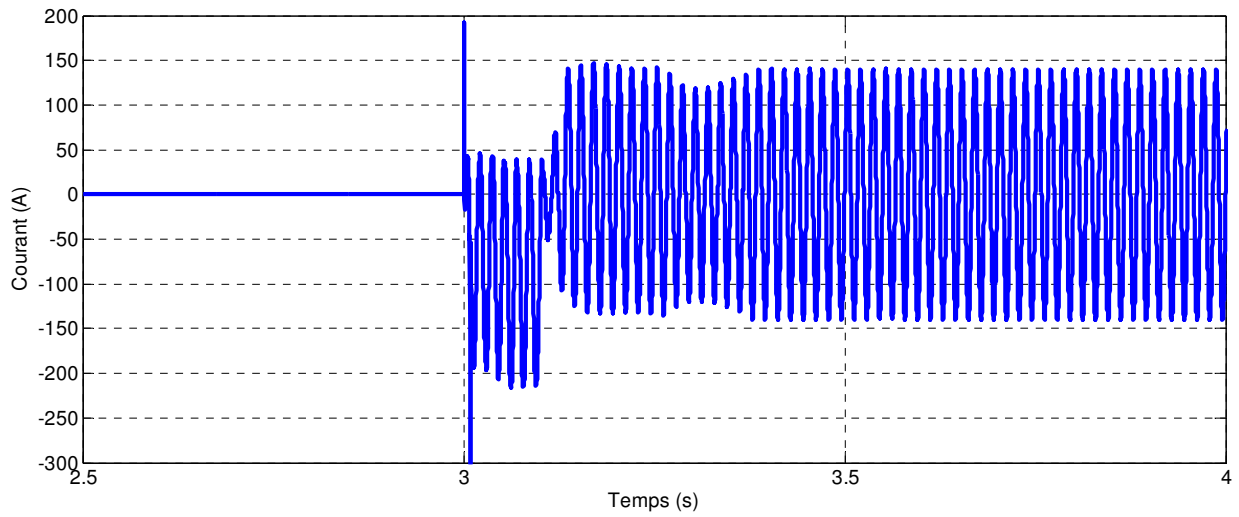


Figure 4.18 : Le courant injecté par le SVC.

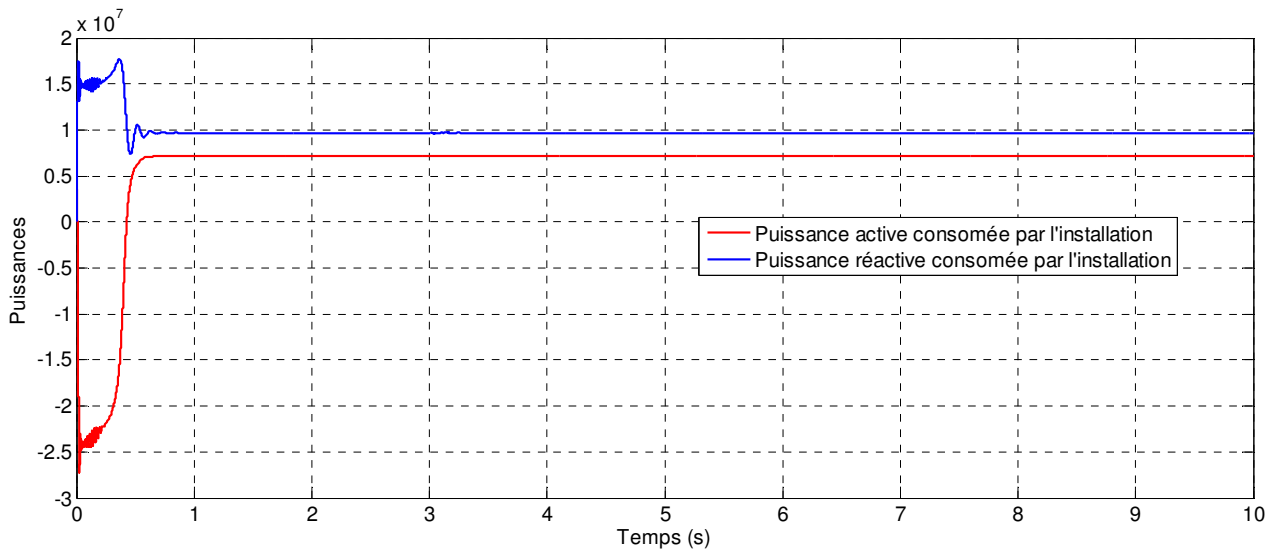


Figure 4.19 : Puissance active réactive consommées par l'ensemble des installations.

