

M/21.854

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



Mémoire fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de master académique

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Réseaux électriques



**Ligne grandelongueur :
Compensation et performance**

**Présenté par : - FERDES ATEF
- ARRIBI SALAH EDDINE**

Sous la direction de : Pr : BONAYA KAMEL

2014 / 2015

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



Mémoire fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de master académique

Domaine : *Sciences et Technologie*

Filière : *Génie Electrique*

Spécialité : *Réseaux électriques*

Ligne grand longueur :
Compensation et performance

Présenté par : - FERDES ATEF
- ARRIBI SALAH EDDINE

Sous la direction de : Pr : BONAYA KAMEL

2014 / 2015

Remerciements

Je remercie Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout dont je necessitais pour l'accomplissement de cette mémoire de fin d'étude.

Egalement, je remercie le professeur Bounaya Kamel à l'université 08 Mais 45 de GUELMA pour son encadrement, ses directives et sa disponibilité. Aussi, je le remercie pour ses encouragements, son indulgence, et sa sympathie tout au long des années de travail.

Egalement, je remercie les autres membres du jury, et tous les enseignants de département d'électrotechnique et automatique de l'université 08 Mais 45 de GUELMA qui ont participé à ma formation pendant tout le cycle universitaire.

** Dédicace **

Je dédie ce modeste mémoire de master à:

A ma mère et mon père

Mes sœurs,

A mes frères,

A leurs enfants,

A toute ma famille : ARRIBI,

A tous mes amis.

Ma belle femme, pour leur soutien moral et sur tous mon fils

** ABD ELMOUJZ **

* Dédicace *

Je dédie ce modeste mémoire de master à:

A ma mère et mon père

Ma sœur,

A mes frères,

A leurs enfants,

A toute ma famille : FERDES,

A tous mes amis.

Ma belle femme, pour leur soutien moral.

- Sommaire -

| | |
|--------------------|------|
| Introduction | (01) |
|--------------------|------|

Chapitre I : Calcule les paramètres de la ligne

| | |
|--|------|
| 1. Calcule de la résistance active..... | (02) |
| 1.1. Effet de peau..... | (03) |
| 1.1.1. Épaisseur de peau dans un métal..... | (04) |
| 1.1.2. Application numérique..... | (04) |
| 2. Calcule l'inductance de la ligne | (05) |
| 2.1. L'inductance interne..... | (05) |
| 2.2. L'inductance externe..... | (06) |
| 2.3. L'inductance de ligne monophasée..... | (06) |
| 2.3.1 L'inductance de ligne triphasée..... | (07) |
| 2.3.2. Conducteur en faisceaux..... | (08) |
| 2.3.3. Application numérique..... | (09) |
| 2.4. 1Inductance De Ligne double terne..... | (09) |
| 2.4.2. Conducteur en faisceaux..... | (11) |
| 2.4.3. Application numérique..... | (12) |
| 3. Calcul de la capacité de la ligne..... | (13) |
| 3.1. Capacité de ligne monophasé..... | (13) |
| 3.2. 1Capacité de ligne triphasé | (14) |
| 3.2.2. Effet de terre..... | (15) |
| 3.2.3. Conducteur en faisceaux..... | (16) |
| 3.2.4. Application numérique..... | (16) |
| 3.3.1. Calcul de la capacité de la linge double terne..... | (16) |
| 3.3.2. Conducteur en faisceaux..... | (18) |
| 3.3.3. Application numérique..... | (18) |
| 4. Effet couronne..... | (19) |

Chapitre II analyses comparatives du différent régime de ligne

| | |
|--|------|
| 1. Analyse comparative des caractéristiques de la ligne..... | (21) |
| a. Graphique de charge..... | (21) |
| b. Les paramètres secondaires..... | (21) |
| 1.2. Analyse de régime et nécessite de la compensation..... | (23) |
| 1.2.1Régime sans compensation..... | (24) |
| 1.2.1.1Distribution tension..... | (24) |
| 1.2.1.2Distribution de la puissance réactive..... | (27) |

| | |
|--|------|
| 1.2.2. Régime avec compensation..... | (30) |
| 1.2.2.1. Compensation shunt..... | (31) |
| a. à l'extrémité..... | (31) |
| b. Compensation shunt au milieu de la ligne..... | (36) |
| 1.2.2.2 Compensation série..... | (42) |
| 1.2.2.3. Installation des compensateurs au milieu de la ligne..... | (42) |
| a. Quadripôle..... | (42) |
| b. Insertion d'un compensateur..... | (43) |
| c. Analyse de régime..... | (45) |
| 1.3. Conclusion..... | (53) |

Chapitre III Les moyens de compensation

| | |
|---|------|
| 1. Les compensateurs : parallèles..... | (55) |
| 1.1. Les compensateurs synchrones..... | (55) |
| 1.1.2. Les compensateurs actionnés par disjoncteur.MSC : Mechanically Suitedhed Condensator..... | (56) |
| 1.1.2.1. Condensateur unique..... | (56) |
| 1.1.2.2. Gradins de condensateurs..... | (57) |
| 1.1.2.3. Compensateur statique de puissance réactive..... | (57) |
| 1.1.2.4.SVR : Static var compensator..... | (57) |
| 1.2.Compensateur synchrone statique..... | (58) |
| 1.2.1. STATCOM : Staticsynchronuscompensator..... | (58) |
| 1.2.2.Condensateurs commutés par thyristors..... | (58) |
| a.TSC : thyristor SuitedhedCondensator..... | (58) |
| b.TCR : Thyristor ControlledReactor..... | (59) |
| 1.2.3. Les transformateurs déphaseurs(PST : Phase Shifting Transformer)..... | (60) |
| 2. les compensateurs séries..... | (60) |
| a. Condensateur série..... | (60) |
| b.TCSC..... | (61) |
| 3. Compensateur hybrides série – parallèle..... | (61) |
| 4. Conclusion..... | (62) |

Chapitre IV étude la stabilité dynamique

| | |
|--|------|
| 1.Équation de mouvement dynamique..... | (63) |
| 2. Caractéristique de puissance d'un système mono machine..... | (65) |

| | |
|--|-------------|
| 2.1. Schéma d'un réseau de transport d'énergie..... | (66) |
| 2.2.1. Critère d'égalité des aires pour un défaut sur une des deux lignes parallèles..... | (67) |
| 2.2.2. Détermination du temps limite de débranchement de court-circuit..... | (68) |
| 2.2.3. Application..... | (68) |
| 2.2.3.1. Lignes sans compensation..... | (68) |
| a. Régime normal..... | (68) |
| b. Régime (durant) défaut (triphase)..... | (69) |
| c. Régime après débranchement la ligne..... | (69) |
| 2.2.3.2. Avec compensation ou série au milieu de la ligne..... | (71) |
| a. Régime normal..... | (71) |
| b. Régime (durant) défaut (triphase)..... | (71) |
| c. Régime après débranchement la ligne..... | (71) |
| 3. Conclusion..... | (74) |
| Conclusion général..... | (75) |

Introduction générale :

L'avenir des systèmes d'énergie électrique à travers leur développement incontournable, ainsi que l'extension nécessaire de leurs réseaux de transport se trouvent de manière générale, continuellement confrontés à des défis divers. Un des défis principaux est engagé par l'incrémentation dans les systèmes de nouveaux centres de charge électrique, dont la puissance et l'éloignement des centres de production sont respectivement considérable. En effet l'écoulement de grande puissance à travers des réseaux de grand longueur implique des pertes considérable en puissance et en potentiel autant inadmissible que les puissances et les longueurs sont grands. Pour pallier à ces défis, il s'ouvre indispensable de relève le niveau nominal de potentiel, solution très impérative pour les pays grands territoires et croissance énergétique importante tel que exemple l'algerie, dont le niveau nominal actuel est à 400kv. La croissance de la consommation en énergie électrique et le développement effrénée qu'en est exigé implique la nécessité de passage ou palé 750kv, dont l'interconnexion aura pour impact d'améliorée les conditions d'interconnexion des systèmes, de renforce leur stabilité d'augmenter la capacité de transport de liaisons....

En même temps, la haute et la très haute tension pose des problèmes de dimensionnement, des équipements respectivement électrique et mécanique tels que les lignes et ses composants, les transformateurs et leurs composants, les dévers en solution de compensation. Le mémoire réalisé traite de ces aspects et est composé de quatre chapitres ;

1/ dans le premier chapitre, on considère le traitement et l'analyse des paramètres électriques des lignes de grande longueur.

2/dans le deuxième chapitre ; on traite le régime de la ligne dans ses différents aspects, tels la distribution de potentiel et de la puissance réactive en absence de la compensation et en sa présence.

3/ la troisième chapitre est consacré l'étude des moyens de compensation.

4/ le quatrième chapitre traite de la stabilité dynamique de la liaison à grande distance considéré.

CHAPITRE

- I -

Paramètres de
la ligne

Calcule les paramètres de la ligne

Introduction :

Le traitement et l'analyse des régimes des réseaux électriques exigent que les éléments constitutifs de les derniers soient représenté en modèles et en schéma équivalent réduits a une ligne est généralement, respectée pour sont schéma équivalent en π comme suit ;

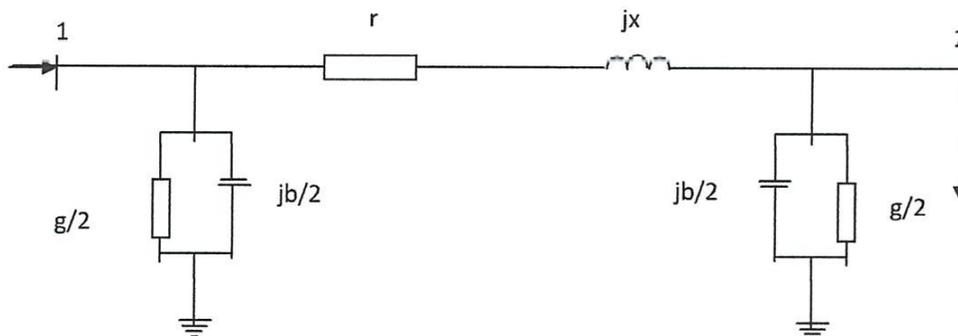


Figure I 1 Le schéma équivalent en π de la ligne

Dans se schéma, les paramètres électriques (r , x , y , et b) sont fonction des Grandeurs électrique linéique correspondant et de la longueur de la ligne.

Pour une ligne de grande portée (longueur, cette relation et déterminée par des fonctions hyperbolique qui expriment la propriété de répartition des paramètres le long de la ligne.

Les paramètres électrique de la ligne sont déterminée à par de traitement et l'analyse des processus électromagnétique engendré par le d'branchement de la ligne à une force électromotrice extérieure.

1- Calcule de la résistance active:

La résistance active d'un conducteur est une résistance physique au passage du courant de conduction (circulation électronique). Elle est mise en évidence par les effets thermique dans le conducteur, sa valeur ohmique, Pour un km de la longueur, peut être déterminée par l'expression connue.

$$r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{1}{\gamma F}$$

ρ : Resistivité du conducteur $[\Omega mm^2 / Km]$ • γ : conductivité • F : section du conducteur $[mm^2]$

La résistance active d'un conducteur n'est pas une grande valeur constante elle dépend du matériau utilisé.

De la nature et de la valeur du courant qui y circule de passage ; du courant continu à travers la section d'un conducteur s'effectue dans une distribution uniforme de ses composantes élémentaire ; la section [F] Conductrice est ; alors égale à celle $F = \pi r^2$

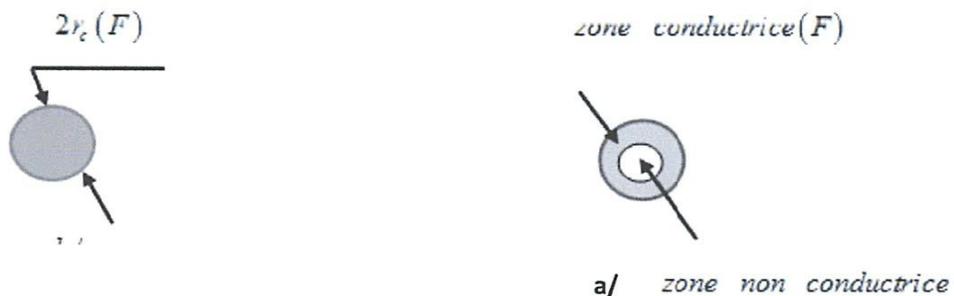
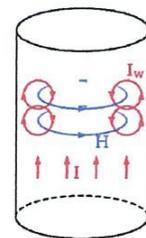


Figure 1.2 a-zone de conduction, continue
b/zone de conduction

1.1. Effet de peau:

L'effet de peau ou effet pelliculaire en plus rarement effet de kelvin c'est un phénomène électromagnétique qui fait que a la fréquence élevée, le courant a tendance a ne circuler qu'en surface des conducteur se Phénomène électromagnétique existe pour tous les conducteurs parcourus par des courant, alternatifs, il provoque la décroissance de la densité de courant a mesure que l'on s'éloigne de la périphérie du conducteur, il en résulte une augmentation de la résistance de conducteur cela signifie que le courant ne circule pas Uniformément dans tout la section du conducteur a tout se passe comme si la section utile de câble était Plus petite.

La résistance augmente donc ce qui conduit a des pertes par effet .de joule important.



1.1.1. Épaisseur de peau dans un métal

L'épaisseur de peau est déterminée comme suit.