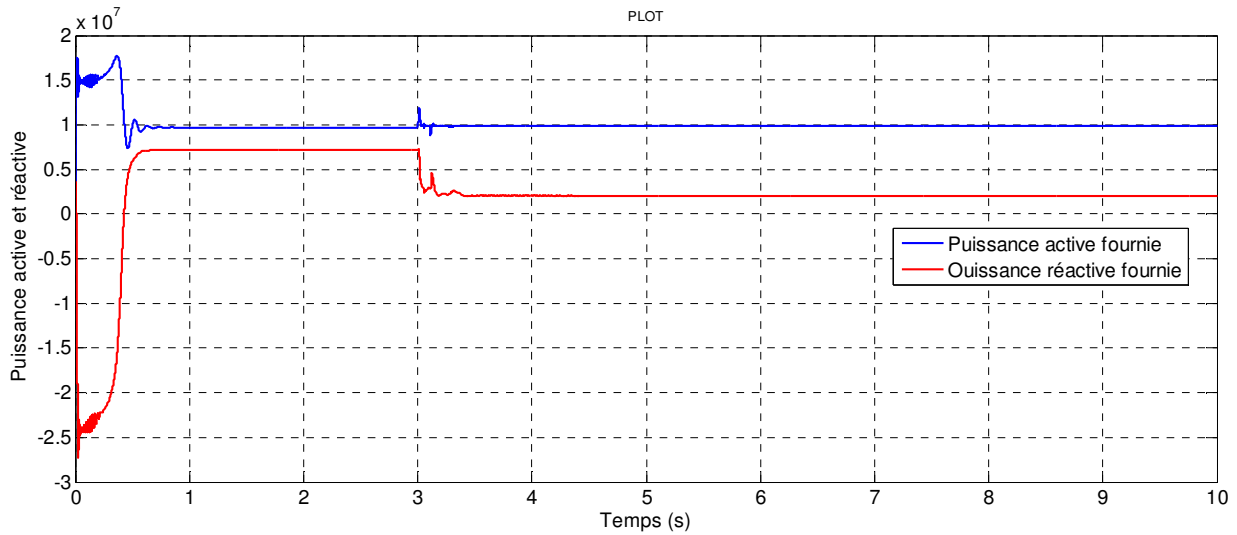


Figure 4.20 : Puissance active réactive fournies par le réseau de Sonalgaz.