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega \mu}} = \frac{1}{\sqrt{\sigma \mu \pi f}}$$

δ : épaisseur de peau [m]

ω : pulsation en radian par second [red/s] / ($\omega = 2 \pi f$)

f : fréquence du courant en [HZ]

μ : perméabilité magnétique [H/m]

ρ : résistivité [Ω/m]

σ : conductivité électrique [s/m]

Pour un conducteur cylindrique de rayon r on aura section utile de

$$F_u = \pi (r^2 - (r - \delta)^2)$$

1.1.2. Application numérique:

On choisit pour l'exemple ; un câble constitué par ensemble aluminium-acier on des alliages aluminium magnésium et en silicium dont la résistivité est de l'ordre de $3 \cdot 10^{-8} \Omega/m$

* Pour câble ASTEL 570: la section 570.22 mm^2 et de rayon $r = 13.47 \text{ mm}$

En a donc

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega \mu}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3 \cdot 10^{-8}}{2\pi \cdot 50 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}} = 12.32 \text{ mm}$$

$$F_u = \pi (r^2 - (r - \delta)^2) = 3.14 (13.47^2 - (13.47 - 12.32)^2) = 565.85 \text{ mm}^2$$

$$\text{pour } n=3 \text{ on a } r_0 = \frac{\rho}{n F_u} = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{3 \cdot 565.85 \cdot 10^{-6}} = 0.0176 \Omega/km$$

et de même $n=4$ $r_0 = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{4.565.85 \cdot 10^{-6}} = 0.0132 \Omega / km$

2. Calcule l'inductance de la ligne :

L'inductance est déterminée par le flux magnétique qui s'installe à l'intérieur et l'extérieur de conducteur suite au passage du courant.

En suppose une densité de courant uniforme à l'intérieur du câble de rayon r . Pour un circuit magnétique linéaire $B = \mu H$

On définit l'inductance, L , comme le constant liant le courant au flux $\lambda = L I$

Pour un conducteur de rayon r traversé par un courant I .

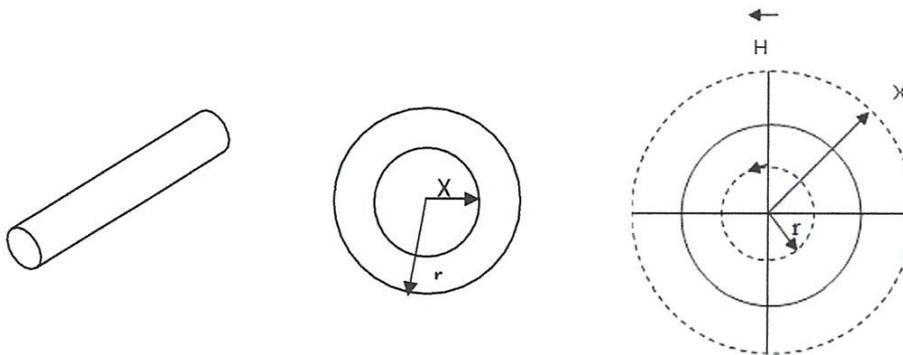


Figure 1.3-calcul de l'inductance

On écrit

$$\int_0^{2\pi x} H_x dL = I_x \Rightarrow H_x = \frac{I_x}{2 \pi X}$$

2.1. L'inductance interne

Pour un conducteur non magnétique d'épaisseur dx et de longueur $1m$.

$$B_x = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r^2} X$$

$$d\phi_x = B_x dx 1 = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r^2} X dx$$

Seule la fraction $\frac{\pi X^2}{\pi r^2}$

$$d\lambda_x = \frac{X^2}{r^2} d\phi_x$$

Le flux total intérieur

$$\lambda_{\text{int}} = \frac{\mu_0 I}{2 \pi r^4} \int_0^r X^3 dx = \frac{\mu_0 I}{8 \pi} \text{ [wb/m]}$$

Donc L'inductance interne:

$$L_{\text{int}} = \frac{\mu_0}{8\pi} = \frac{1}{2} 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

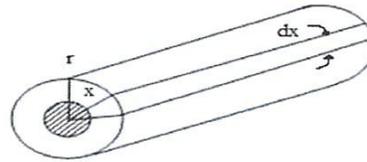


Figure1.5 calcul de l'inductance interne

2.2. L'inductance externe:

$$d\lambda_x = d\phi_x = \frac{\mu_0 I}{2 \pi X} dx$$

Entre deux points D_1 te D_2

$$\lambda_{\text{ext}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_{D_1}^{D_2} \frac{1}{dx} dx = 2 \cdot 10^{-7} I \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right) \text{ [wb/m]}$$

Donc L'inductance externe

$$L_{\text{ext}} = 2 \cdot 10^{-7} \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right) \text{ [H/m]}$$

$$L_{\text{ext}} = 2 \cdot 10^{-4} \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right) \text{ [H/km]}$$

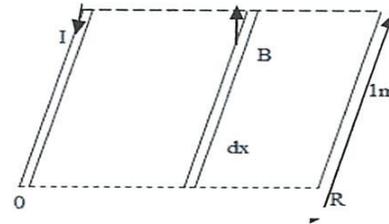


Figure1.6 calcul de l'inductance externe

2.3. L'inductance de ligne monophasée

$$L = l_{\text{int}} + l_{\text{ext}}$$

$$L = \frac{1}{2} 10^{-7} + 2 \cdot 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{r}\right) = 2 \cdot 10^{-7} \left(\ln\left(\frac{1}{re^4}\right) + \ln(D) \right)$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \left(\ln\left(\frac{1}{r'}\right) + \ln(D) \right) \quad / r' = r e^{-1/4}$$

2.3.1 L'inductance de ligne triphasée

$$L = 0.2 \cdot 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{r'}\right) \quad [H/m]$$

Pour un système triphasé équilibré

$$I_a + I_b + I_c = 0$$

$$\lambda_a = 2 \cdot 10^{-7} \left(I_a \ln\left(\frac{1}{r'}\right) + I_b \ln\left(\frac{1}{D}\right) + I_c \ln\left(\frac{1}{D}\right) \right)$$

$$= 2 \cdot 10^{-7} I_a \ln\left(\frac{D}{r'}\right)$$

$$\lambda_a = \lambda_b = \lambda_c \Rightarrow \text{symétrique}$$

Donc $L = 0.2 \ln\left(\frac{D}{r'}\right)$

Espacement asymétrique

Sachant que

$$I_b = a^2 I_a \quad / \quad a = (-1 + j\sqrt{3})/2$$

$$I_c = a I_a$$

$$l_a = 2 \cdot 10^{-7} \left(\ln\left(\frac{1}{r'}\right) + a^2 \ln\left(\frac{1}{D_{12}}\right) + a \ln\left(\frac{1}{D_{13}}\right) \right)$$

$$l_b = 2 \cdot 10^{-7} \left(a \ln\left(\frac{1}{D_{12}}\right) + \ln\left(\frac{1}{r'}\right) + a^2 \ln\left(\frac{1}{D_{13}}\right) \right)$$

$$l_c = 2 \cdot 10^{-7} \left(a^2 \ln\left(\frac{1}{D_{13}}\right) + a \ln\left(\frac{1}{D_{23}}\right) + \ln\left(\frac{1}{r'}\right) \right)$$

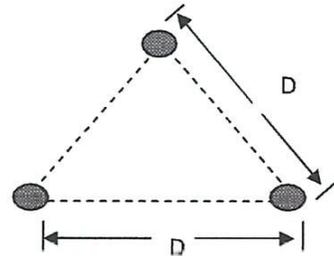


Figure 1.7 espacement symétrique des lignes

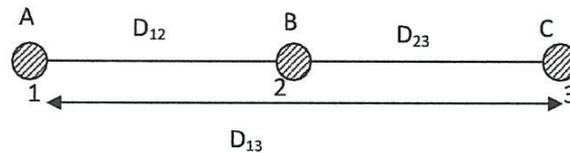


Figure 1.8 des phases en nappe

❖ Transposition

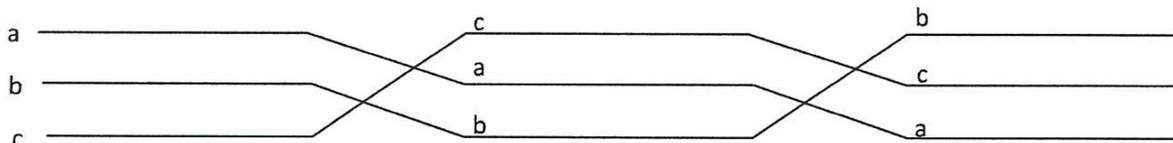


Figure 1.9 transposition de phases

$$l = \frac{l_a + l_b + l_c}{3} = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{3} \left(3 \ln\left(\frac{1}{r'}\right) - \ln\left(\frac{1}{D_{12}}\right) - \ln\left(\frac{1}{D_{13}}\right) \right)$$

$$l = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{(D_{12} D_{23} D_{13})^{1/3}}{r'} \quad [H / m]$$

$$\text{au } l = 0.4605 \cdot 10^{-4} \log \left(\frac{D_m}{r'} \right) \quad [H / km] \quad / D_m = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{13}}$$

$$\text{au } l = 0.4605 \cdot 10^{-4} \log \left(\frac{D_m}{r e^{-1/4}} \right) \quad [H / km]$$

$$l = 0.4605 \cdot 10^{-4} \log \left(\frac{D_m}{r} \right) + 0.4605 \cdot 10^{-4} \log (e^{1/4}) \quad [H / km]$$

$$l = 0.4605 \cdot 10^{-4} \log \left(\frac{D_m}{r} \right) + 0.05 \cdot 10^{-4} \quad [H / km]$$

$$X_0 = 2 \pi f l_0$$

$$X_0 = 0.144 \log \left(\frac{D_m}{r} \right) + 0.016 \quad [\Omega / km]$$

2.3.2. Conducteur en faisceaux

Pour augmenter la capacité de transport des lignes haute tension, on utilise généralement un certain nombre de conducteurs par phase, conducteur en faisceaux

$$R_{\dot{e}q} = \sqrt[n]{n r R_f^{n-1}}$$

n: nombre de conducteur par faisceaux

$$l_0 = 0.4605 \cdot 10^{-4} \ln \left(\frac{D_m}{R_{\dot{e}q}} \right) \quad [H / km]$$

$$l_0 = 0.4605 \cdot 10^{-4} \ln \left(\frac{D_m}{\sqrt[n]{n r e^{-1/4} n R_f^{n-1}}} \right) \quad [H / km]$$

$$l_0 = 0.4605 \cdot 10^{-4} \ln \left(\frac{D_m}{\sqrt[n]{n r R_f^{n-1}} \sqrt[n]{e^{-1/4}}} \right) \quad [H / km]$$

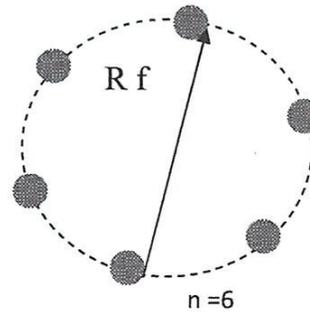


Figure 1.10
Configuration des phases

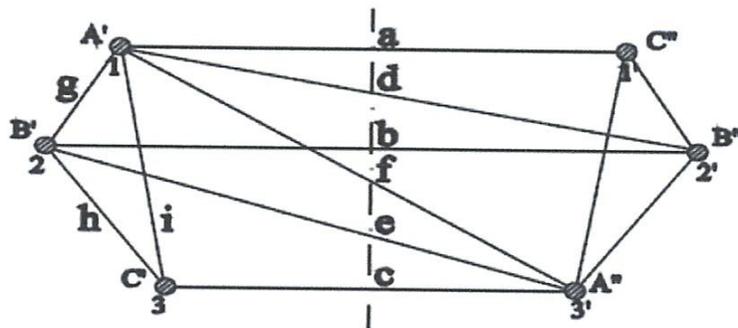
$$l_0 = 0.144 \log \left(\frac{D_m}{R_{\dot{e}q}} \right) + \frac{0.016}{n} \quad [H / km]$$

2.3.3 Application numérique

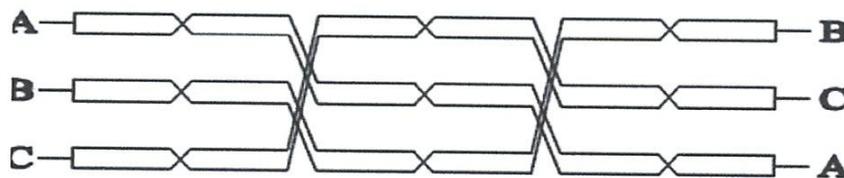
(Tableau 1.1) calcul de l'inductance pour ligne simple

| n | $F_u [mm^2]$ | $r [mm]$ | $R_f [m]$ | $R_{eq} [m]$ | $D_m [m]$ | $x_0 [\Omega / km]$ |
|---------|--------------|----------|-----------|--------------|-----------|---------------------|
| $n = 3$ | 570.22 | 13.47 | 0.40 | 0.1863 | 22.7352 | 0.3058 |
| $n = 4$ | 570.22 | 13.47 | 0.40 | 0.2420 | 22.7352 | 0.2880 |

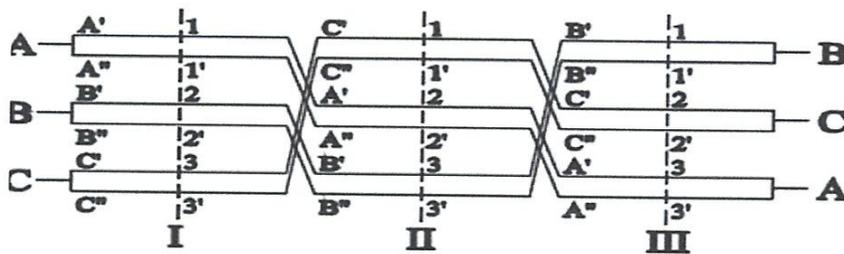
2.4. 1 Inductance De Ligne double terne



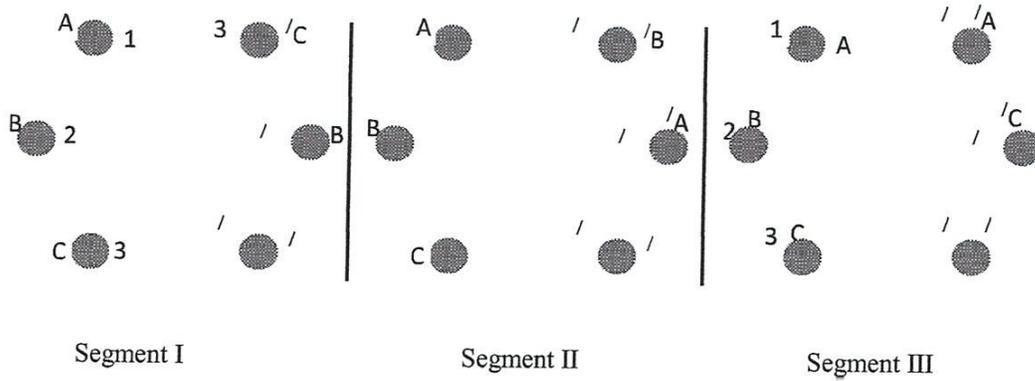
a- Ligne à deux ternes disposés symétriquement



b- Ligne triphasée à deux ternes et cycles de transposition



c- Autres cycles de transposition



• Pour phase A segment I

$$v'_{a1} = \frac{l}{3} \left[\frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{r'} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{12}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{13}} \right) + \frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{11'}} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{12'}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{13'}} \right) \right]$$

• Pour phase A' segment I

$$v'_{a'11} = \frac{l}{3} \left[\frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{r'} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{1'2}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{1'3}} \right) + \frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{11'}} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{1'2'}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{1'3'}} \right) \right]$$

• Pour segment II

$$v'_{a11} = \frac{l}{3} \left[\frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{r'} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{23}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{12}} \right) + \frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{22'}} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{23'}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{21'}} \right) \right]$$

$$v'_{a'11} = \frac{l}{3} \left[\frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{r'} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{32'}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{12'}} \right) + \frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{22'}} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{23'}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{1'2'}} \right) \right]$$

• Pour segment III

$$v'_{a111} = \frac{l}{3} \left[\frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{r'} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{31}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{23}} \right) + \frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{33'}} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{31'}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{32'}} \right) \right]$$

$$v'_{a'III} = \frac{l}{3} \left[\frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{r'} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{13'}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{23'}} \right) + \frac{I_a}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{33'}} \right) + \frac{I_b}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{3'1'}} \right) + \frac{I_c}{2} \ln \left(\frac{1}{D_{2'3'}} \right) \right]$$

$$\left\{ \begin{aligned} v'_a &= v'_{aI} + v'_{aII} + v'_{aIII} \\ v'_{a'} &= v'_{a'I} + v'_{a'II} + v'_{a'III} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} v'_a &= v'_{aI} + v'_{aII} + v'_{aIII} \\ v'_{a'} &= v'_{a'I} + v'_{a'II} + v'_{a'III} \end{aligned} \right.$$

mais $v'_a = v'_{a'} = (v'_a + v'_{a'}) / 2$

et $I_a + I_b + I_c = 0$

$$v'_a = \frac{l I_a}{12} \ln \left[\frac{(D_{12} D_{1'2'} D_{12'} D_{1'2}) (D_{13} D_{1'3'} D_{13'} D_{1'3}) (D_{23} D_{2'3'} D_{23'} D_{2'3})}{(r')^6 (D_{11'}^2 D_{22'}^2 D_{33'}^2)} \right]$$

Donc $l = 2 \cdot 10^{-7} \ln \left(\frac{D_m}{\sqrt{r'}} \right)$

avec $D_m = \left[\frac{(D_{12} D_{1'2'} D_{12'} D_{1'2}) (D_{13} D_{1'3'} D_{13'} D_{1'3}) (D_{23} D_{2'3'} D_{23'} D_{2'3})}{(D_{11'}^2 D_{22'}^2 D_{33'}^2)} \right]^{1/12}$

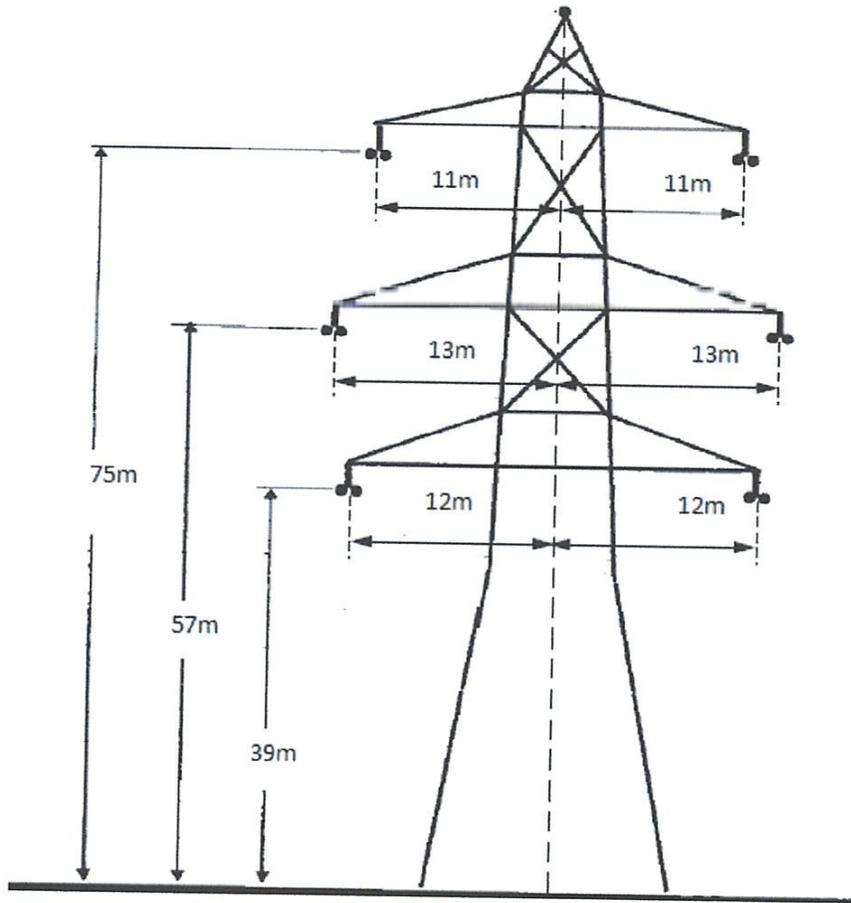
et $r' = r e^{-1/4}$

2.4.2. Conducteur en faisceaux

pour ligne n faisceaux

$$X_0 = 0.144 \log \left(\frac{D_m}{\sqrt{R_{\acute{e}q}}} \right) + \frac{0.016}{2 n}$$

2.4.3. Application :



Pylône 750 kV à deux ternes utilisé

$$D_{12} = D_{23} = 18.11, D_{1'2'} = D_{12'} = 18.02, D_{12'} = D_{23'} = 30, D_{1'2} = 30.80, D_{2'3} = 30.80$$

$$D_{13} = D_{1'3'} = 36.1, D_{1'3} = 24, D_{13'} = 22$$

$$D_{11'} = 42.72, D_{22'} = 26, D_{33'} = 42.72$$

$$H_1 = H_{3'} = 150, H_{1'} = H_3 = 78, H_2 = H_{2'} = H_{13} = H_{1'3'} = 114, H_{11'} = 116.25$$

$$H_{22'} = 116.92, H_{33'} = 116.29, H_{12} = H_{2'3'} = 132.01, H_{1'2'} = H_{23} = 96, H_{12'} = 134.16$$

$$H_{1'3} = 81.60, H_{13'} = 151.6, H_{2'3} = H_{1'2} = 99.20, H_{23'} = 134.34$$

(Tableau 1-2) valeur de l'inductance pour ligne simple double terne

| n | $F_u [mm^2]$ | $r [mm]$ | $R_f [m]$ | $R_{\acute{e}q} [m]$ | $D_m [m]$ | $x_0 [\Omega / km]$ |
|---------|--------------|----------|-----------|----------------------|-----------|---------------------|
| $n = 3$ | 570.22 | 13.47 | 0.40 | 0.1863 | 25.086 | 0.150 |
| $n = 4$ | 570.22 | 13.47 | 0.40 | 0.2420 | 25.086 | 0.140 |

3. Calcul de la capacité de la ligne

3.1. Capacité de ligne monophasé

$$v = \int E dx$$

$$v = \int \frac{q}{2 \epsilon_0 x} dx$$

$$v_a = \frac{q}{2 \pi \epsilon} \int_{r_1}^D \frac{dx}{x}$$

$$v_a = \frac{q}{2 \pi \epsilon_0} (\ln D - \ln r_1)$$

$$v_a = \frac{q}{2 \pi \epsilon_0} \left(\ln \frac{D}{r_1} \right)$$

$$v_b = \frac{q}{2 \pi \epsilon} \left(\ln \frac{r_2}{D} \right)$$

$$v_a - v_b = \frac{q}{2 \pi \epsilon_0} \left(\ln \frac{D}{r_1} - \ln \frac{r_2}{D} \right) = \left(\ln \frac{D^2}{r_1 r_2} \right)$$

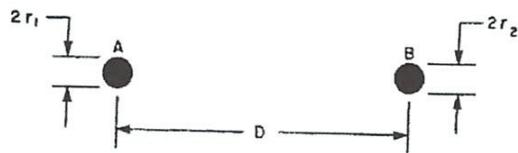


Figure 1.12 calcul de capacité de la ligne

$$v_{ab} = \frac{q}{\pi \epsilon_0} \ln \left(\frac{D}{\sqrt{r_1 r_2}} \right)$$

$$C_{ab} = \frac{q}{v_{ab}} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{\sqrt{r_1 r_2}}} \Rightarrow r_1 = r_2$$

$$\Rightarrow C_{ab} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}}$$

$$\Rightarrow C_{an} = \frac{2 \pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}}$$

$$C_{an} = \frac{2 \pi \epsilon_0 / \ln 10}{\log \frac{D}{r}} = \frac{0.02414}{\log \frac{D}{r}} 10^{-6} F / km$$

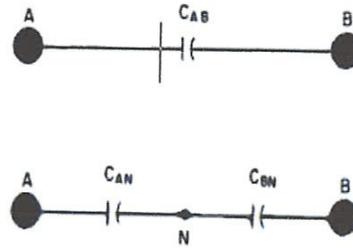


Figure 1.13 calcul de capacité monophasé

3.2.1. Capacité des lignes triphasés :

Supposant un système équilibré ligne transposée avec $(q_a + q_b + q_c = 0)$

$$v_{ab} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \left(q_a \ln \frac{D_{12}}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_{12}} + q_c \ln \frac{D_{23}}{D_{13}} \right)$$

$$v_{ab} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \left(q_a \ln \frac{D_{23}}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_{23}} + q_c \ln \frac{D_{13}}{D_{12}} \right)$$

$$v_{ab} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \left(q_a \ln \frac{D_{13}}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_{13}} + q_c \ln \frac{D_{12}}{D_{23}} \right)$$

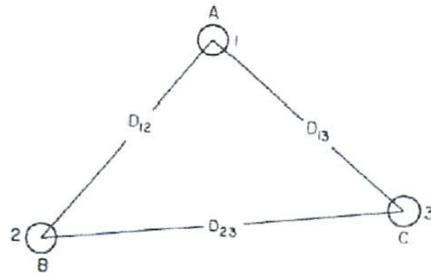


Figure 1.14 disposition de phase en triangle

La moyenne s'écrit : $v_{ab} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \left(q_a \ln \frac{D_m}{r} + q_b \ln \frac{r}{D_m} \right)$

Similairement : $v_{ac} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \left(q_a \ln \frac{D_m}{r} + q_c \ln \frac{r}{D_m} \right)$

Comme on a : $q_b + q_c = -q_a$

Alors $v_{ac} + v_{ab} = \frac{3 q_a}{2 \pi \epsilon_0} \ln \frac{D_m}{r}$

Et comme le système est équilibré on a

$$v_{ac} + v_{ab} = 3 v_{an}$$

$$C = \frac{q_a}{v_{an}} = \frac{2 \pi \epsilon_0}{\ln \frac{D_m}{r}} [F / m]$$

$$C = \frac{2 \pi \epsilon_0}{\ln 10} / \log \frac{D_m}{r} = \frac{0.02414}{\log \frac{D_m}{r}} 10^{-6} [F / km]$$