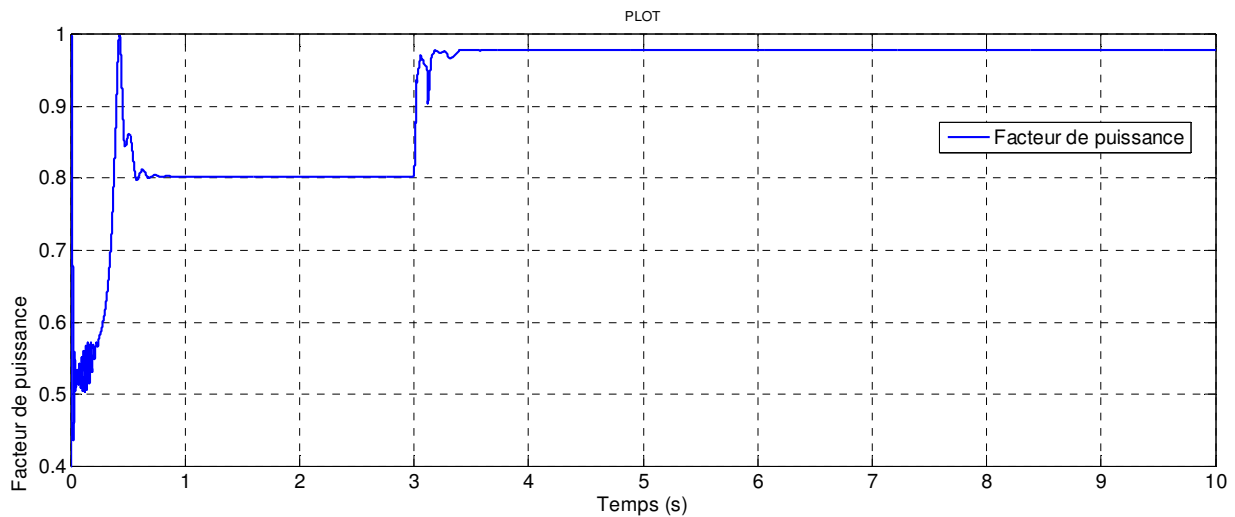


Figure 4.21 : Facteur de puissance global de la station de pompage avec SVC.

4.3.4 Discussion des résultats :

D’après les résultats de simulation présentés dans les figures (4.16), (4.17), (4.18), (4.19), (4.20) et (4.21), on constate l’effet de l’injection de la puissance réactive sur le comportement global du réseau. Après le raccordement du SVC sur le réseau, le régulateur de tension à détecter une différence entre la tension du réseau et la tension de référence. Cette différence est traduite en susceptance dynamique, et par la suite est interprétée sous forme de signaux de commande envoyé au bloc de distribution. Le bloc de distribution à son tour permet d’activer les modules concernés par l’injection de la puissance demandé pour rétablir la tension (TSC).

Les Figures (4.16) et (4.19) et (4.21) montrent que Le SVC à injecter une puissance réactive importante a permet de réduire considérablement l’appel de la puissance réactive à partir du réseau de Sonalgaz. Par conséquent le facteur de puissance global des installations est amélioré tout en

gardant une consommation optimale de l'installation sans aucune diminution de la puissance requise pour les différents équipements.

La figure (4.20) montre une diminution importante de la puissance réactive fournie par le réseau de Sonalgaz suite à la connexion du SVC. La puissance réactive globale passe de 7.2MVA<sub>r</sub> à une valeur de 2,08MVA<sub>r</sub> qu'a permet d'améliorer le facteur de puissance de l'installation de la station de pompage d'une valeur de 0,80 à une valeur de 0,978.

#### **4.4 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons fait des simulations sur le réseau de la station de pompage sur l'environnement EMTPworks en vue de compenser l'énergie réactive et améliorer le facteur de puissance global. Pour ce faire nous utilisé un compensateur statique SVC (TCR, TSC) afin d'injecter la puissance réactive nécessaire.

Les résultats de simulation les plus significatifs ont été présentés pour un fonctionnement sans compensation et pour un foncièrement avec compensation.



## Conclusion générale

---

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans ce domaine de la stabilité des réseaux électriques par l'injection de la puissance réactive. Dans le même objectif nous avons proposé une méthode d'amélioration du facteur de puissance par l'utilisation d'un compensateur statique SVC à base de TCR et TSC.

A l'aide d'un logiciel de simulation leader en simulation des réseaux électriques, nous avons pu réaliser un schéma de simulation de l'installation de la station de pompage de Beni-Mansour. La simulation a été performée pour un réseau sans injection de la puissance réactive et une simulation avec un SVC connecté reçoit un échelant sur sa tension de référence.

Les résultats de simulation présentés dans ce mémoire ont montré une efficacité et une rapidité de la SVC pour l'amélioration du facteur de puissance en injectant la puissance réactive nécessaire pour maintenir ce facteur dans des plages acceptables.

La puissance globale appelée du réseau de Sonalgaz a été considérablement réduite tout en gardant une consommation optimale des différentes charges connectées.

En perspective, nous suggérons une continuité dans les domaines suivants :

- ✓ Etude de l'impact des autres dispositifs FACTS sur les réseaux de l'énergie électrique.
- ✓ Utilisation des intelligences artificielles (logique floue, algorithmes génétiques) pour choisir l'emplacement optimal des dispositifs FACTS en général, et le STATCOM et le SVC en particulier dans un réseau électrique, en considérant des critères tels que la minimisation du temps de réponse et du coût de l'installation FACTS.
- ✓ Contribution des systèmes FACTS (en particulier le STATCOM et le SVC) dans l'amélioration de la stabilité des systèmes énergétiques surtout dans les conditions de fonctionnement critiques et inattendues tels que les courts-circuits.

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographique

- [1] Guillaume Rami. Contrôle de tension auto adaptif pour des productions décentralisées d'énergies connectées au réseau électrique de distribution. Electric power. Institut Polytechnique de Grenoble – INPG ,2006.
- [2] Mr. Haddad. S, (Gestion de la qualité d'énergie électrique dans un réseau de transmission), Mémoire Doctorat En Electromécanique L'université Badji Mokhtar-Annaba, année 2010.
- [3] [Sonatrach.com/wp-content/uploads/2019/03/Rapport=annual\\_2017.pdf](http://Sonatrach.com/wp-content/uploads/2019/03/Rapport=annual_2017.pdf).
- [4] [Sonatrach.com/transport-par-canalisation](http://Sonatrach.com/transport-par-canalisation).
- [5] Documents interne de sonatrach, Manuel opérateur de la station SBM(SONATRACH).
- [6] Documentation de sonatrach, Manuel d'exploitation de la SBM, document interne de la station SBM.
- [7] FEDILA.G, BENMESSAOUD. B:rapport de stage «Appareillages et réseau électrique",2014/2015.
- [8] SACI.T, NOURI.K: rapport de stage «Compensation d'énergie réactive à la station SBM", Juillet 2021.
- [9] WILDI.TH, électrotechnique. Ingénieure, Institut de recherche d'Hydro-Québec, 3 éditions, 2000.
- [10] A. Amina « Dimensionnement de batterie de compensation de l'énergie réactive pour la station de pompage des hydrocarbures de Béni Mansour », Mémoire de fin d'étude, département de Génie électrique, Université de Bejaia, 2015.
- [11] C.Bouchebouba et H.Benattia, «Etude et dimensionnement électrique du nouveau site de la câblerie algérienne», Mémoire de magister département d'électromécanique, Université de Mostaganem, 2019.
- [12] H.Semaoui, « Compensation de l'énergie réactive d'une installation industrielle MT/BT (HTA/BTB)», Mémoire de magister, Université M'sila, 2016.
- [13] SX Chen, YS Foo. Eddy, HB Gooi, MQ Wang, SF Lu, «Un système centralisé de compensation de puissance réactive pour les réseaux de distribution BT, "Phil IEEE Transaction Power System, Vol.30, N ° 1, janvier-2015.
- [14] SS Kanojia, Suketu Rajyaguru, « Compensation de puissance réactive pour BT Réseau de distribution », International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), avril 2019.

## Références bibliographiques

---

- [15] Sidi Salah Mokhtar, « Etude comparative entre les moyens de compensation de l'énergie réactive », Mémoire de magister, Université Badji mokhtar-Annaba, 2017.
- [16] Schneider Electric, « La conception des réseaux industriels en haute tension », ct 169, 10/1993.
- [17] Legrand Catalogue, « Compensation d'énergie réactive et contrôle de la qualité des réseaux électriques », P0910ALPESFR- EX210027 - MARS 2010.
- [18] Legrand Electric Algérie, « Batteries de condensateurs automatiques Alpimatic », EX210027 -ALG 018 - JUIN 2011.
- [19] Schneider Electric, « Compensation de l'énergie réactive et filtrage des harmoniques », Guide de l'installation électrique 2010, GIE\_chap\_L-2010.indb 26, 22/01/2010.
- [20] E.S. Gholipour, « Apport de l'UPFC à L'amélioration De La Stabilité Transitoire Des Réseaux Electriques », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I, France, 2004.
- [21] H. Glavitsch, and M. Rahmani, « Increased Transmission Capacity by Forced Symetrization ». IEEE PES Summer Meeting, Berlin, 1997.
- [22] Xiao-Ping Zhang, Christian Rehtanz, Bikash Pal, "Flexible AC Transmission systems: Modelling and Control", Springer 2005.
- [23] Henri Persoz, Gérard Santucci, Jean-Claude Lemoine, Paul Sapet « La planification des réseaux électriques » Editions EYROLLES 1984.
- [24] Abdelaàli Alibi, « contrôle des réseaux électriques par les systèmes FACTS », mémoire de magistère, option : électricité industrielle, université de Batna, soutenue le 13/06/2009.
- [25] Mezaache Mohamed, « analyse et traitement de la qualité d'énergie électrique en utilisant des dispositifs de contrôle des réseaux électriques à UPFC dans le cas de stabilité de la tension », mémoire de magister, option réseaux électriques, université de Batna, soutenu le 24/11/2011.
- [26] Mezaache Mohamed, « analyse et traitement de la qualité d'énergie électrique en utilisant des dispositifs de contrôle des réseaux électriques à UPFC dans le cas de stabilité de la tension », mémoire de magister, option réseaux électriques, université de Batna, soutenu le 24/11/2011.
- [27] Site internet: [en.wikipedia.org/wiki/flexible\\_AC\\_transmission\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/flexible_AC_transmission_system).
- [28] P.PETITCLAIR, S.BACHA, JP.ROGNON "Averaged modelling and non linear control of an ASVC (Advanced Static Var Compensator)" IEEE PES-6, Baveno, Italie, 24-27 juin 1996
- [29] S. Boutaba. "Amélioration de la stabilité d'un réseau électrique par l'utilisation d'un SVC". Mémoire de magister, université Hassiba ben Bouali .soutenu le 09/06/2009