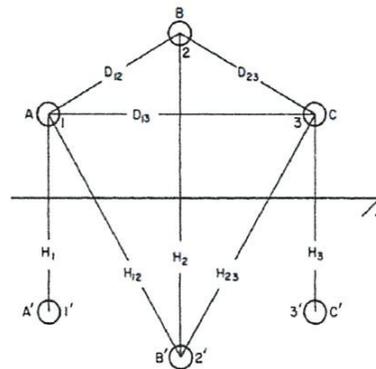
Pour $f = 50H$

$$b_0 = 2 \pi f \epsilon_0 = \frac{7.85}{\log \frac{D_m}{r}} 10^{-6} [\Omega / km]$$

3.2.2. Effet de terre

Nous comptabilisons l'influence de la terres nous arrivent avec un peu expression modifiée pour la Capacité, envisage la même ligne triphasée avec la ligne d'image présentée le moment sur cette figure la linge est supposée transposée en conséquence la phase moyenne une tension sera donné par

$$v_a = \frac{1}{3 (2 \pi \epsilon_0)} \left\{ \begin{aligned} & \left[q_a \ln \left(\frac{H_1}{r} \right) + q_b \ln \left(\frac{H_{12}}{D_{12}} \right) + q_c \ln \left(\frac{H_{13}}{D_{13}} \right) \right] \\ & + \left[q_a \ln \left(\frac{H_3}{r} \right) + q_b \ln \left(\frac{H_{13}}{D_{13}} \right) + q_c \ln \left(\frac{H_{23}}{D_{23}} \right) \right] \\ & + \left[q_a \ln \left(\frac{H_2}{r} \right) + q_b \ln \left(\frac{H_{23}}{D_{23}} \right) + q_c \ln \left(\frac{H_{12}}{D_{12}} \right) \right] \end{aligned} \right\}$$



En pose $(q_a + q_b + q_c = 0)$

Figure 1.16 effet de terre d'une simple ligne

$$v_a = \frac{q_a}{3 (2 \pi \epsilon_0)} \ln \left[\frac{(D_{12} D_{23} D_{13}) (H_1 H_2 H_3)}{r^3 (H_{12} H_{13} H_{23})} \right]$$

$$C_{an} = \frac{2 \pi \epsilon_0}{\ln \left[\frac{D_m}{r} \left(\frac{(H_1 H_2 H_3)}{(H_{12} H_{13} H_{23})} \right)^{1/3} \right]}$$

$$C_{an} = \frac{2 \pi \epsilon_0}{\ln\left(\frac{D_m}{r}\right) - \ln \alpha}$$

Avec $\alpha = \left(\frac{H_{12} H_{13} H_{23}}{H_1 H_2 H_3}\right)^{1/3}$

3.2.3. Conducteur en faisceaux

- Pour ligne a n faisceaux à 50 HZ

$$b_0 = 2 \pi c_0 = \frac{7.85}{\log \frac{D_m}{R_{eq}} - \log \alpha} 10^{-6} [\Omega / km] \quad \text{avec} \quad R_{eq} = \sqrt[n]{n r R_f^{n-1}}$$

3.2.4. Application numérique

(Tableau 1-3) calcul de capacité pour ligne simple

| n | $F_u [mm]$ | $r [mm]$ | $R_f [m]$ | $R_{eq} [m]$ | $D_m [m]$ | $b_0 10^{-6} [\Omega / km]$ | α |
|---------|------------|----------|-----------|--------------|-----------|-----------------------------|----------|
| $n = 3$ | 570.22 | 13.47 | 0.4 | 0.1863 | 22.735 | 3.7088 | 0.9975 |
| $n = 4$ | 570.22 | 13.47 | 0.4 | 0.2420 | 22.735 | 3.9113 | 0.9975 |

3.3.1. Calcul de la capacité de la ligne double terne

Pour segment I phase A

$$v_{A1} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[q_a \ln\left(\frac{H_1}{r}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{12}}{D_{12}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{13}}{D_{13}}\right) + q_a \ln\left(\frac{H_{11'}}{D_{11'}}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{12'}}{D_{12'}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{13'}}{D_{13'}}\right) \right]$$

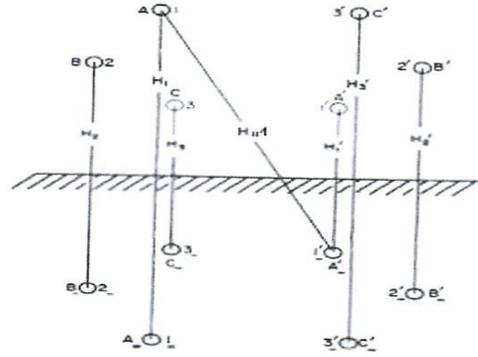


Figure 1.17 effet de terre d'une ligne double terne

Segment I

$$v_{A2} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \left[q_a \ln\left(\frac{H_2}{r}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{23}}{D_{23}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{12}}{D_{12}}\right) + q_a \ln\left(\frac{H_{22'}}{D_{22'}}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{23'}}{D_{23'}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{21'}}{D_{21'}}\right) \right]$$

Segment II

$$v_{A3} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \left[q_a \ln\left(\frac{H_3}{r}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{13}}{D_{13}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{23}}{D_{23}}\right) + q_a \ln\left(\frac{H_{33'}}{D_{33'}}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{23'}}{D_{31'}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{32'}}{D_{32'}}\right) \right]$$

Pour phase A' segment I

$$v_{A'1} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \left[q_a \ln\left(\frac{H_1}{r}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{12'}}{D_{12'}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{13'}}{D_{13'}}\right) + q_a \ln\left(\frac{H_{11'}}{D_{11'}}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{12'}}{D_{12'}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{13'}}{D_{13'}}\right) \right]$$

Pour segment II

$$v_{A'2} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \left[q_a \ln\left(\frac{H_2}{r}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{23'}}{D_{23'}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{23'}}{D_{21'}}\right) + q_a \ln\left(\frac{H_{22'}}{D_{22'}}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{23'}}{D_{23'}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{21'}}{D_{22'}}\right) \right]$$

Pour segment III

$$v_{A'3} = \frac{1}{2 \pi \epsilon_0} \left[q_a \ln\left(\frac{H_3}{r}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{31'}}{D_{33'}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{32'}}{D_{32'}}\right) + q_a \ln\left(\frac{H_{33'}}{D_{33'}}\right) + q_b \ln\left(\frac{H_{33'}}{D_{33'}}\right) + q_c \ln\left(\frac{H_{32'}}{D_{32'}}\right) \right]$$

Le résultat pour phase A aux A'

$$\text{avec } \frac{q_a}{12 (2 \pi \epsilon_0)} = \left[\begin{aligned} & \ln \frac{(D_{12} D_{1'2} D_{12'} D_{1'2'}) (D_{13} D_{1'3} D_{13'} D_{1'3'}) (D_{23} D_{2'3} D_{23'} D_{2'3'})}{r^6 (D_{11'}^2 D_{22'}^2 D_{33'}^2)} \\ & + \ln \frac{(H_1 H_1 H_2 H_2 H_3 H_3 H_{11'}^2 H_{22'}^2 H_{33'}^2)}{(H_{12} H_{12} H_{12} H_{12'}) (H_{13} H_{13} H_{13} H_{13'}) (H_{23} H_{23} H_{23} H_{23'})} \end{aligned} \right]$$

$$C_{AN} = \frac{2 \pi \epsilon_0}{\ln \left(\frac{D_m}{\sqrt{r}} \right) - \ln \alpha} [F / m]$$

$$\text{avec } D_m = \left[\frac{(D_{12} D_{1'2} D_{12'} D_{1'2'}) (D_{13} D_{1'3} D_{13'} D_{1'3'}) (D_{23} D_{2'3} D_{23'} D_{2'3'})}{(D_{11'}^2 D_{22'}^2 D_{33'}^2)} \right]^{1/12}$$

$$\alpha = \left[\frac{(H_1 H_1 H_2 H_2 H_3 H_3 H_{11'}^2 H_{22'}^2 H_{33'}^2)}{(H_{12} H_{12} H_{12} H_{12'}) (H_{13} H_{13} H_{13} H_{13'}) (H_{23} H_{23} H_{23} H_{23'})} \right]^{1/12}$$

3.3.2 Conducteur en faisceaux

Pour les lignes triphasé a n faisceaux a 50 HZ

$$b_0 = 2 \pi C_0 = \frac{7.85}{\log \left(\frac{D_m}{\sqrt{R_{eq}}} \right) - \log \alpha} 10^{-6} [\Omega / Km]$$

$$\text{avec } R_{eq} = \sqrt[n]{n r R_f^{n-1}}$$

3.3.3. Application numérique

(Tableau 1-4) calcul de la capacité pour double terne

| n | $F_u [mm^2]$ | r [mm] | $R_f [m]$ | $R_{eq} [m]$ | $D_m [m]$ | $b_0 10^{-6} [\Omega / K]$ | α |
|---|--------------|--------|-----------|--------------|-----------|----------------------------|----------|
| 3 | 570.22 | 13.47 | 0.4 | 0.1863 | 4.1701 | 7.9605 | 0.9975 |
| 4 | 570.22 | 13.47 | 0.4 | 0.242 | 4.1701 | 8.4997 | 0.9975 |

4. Effet couronne

Effet couronne est lie a l'apparition de la avalanche électronique asymétrique qui se développe dans un intervalle gazeux séparant deux électrodes soumis a un champ électrique nitrogène a des pressions de quelques tours a quelques atmosphère

* la décharge couronne se manifeste dans les conditions matérielle, elle apparait sous forme d'une gaine lumineuse que apparait autour des conducteurs entourés par l'air, lorsque la valeur du champ électrique atteint celle du champ d'ionisations des l'aire et se manifeste sur toute la gamme de fréquences de tension.

* la conductance linéique correspondante peut être calculée a partir de tension

$$\Delta P_0 = U_N^2 g_0$$

Comme

$$g_0 = \frac{\Delta P_0}{U_N^2}$$

ΔP_0 Pertes linéique de puissance par effet couronne kW/km

Et pour la détermination des pertes couronne en peut proposer la formule suivant:

$$\Delta P_0 = \frac{0.18}{\delta} \sqrt{\frac{r_c}{D_m}} (U_{ph} - U_{cr})^2, \text{ kW/km}$$

La valeur de tension critique peut être déterminée par l'expression suit:

$$U_{cr} = 4.89 \cdot 10^3 m_0 m_a \delta \log \frac{D_m}{r_c}$$

δ : Densité de l'air

$$\delta = \frac{p}{p_0} \frac{273+t_0}{373+t}$$

$$\text{avec } p_0 = 76 \text{ mHg}, t_0 = 25 \text{ C}^0 \quad (t = 25^0, \delta = 1)$$

m_0 : Coefficient qui tien compte de l'état de surface de conducteur

$m_0 = 1$: Pour un conducteur et pour les conducteur a plusieurs fils $m_0 = 0.83 \div 0.87$

Et aussi pour milieu ambient, en cas d'intempérie $m_a = 0.8$

Et m_a milieu sec $m_a = 1$, [$r_c = m$]

U_{ph} : Tension simple de phase au kv

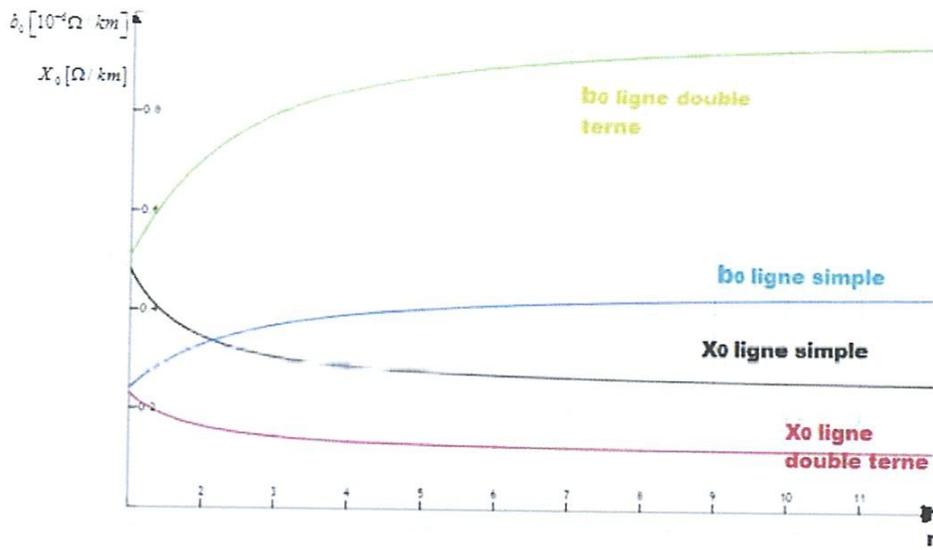


Figure 1.18

Variation des paramètres de ligne soulent nombre de conducteur en fuseau n

β_0 : Facteur d'amortissement étant idéalement nul

L'impédance caractéristique d'onde et défini comme suit $Z_c = \sqrt{\frac{x_0}{b_0}}$

Les résultats donnés dans le tableau qui suit

Tableau 2.1 valeur de paramétrer seconder :

| | n | α_0 [km] | Y_0 [n^{-3}] | Z_c [Ω] | pc |
|-----------|-----|-----------------|--------------------|--------------------|--------|
| lig ne | n=3 | 0,06 | 1,059 | 287,45 | 1656,8 |
| | n=4 | 0,06 | 1,059 | 271,35 | 2073 |
| lig ne | n=3 | 0,06 | 1,059 | 134,73 | 4174,8 |
| | n=4 | 0,06 | 1,059 | 126,69 | 4433,9 |

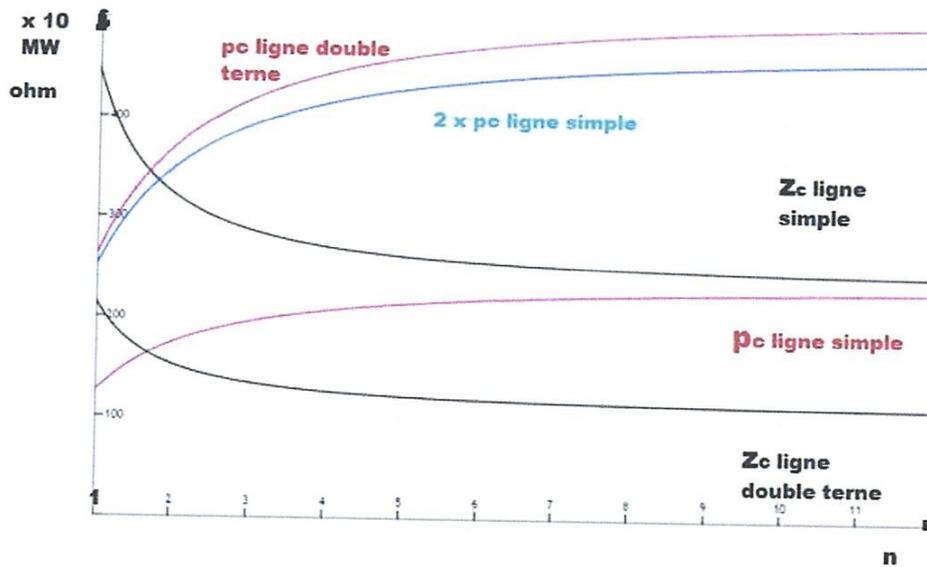


Figure II.2 Variation de l'impédance caractéristique et la puissance naturel

Interprétation

D'après les résultats est les courbe de la figure II 2, on constate que l'augmentation du nombre de conducteurs de phase entraîne la diminution de la réactance x_0 et l'augmentation de la substance b_0 donne les pertes inductives diminuer et la puissance réactive augmente. On a constaté de même la diminution de z_c l'impudence caractéristique l'augmentation de la puissance naturelle de la ligne.

Il est intéressant de remarque que pour une ligne double la relation entre les puissances naturelles est telle que

$$P_{c II} > 2 \cdot P_{c I}$$

Ou, $P_{c I}$ puissance naturelle de la ligne simple ;

$P_{c II}$ - puissance naturelle de la ligne double.

Par exemple du tableau II 1

Pour $n = 3$:

$$\frac{P_{c II}}{P_{c I}} = \frac{4174,8}{1356,8} = 2,133$$

Pour $n = 4$:

$$\frac{P_{c II}}{P_{c I}} = \frac{4433,9}{2073} = 2,138$$

Ou bien en tiens de pourcentage ;

Par unité de $P_{c I}$

$$\Delta p_c \% = \frac{P_{cII(3)} - 2 P_{cI(3)}}{2 P_{cI(3)}} 100 = 6,67\%$$

Et par rapport $P_{c I}$

$$\Delta p_c \% = \frac{P_{cII(3)} - 2 P_{cI(3)}}{P_{cI(3)}} 100 = 13,4\%$$

1.2. Analyse de régime et nécessité de la compensation

La distribution de la tension et puissance réactive pour différent régime.

Les régimes de la charge considérée sont donnés par leur puissance limite par le Tableau .II.2.

Le traitement de la liaison est réalisé pour le cas d'une ligne simple et pour celui d'une ligne double.

Tableau II.2

| S max | | | | S min | | | |
|--------------|------------|--------------------|------------|--------------|-------------|--------------------|------------|
| ligne simple | | ligne double terne | | ligne simple | | ligne double terne | |
| n = 3 | n = 4 | n = 3 | n = 4 | n = 3 | n = 4 | n = 3 | n = 4 |
| 1,2+j1,5 | 1,13+j1,41 | 0,56+j0,70 | 0,52+j0,66 | 0,6+j0,5 | 0,567+j0,47 | 0,28+j0,24 | 0,26+j0,22 |

1.2.1. Régime sans compensation.

1.2.1.1. Distribution de la tension

La puissance réactive aboutissant au nœud de la charge est égale à la puissance de la charge. Pour une ligne sans pertes, la relation entre les deux tensions d'extrémité s'exprime comme suit,

$$U_s^* = U_r K_U e^{j\delta} = \cos(\alpha_0 \ell) + Q_2^* \sin(\alpha_0 \ell) + j P_2^* \sin(\alpha_0 \ell)$$

$$\frac{U_s^*}{U_r} = K_U e^{j\delta}, \text{ avec } K_U = \frac{U_s}{U_r}$$

Pour les Régimes en charge dans le tableau II.2, le calcul de la tension donne les résultats saisis dans le tableau II.3, et représentés par les graphes de la figure II.3.

Tableau II.3 :

| x | A vide | Ligne simple | | | | Ligne double terne | | | |
|-----|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | n = 3 | | n = 4 | | n = 3 | | n = 4 | |
| | | Q _x max | Q _x min |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 100 | 0,994 | 1,158 | 1,048 | 1,148 | 1,045 | 1,069 | 1,020 | 1,064 | 1,017 |
| 200 | 0,978 | 1,310 | 1,089 | 1,292 | 1,082 | 1,129 | 1,029 | 1,112 | 1,025 |
| 300 | 0,951 | 1,462 | 1,121 | 1,430 | 1,110 | 1,180 | 1,028 | 1,166 | 1,022 |
| 400 | 0,913 | 1,599 | 1,143 | 1,156 | 1,128 | 1,219 | 1,017 | 1,20 | 1,008 |
| 500 | 0,866 | 1,723 | 1,155 | 1,669 | 1,136 | 1,247 | 1,995 | 1,223 | 0,984 |
| 600 | 0,809 | 1,831 | 1,157 | 1,767 | 1,134 | 1,264 | 1,964 | 1,225 | 0,951 |
| 700 | 0,743 | 1,922 | 1,150 | 1,848 | 1,123 | 1,268 | 1,922 | 1,234 | 0,907 |
| 800 | 0,669 | 1,994 | 1,132 | 1,911 | 1,101 | 1,260 | 1,8722 | 1,222 | 0,855 |

Dans le cas la ligne sans compensation considéré les courbes dans la figure [II 3] montre que pour maintenir la tension $U_r = U_s = 1$ il faut avoir pour une ligne simple et ligne double terne.

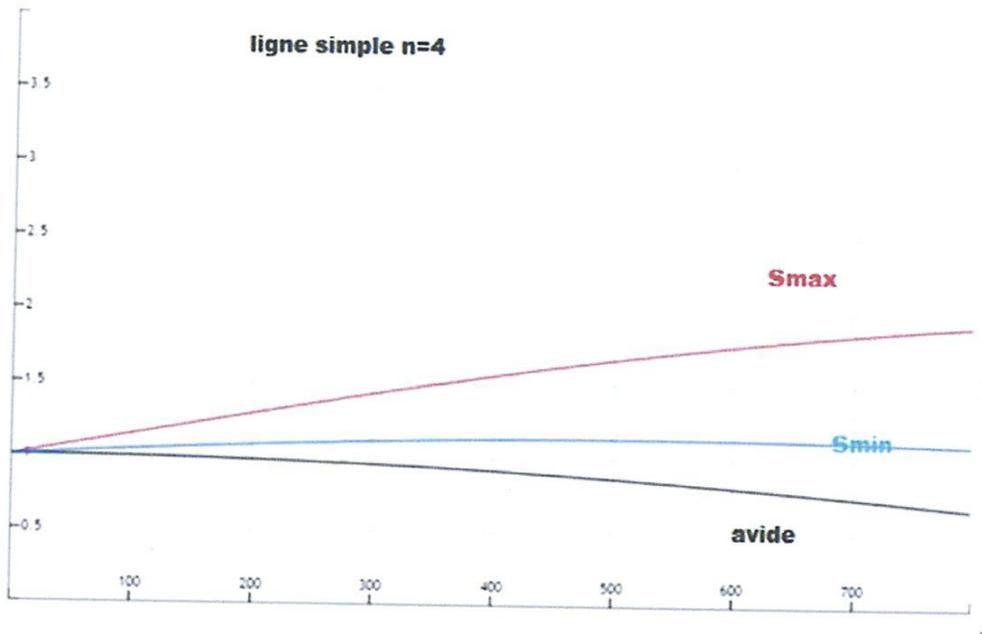
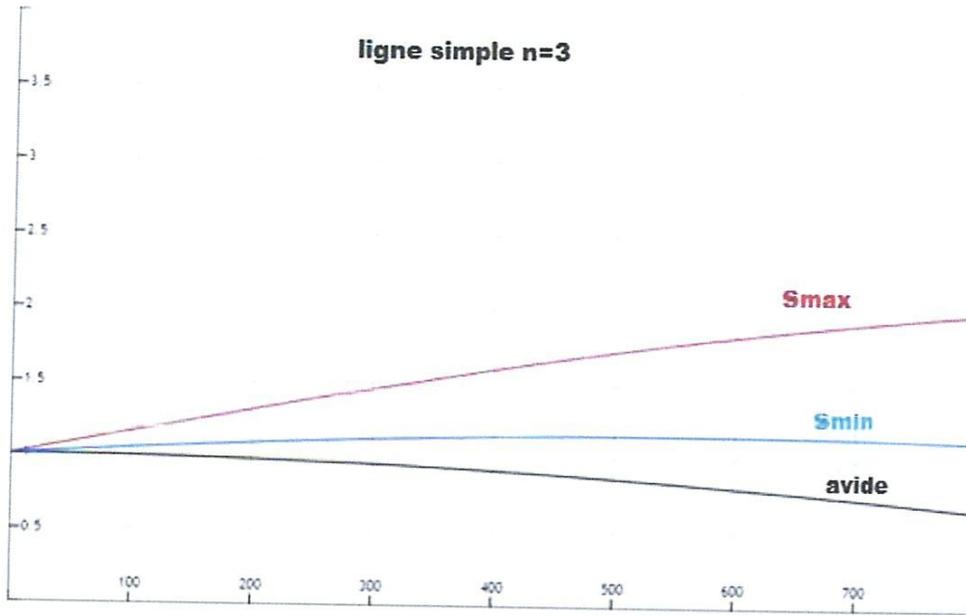




Figure II.3. Distribution de la tension de long de la ligne sans compensation

Interprétation

Régime maximale

$n = 3$: une tension à l'entre $U_s = 1,994$ ($\Delta U\% = 99,4\%$).

$n = 4$: une tension à l'entre $U_s = 1,911$ ($\Delta U\% = 91\%$).

Régime minimal

$$n = 3: U_s = 1,132 (\Delta U\% = 13,2\%).$$

$$n = 4: U_s = 1,101 (\Delta U\% = 10,2\%).$$

Pour une ligne double:

Régime maximale

$$n = 3: U_s = 1,26 (\Delta U\% = 26\%).$$

$$n = 4: U_s = 1,22 (\Delta U\% = 22,2\%).$$

Régime minimal:

$$n = 3: U_s = 0,8722 (\Delta U\% = -12,78\%).$$

$$n = 4: U_s = 0,855 (\Delta U\% = -14,5\%).$$

On constate que les l'écart variation de la tension le long de la ligne sont considéré très inadmissibles aussi bien pour le régime ce minimisé de charge que pour celui à minimiser de charge. Eu même, on peut remarque que l'appart de la ligne double en amortissement de la l'écart da la tension et considérable Par exemple, en régime maximal et $n = 3$, le passage d'une ligne simple à celle double réduit la tension U_s d'entrée U_s de l'écart $V_{0(\min)} = (99 - 26) = 73\%$ et respectivement en régime minimale $V_{0(\min)} = (13,2 + 12,78) = 25,98\%$.

L'écart en régime a vide représente $V_{0(\text{vide})} = (1 - 0,669) = 33,1\%$ ce qui est également admissible car l'observation montrent que la ligne nécessite une compensation.

Conclusion :

On constat que la tension et diminuer ou long de la linge. Pour tout les cas a d'une charge maximale, cette diminution variée décroissante selon la valeur de la charge.

Pour le cas d'une S_{\min} la tension diminué mais cas dans la ligne double ternes la tension augmente.

Dans le régime à vide pour éviter la surtension dans le cas d'ouverture de disjoncteur.