## Références bibliographiques

---

- [30] Xiao-Ping Zhang, Christian Rehtanz, Bikash Pal, « Flexible AC Transmission systems : Modelling and Control », Springer 2005.
- [31] Amir H. Norouzi, « Flexible AC Transmission Systems : Theory, Control and Simulation of the STATCOM and SSSC », Thèse de magister de l'université de New Brunswick, 2003.
- [32] N.G. Hingorani, and L. Gyugyi, «Understanding FACTS», IEEE Press., New York, 2000.
- [33] Enrique Acha, Claudio R. Fuerte-Esquivel, Hugo Ambriz-Pérez, César Angeles-Camacho," FACTS Modelling and Simulation in Power Networks", John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [34] J. C. Passelergue, rapport de thèse "Interactions des dispositifs FACTS dans les grands réseaux électriques" LEGIINPG, Novembre 1998.
- [35] Kartobi Lamia, «Optimisation de la Synthèse des FACTS par les Algorithmes Génétiques et les Essaims Particulaires pour le contrôle des Réseaux Electriques », mémoire de magistère, option réseaux électriques et haute tension, école nationale polytechnique Alger, Soutenu le 29 Novembre 2006.
- [36] Rabah Benabid, «Optimisation Multi objectif de la Synthèse des FACTS par les Particules en Essaim pour le Contrôle de la Stabilité de Tension des Réseaux Electriques», mémoire de magister, option : Analyse, Conduite et Commande des réseaux électriques, université Amar Telidji, Laghouat, soutenu le 04/09/2007.
- [37] Eskandar Gholipour Shahraki, “Apport de l'UPFC à l'amélioration de la Stabilité transitoire des réseaux électriques ”, thèse de doctorat Université Henri Poincaré, Nancy-I octobre 2003.
- [38] Haimour Rachida, « contrôle des puissances réactives et des tensions par les dispositifs FACTS dans un réseau électrique », mémoire de magister en électrotechnique, option identification modélisation et commande numérique des processus, école normale supérieure de l'enseignement technologique d'Oran, année universitaire 2008-2009.
- [39] M. J. Laub, M. A. Pai, and K. R. Padiyar, “Hopf bifurcation control in power system with static var compensators,” Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 19, no. 5, pp. 339–347, 1997.
- [40] N. Mithulananthan, C. A. Cañizares, and J. Reeve, “Hopf bifurcation control in power system using power system stabilizers and static var compensators,” in Proc. North.
- [41] De Vre R, Jacquet B « Perturbations dans les installations électriques et électroniques Problèmes et solutions» Note d'information.