1.2.1.2. Distribution de la puissance réactive

Pour évaluer les quantités de la puissance réactive à installer pour la compensation et les lieux d'installations des compensateurs ; il est nécessaire de déterminer la distribution de la puissance réactive le long de la ligne sous le seul effet de la charge ; on peut utiliser à cet effet l'expression suivante:

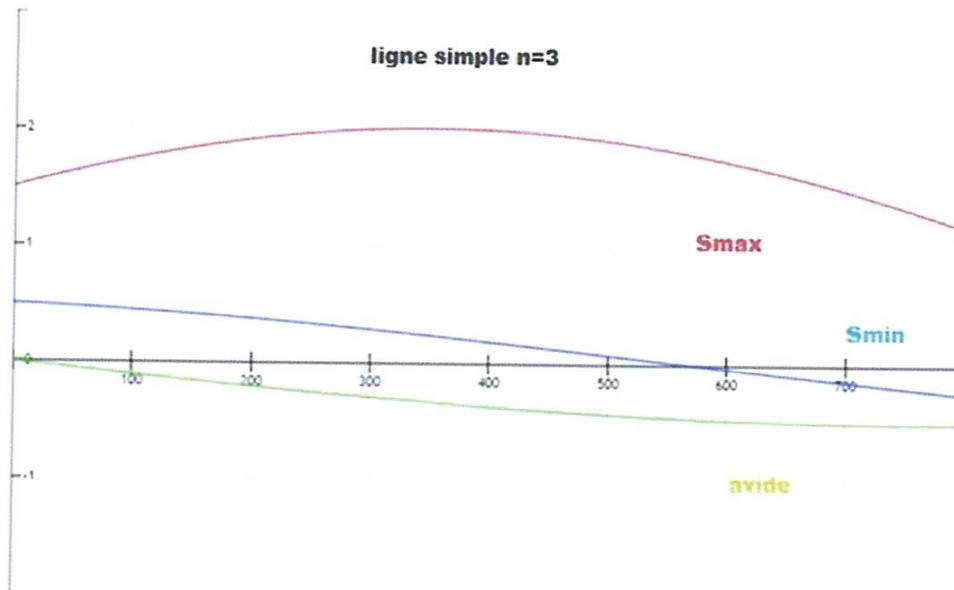
$$Q^*(\ell) = (K_u^2(\ell) - 1) \cot g(\alpha_0 \ell) - Q_2^*$$

La dernière expression permet de définir la distribution de la puissance réactive le long de la ligne correspondante a cette de la tension U_s , en effet, si on procède de la même manière que précédemment c'est-à-dire déterminer $k_u(x) = \frac{U_s}{U_r}$.

Pour chaque distance (x), la tension de charge U_r maintenue constante on peut tracer les courbes de variation de $Q^*(x)$ a partir de tableau (II 4).

Tableau (II 4).valeur de puissance réactive ou long de la ligne

| x | A vide | Ligne simple | | | | Ligne double terne | | | |
|-----|--------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | n = 3 | | n = 4 | | n = 3 | | n = 4 | |
| | | $Q_{x,max}$ | $Q_{x,min}$ | $Q_{x,max}$ | $Q_{x,min}$ | $Q_{x,max}$ | $Q_{x,min}$ | $Q_{x,max}$ | $Q_{x,min}$ |
| 0 | 0 | 1,546 | 0,50 | 1,41 | 0,47 | 0,70 | 0,24 | 0,66 | 0,22 |
| 100 | 0,104 | 1,7419 | 0,4485 | 1,6146 | 0,411 | 0,664 | 0,144 | 0,615 | 0,123 |
| 200 | 0,203 | 1,9174 | 0,377 | 1,7487 | 0,3358 | 0,599 | 0,043 | 0,543 | 0,021 |
| 300 | 0,293 | 2,004 | 0,2899 | 1,8064 | 0,2451 | 0,508 | 0,059 | 0,447 | 0,081 |
| 400 | 0,371 | 2,003 | 0,1897 | 1,785 | 0,1436 | 0,394 | 0,160 | 0,332 | 0,180 |
| 500 | 0,4330 | 1,9148 | 0,0811 | 1,685 | 0,035 | 0,265 | 0,254 | 0,202 | 0,271 |
| 600 | 0,4755 | 1,7425 | 0,0309 | 1,512 | 0,0734 | 0,122 | 0,336 | 0,0641 | 0,3514 |
| 700 | 0,497 | 1,4944 | 0,141 | 1,273 | 0,179 | 0,024 | 0,404 | 0,072 | 0,415 |
| 800 | 0,497 | 1,180 | 0,2462 | 0,9789 | 0,277 | 0,170 | 0,4547 | 0,215 | 0,461 |



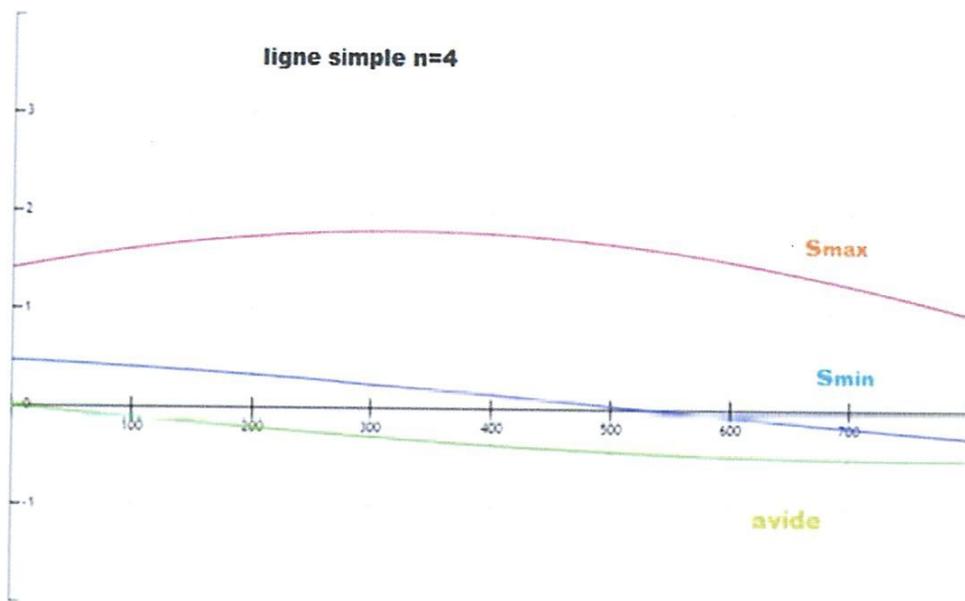




Figure .II.4. Distribution de la puissance réactive le long de la ligne sans compensation

Interprétation

A partir des figures (II.4) on peut constater qu'en allant de la source vers l'extrémité de ligne.

La caractéristique des variations $Q(x)$ est en fait lui-même défini Par le rapport entre les substances et les inductances de la ligne.

1. 2.2. Régime avec compensation

On se propose de déterminer le lieu géométrique du déplacement du point "zéro" de la puissance réactive le long de la ligne suite aux variations de la charge de sa valeur maximale à sa valeur nulle, marche avide la tension de la charge étant maintenue constante (U_r^*). Pour cela, on doit déterminer la puissance réactive Q_2^* pour $K_u = 1$.

1. 2.2.1. Compensation shunt

a) a l'extrémité

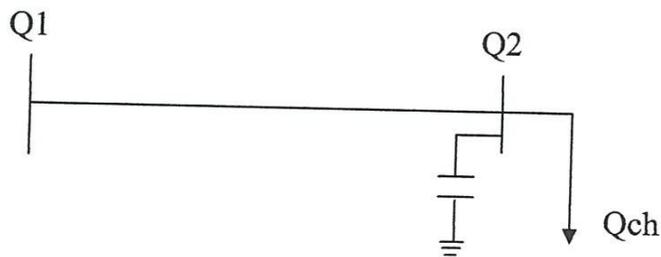


Figure II.5. Contrôle de la tension à l'extrémité par compensation.

$$Q_2 = -\cot g(\alpha_0 \ell) + \sqrt{\left(\frac{K_U}{\sin(\alpha_0 \ell)}\right)^2 - P_2^2}$$

Ce qui donne alors une distribution de tension

$$U_\ell = \cos(\alpha_0 \ell) + Q_2^* \sin(\alpha_0 \ell) + j P_2^* \sin(\alpha_0 \ell)$$

Est une distribution du réactive.

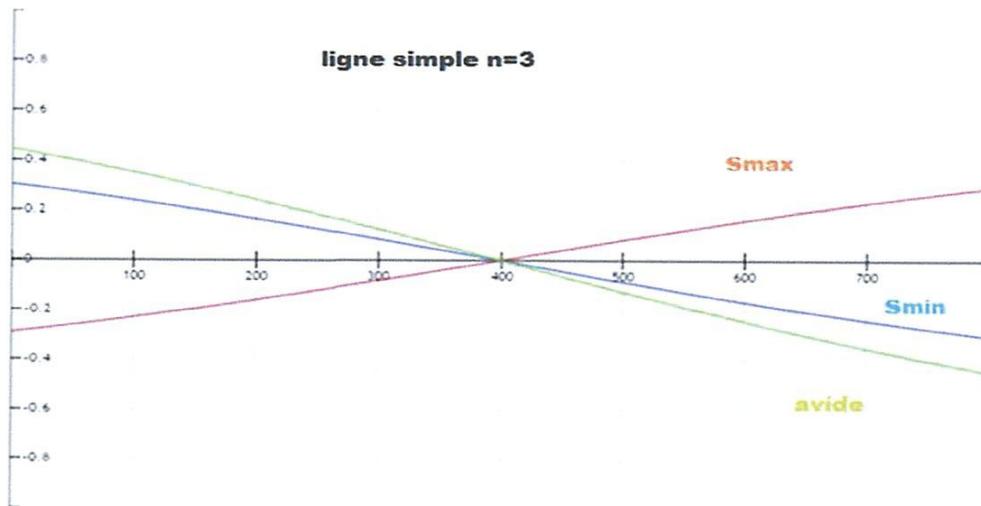
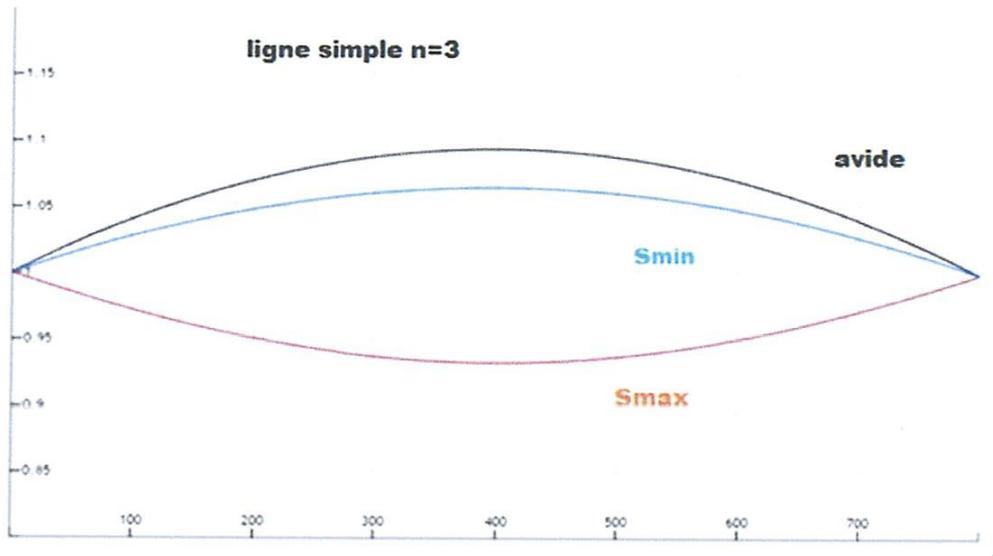
$$Q^*(\ell) = (K_U^2(\ell) - 1) \cot g(\alpha_0 \ell) - Q_2^*$$

La puissance de compensation est égale

$$Q_c = Q_{ch} - Q_2$$

Tableau II.5. Les valeurs de calcul selon les déférant régime :

| | S_{max} | | | | | S_{min} | | | |
|-------|-----------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|-------|--------------|--------|
| | A vide | Ligne simple | | ligne double | | Ligne simple | | ligne double | |
| | | n = 3 | n = 4 | n = 3 | n = 4 | n = 3 | n = 4 | n = 3 | n = 4 |
| Q_2 | 0,444 | -0,291 | -0,170 | 0,322 | 0,3404 | 0,303 | 0,320 | 0,4150 | 0,418 |
| Q_c | -0,444 | 1,7918 | 1,560 | 0,377 | 0,3190 | 0,196 | 0,149 | 0,175 | 0,1988 |



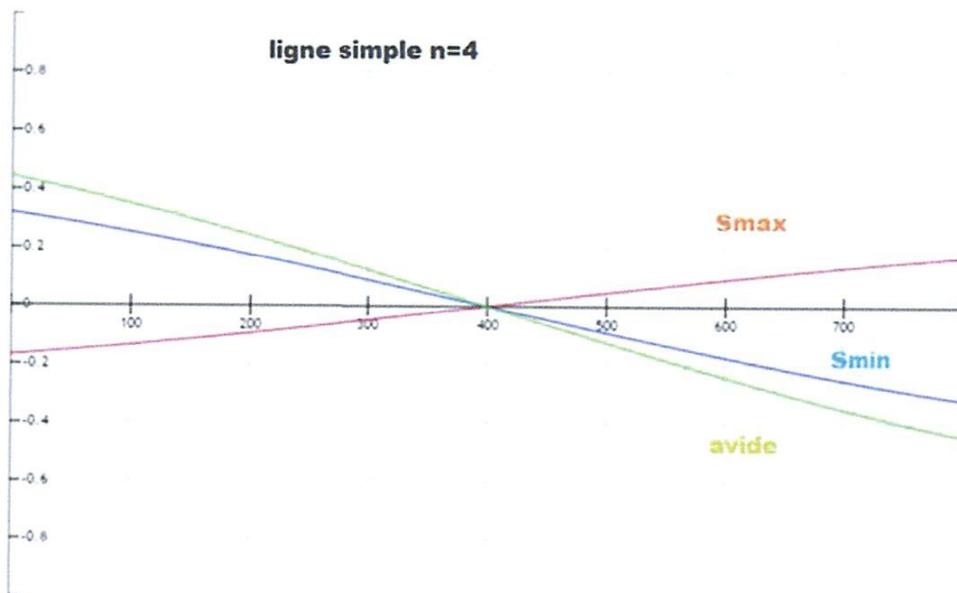
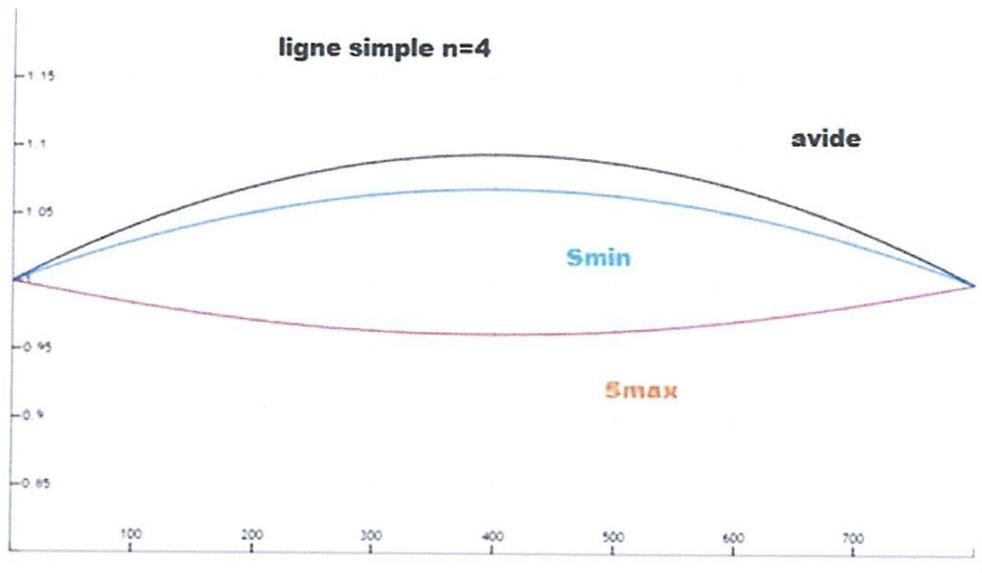


Figure II.6. Distribution de la tension et puissance réactive le long de la ligne ave compensation a l'extrémité pour ligne simple



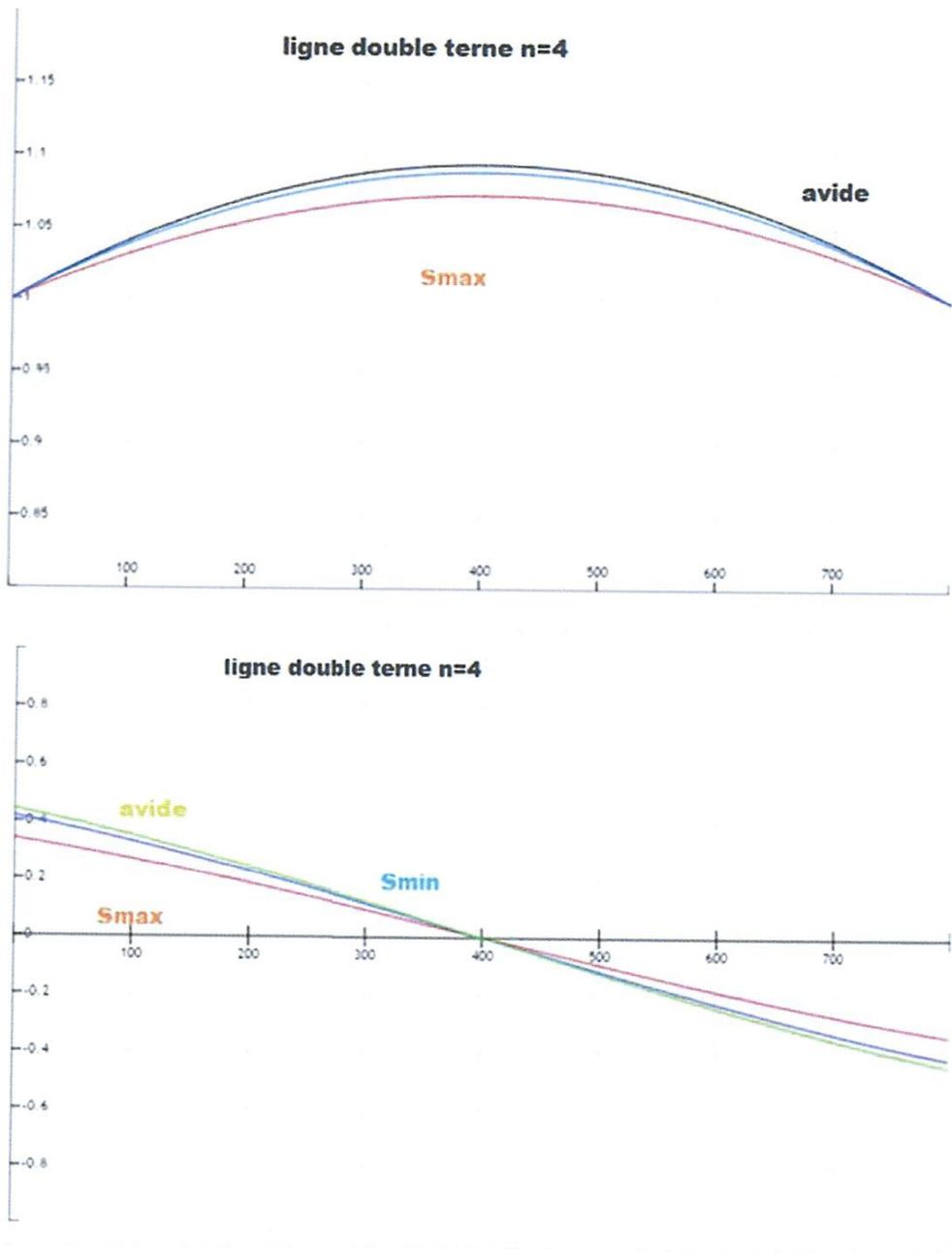


Figure II.7 Distribution de la tension et puissance réactive le long de la ligne ave compensation a l'extrémité pour ligne double terne

b. Compensation shunt au milieu de la ligne

Dans ce cas le modèle de la ligne prend la forme

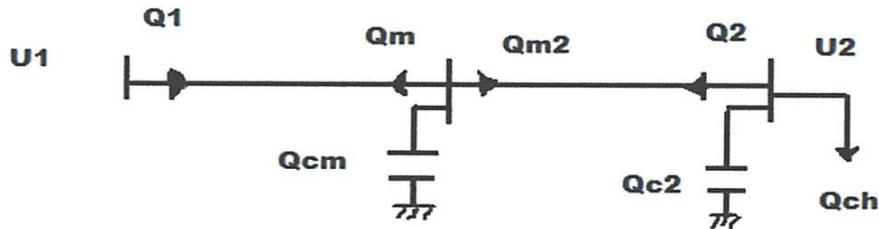


Figure II.8.model de compensation shunt au milieu de la ligne

Traçant 2

$$Q_2 = -\cot g(\alpha_0 \ell / 2) + \sqrt{\left(\frac{k_u}{\sin(\alpha_0 \ell / 2)}\right)^2 - P_2^2}$$

$$U_m = \cos(\alpha_0 \ell / 2) + Q_2 \sin(\alpha_0 \ell / 2) + j P_2 \sin(\alpha_0 \ell / 2)$$

La distribution de réactive

$$Q_{(x)} = ((k_{u(x)})^2 - 1) \cot g(\alpha_0 \ell / 2) - Q_2$$

La puissance de compensation

$$Q_2 = Q_{ch} - Q_2$$

$$Q_{m2} = (k_{m2}^2 - 1) \cot g(\alpha_0 \ell / 2) - Q_2$$

Traçant 1

$$Q_{m1} = -\cot g(\alpha_0 \ell / 2) + \sqrt{\left(\frac{k_u}{\sin(\alpha_0 \ell / 2)}\right)^2 - P_2^2} = Q_2, (k_u = 1)$$

La puissance de compensation

$$Q_{cm} = Q_{m2} - Q_{m1}$$

La distribution de réactive

$$Q_{(x)} = ((k_{u(x)})^2 - 1) \cot g(\alpha_0 \ell / 2) - Q_{m1} \quad / \quad x = [0, \ell / 2]$$

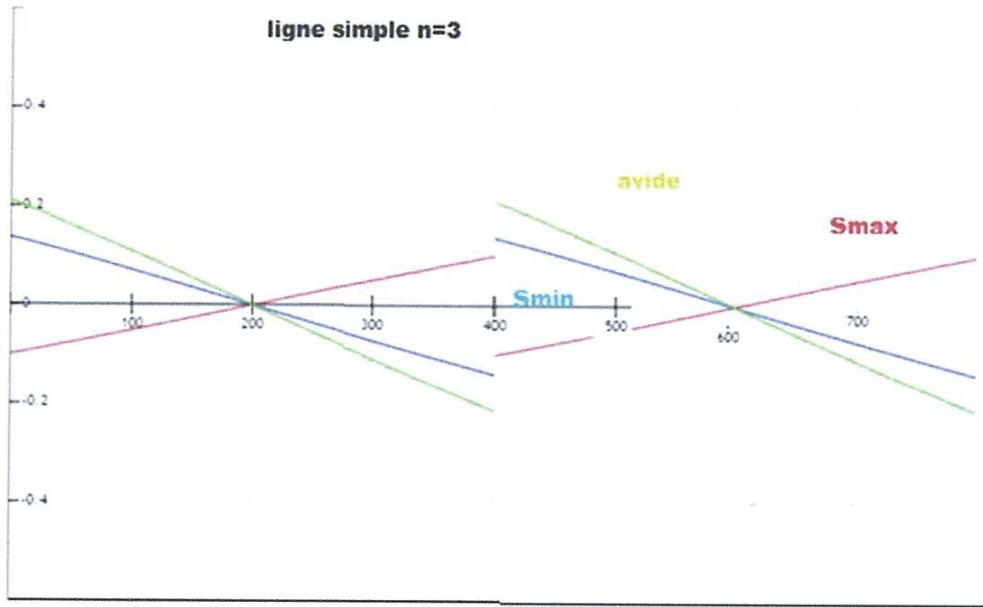
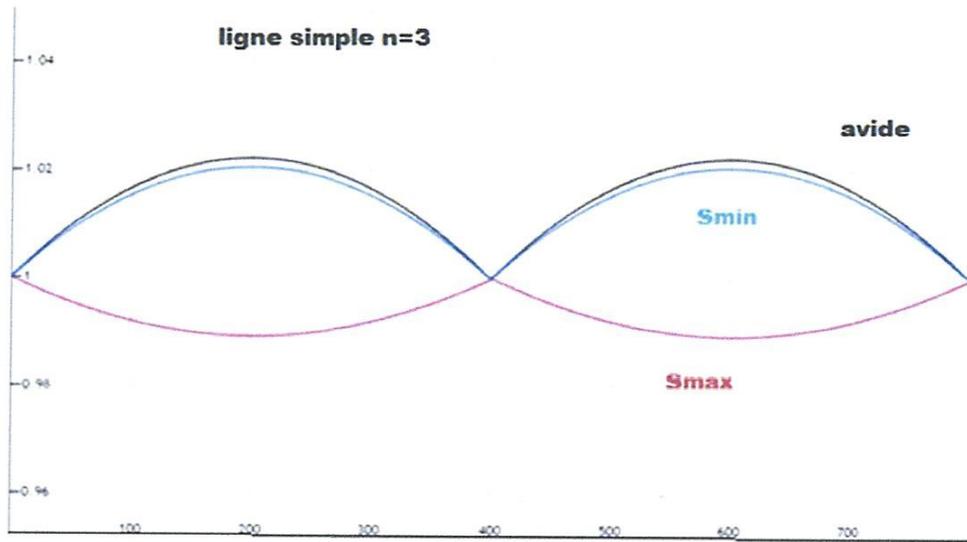
La distribution de de tension