## Références bibliographiques

---

- [42] Jacques .C, Guillaume de Preville, Jean-Louis Sanhet « Fluctuations de tension et flicker - Évaluation et atténuation (partie I et II) » Techniques de l'ingénieur D 4 315.
- [43] DE VRE.R, JACQUET.B « PERTURBATIONS DANS LES INSTALLATIONS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUE » Note d'information 2003.
- [44] LACQUES .C, GUILLAUME.P, JEAN-LOUIS.S «Fluctuation de tension et flicker–évaluation atténuation (partie I et II) » Techniques de l'ingénieur D 4 315.
- [45] Gyugyi, “Unified power-flow control concept for flexible AC transmission systems,” IEEE Proc. Part C, Vol. 139, 1992, pp. 323-33 1.
- [46] N. Yang, Q. Liu, and J. D. McCalley, “TCSC controller design for damping interarea oscillations,” IEEE Trans. Power Syst, vol. 13, pp. 1304–1310, Nov. 1998.
- [47]Mammeri Oussama, « différentes méthodes de calcul de la puissance réactive dans un noeud à charge non linéaire en présence d'un système de compensation de l'énergie », mémoire de magistère, option : réseaux électriques, université de Batna, année universitaire 2011/2012.
- [48] Ben Alia Khaled et Zahnite Hakim, «Etude des compensateurs statiques de l'énergie réactive SVC dans un réseau électrique », université de Biskra, promotion juin 2005.
- [49] HENRI.P, GERARD.S, JEAN-CLAUDE.L, PAUL.S « La planification des réseaux électriques » Éditions eyrolles 1984.
- [50] MICHEL.C «Commande et régulation des réseaux électrique» Traité EGEM série génie électrique, Lavoisier 2003.
- [51] CIGRE Working Group 38-01. "Static Var Compensator", CIGRE, Paris, 1986.
- [52] EMTP-RV\_Newsletter\_2006\_december.pdf.
- [53] K. Niayesh, M. Berth, A. Dahlquist and C. Heitz: Measurement algorithm for optimal characterization of multi-port electrical components and systems, 2002.

## Références bibliographiques

---

## ملخص :

حاولنا في هذا العمل تحسين استهلاك الطاقة الغير فعالة في الشبكة الكهربائية (محطة ضخ بني منصور) من أجل تحسين معامل القدرة الكلي. يمكن الحصول على تحسين معامل القدرة بالوسائل التقليدية لتنظيم الجهد على أساسا من أجل حقن الطاقة الغير الفعالة بواسطة أجهزة أنظمة نقل التيار المتردد المرنة ، وتستخدم هذه الأجهزة بشكل متزايد في الشبكات الكهربائية. لقد قمنا بمحاكاة بنية الشبكة باستخدام المعوض الثابت (SVC) لحقن الطاقة التفاعلية اللازمة للحفاظ على عامل القدرة ضمن النطاق المقبول.

**الكلمات المفتاحية:** معامل القدرة ، الشبكات الكهربائية ، جهاز المعوضات SVC، تعويض الطاقة التفاعلية.

## Résumé :

Dans ce travail nous avons essayé d'améliorer la consommation de l'énergie réactive dans une installation électrique (Station de pompage de Beni Mansour) afin d'améliorer le facteur de puissance global. L'amélioration du facteur de puissance peut être obtenu par des moyens classiques de régulation de tension basées sur l'injection de la puissance réactive par des dispositifs FACTS (Flexible AC Transmission System), ces dispositifs sont de plus en plus utilisés dans les réseaux électriques. Nous avons simulé la structure du réseau avec et sans le compensateur statique (SVC) pour injecter la puissance réactive nécessaire pour maintenir le facteur de puissance dans une plage acceptable.

**Mots Clés :** Facteur de puissance, réseaux électriques, dispositif SVC, compensation de l'énergie réactive.

## Abstract:

In this work we tried to improve the consumption of reactive power in an electrical installation (Beni Mansour Pumping Station) in order to improve the overall power factor. The improvement of the power factor can be obtained by conventional means of voltage regulation based on the injection of reactive power by FACTS devices (Flexible AC Transmission Systems), these devices are increasingly used in electrical networks. We simulated the network structure with and without the Static Compensator (SVC) to inject the reactive power needed to keep the power factor within an acceptable range.

**Keywords:** Power factor, electrical networks, SVC, reactive power compensation.