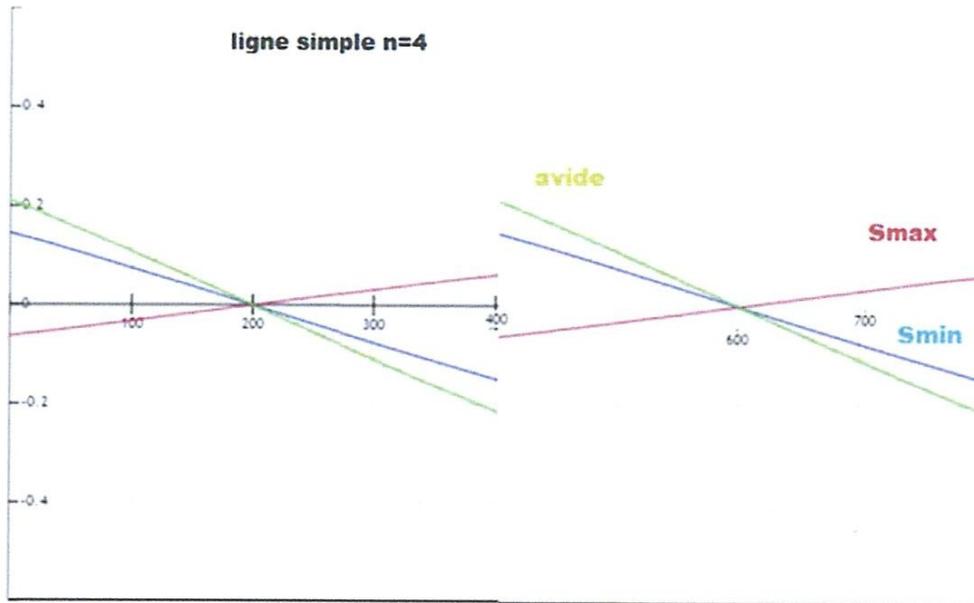
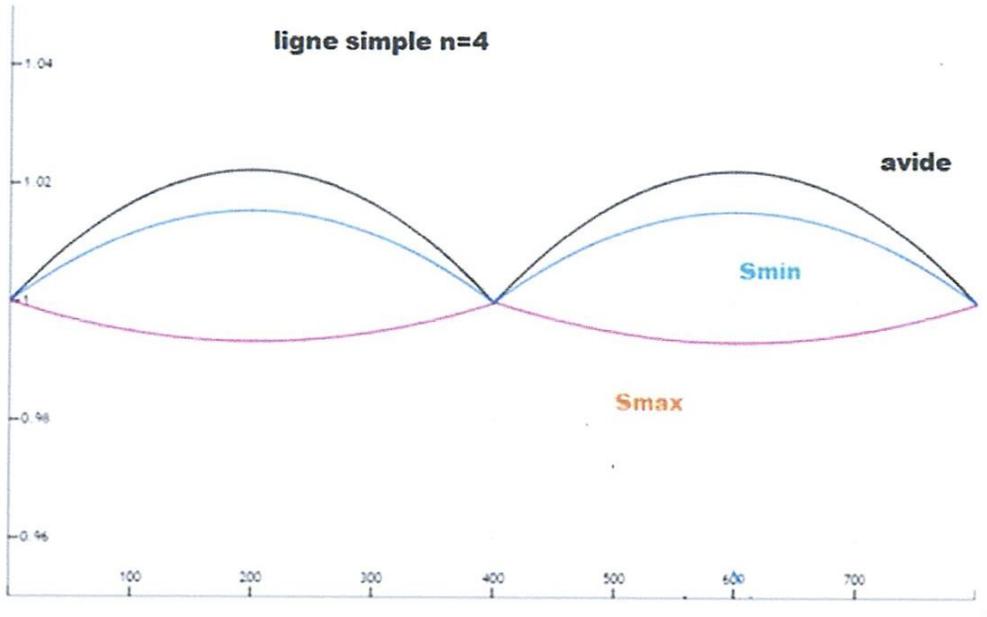
$$U_{(x)} = \cos(\alpha_0 \ell / 2) + Q_{m1} \sin(\alpha_0 \ell / 2) + j P_2 \sin(\alpha_0 \ell / 2) \quad / \quad x = [0, \ell / 2]$$

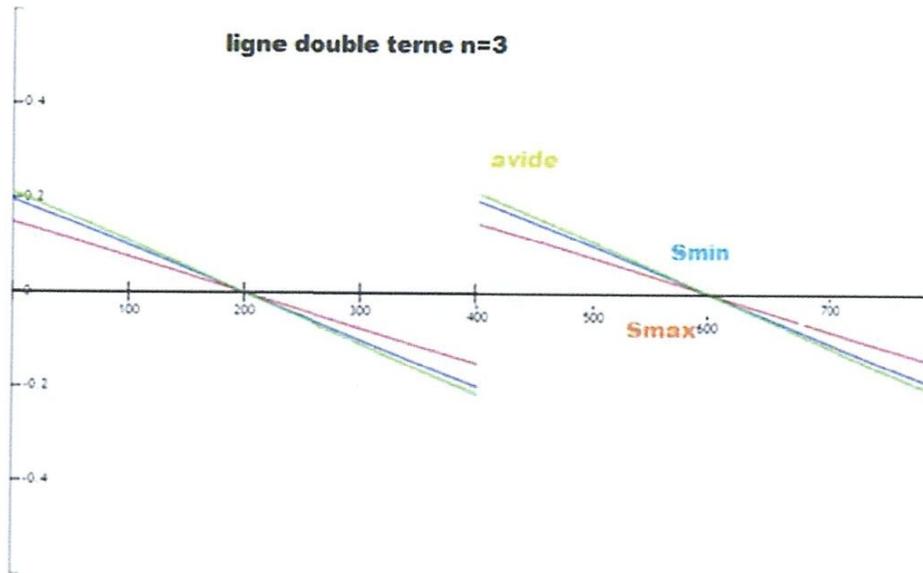
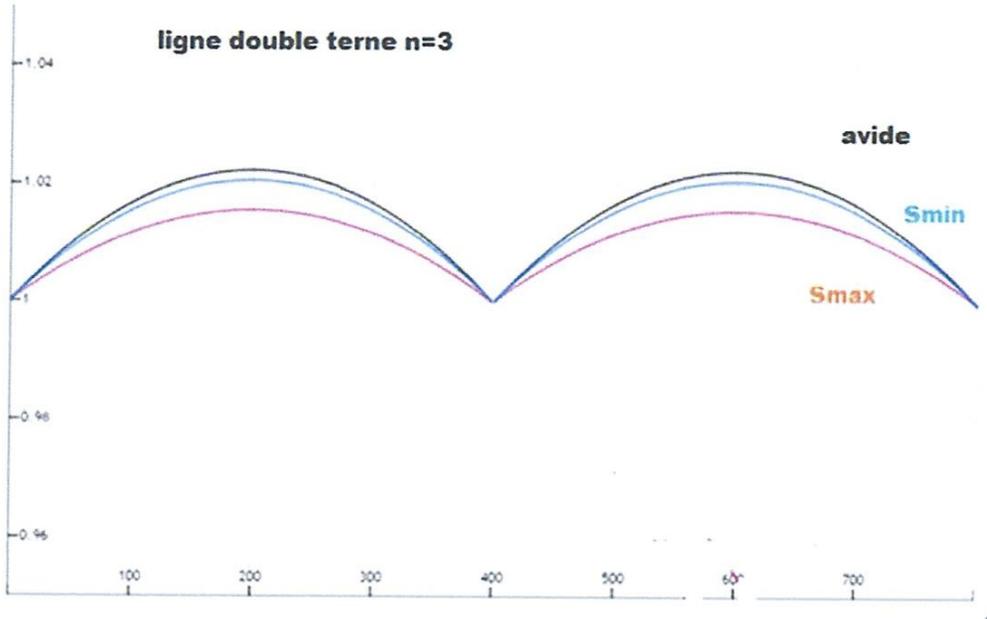
$$Q_1 = Q_{m2}$$

Tableau II.6. Les valeurs de calcul selon les déferant régime

| | | S_{max} | | | | S_{min} | | | |
|---------------------|-------|---------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| | | ligne simple | | ligne double terne | | ligne simple | | ligne double terne | |
| avide | | $n=3$ | $n=4$ | $n=3$ | $n=4$ | $n=3$ | $n=4$ | $n=3$ | $n=4$ |
| S | 0 | 1.2 $j1.5$ | 1.13 $j1.41$ | 0.56 $j0.7$ | 0.52 $j0.66$ | 0.6 $j0.5$ | 0.56 $j0.47$ | 0.28 $j0.24$ | 0.26 $j0.22$ |
| $Q_2 =$ Q_{m1} | 0.21 | -0.100 | -0.063 | 0.1474 | 0.1565 | 0.1377 | 0.1463 | 0.1961 | 0.1979 |
| Q_{m2} $= Q_1$ | -0.21 | 0.01 | 0.0622 | -0.148 | -0.157 | -0.138 | -0.147 | -0.197 | -0.198 |
| Q_{c2} | -0.21 | 1.6 | 1.473 | 0.552 | 0.503 | 0.362 | 0.323 | 0.0439 | 0.022 |
| Q_{cm} | -0.42 | 0.20 | 0.125 | -0.298 | -0.313 | -0.276 | -0.293 | -0.393 | -0.396 |







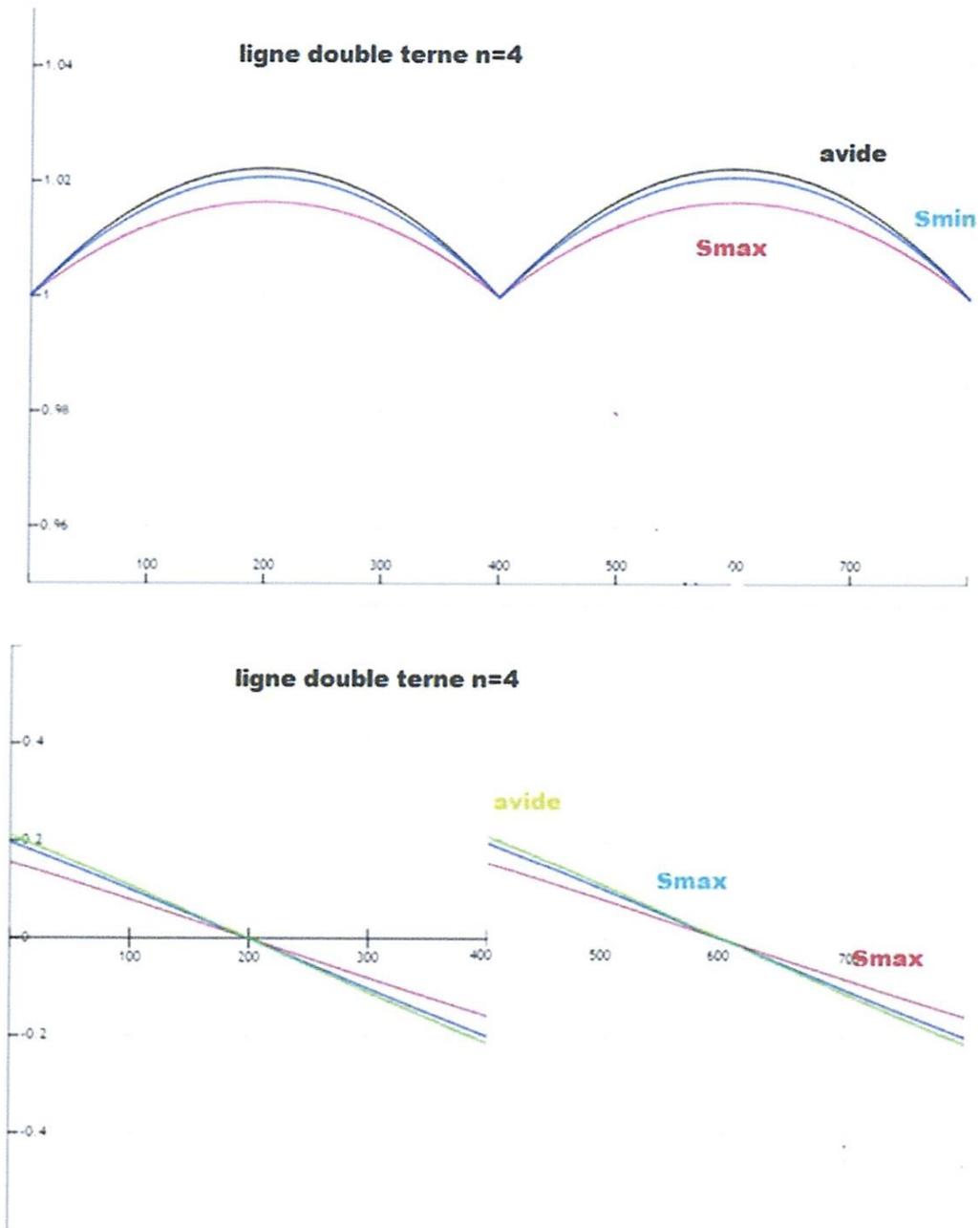


Figure II.8. Distribution de la tension et puissance réactive le long de la ligne avec compensation au milieu de la ligne.

1.2.2.2. Compensation série

1.2.2.3. Installation des compensateurs au milieu de la ligne.

Il ya deux méthodes pour réaliser l'augmentation de la limite maximale de la puissance transféré de la ligne la première méthode est d'augmenter les tension de transmission, elle mènera à un effet d'accumulation des augmentation de coût dans le générateur, la réduction de la l'impédance caractéristique de la ligne peut être réalisé en chargeant les dimensions de la linge ne peuvent pas être chargé et elle crée seulement un petit impact sur la valeur d'impédance caractéristique. Par conséquent, l'addition des condensateurs en série avec la ligne également connue sur le nom de compensation série est la meilleur méthode disponible pour réduire. L'impédance caractéristique de la ligne.

Un inconvénient principal avec la compensation de condensateur en série est que des dispositifs protecteur spéciaux sont exigés pour protéger les conducteur et pour évite le courant élevé produit quand un court circuit se produit.

En outre l'inclusion du condensateur en série établit, un circuit résonant qui peut osciller.

a/Quadripôle:

Pour une ligne de transmission de 300 km et plus on doit tenir compte d'effet de distribution des paramètres de la ligne dans ce modèle Cette effet est contenue dans celui des constantes [A.B.C.D] du quadripôle représenté par la figure II.7.

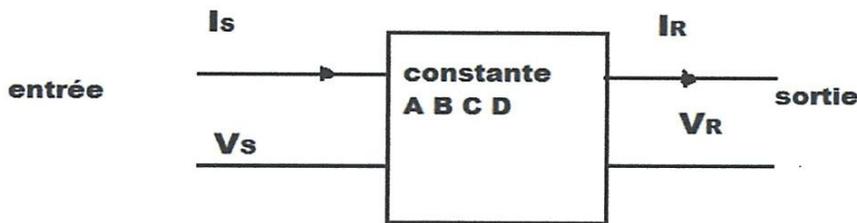


Figure II.9. Quadripôle

Fig. II.9 représentation de modèle de la ligne par quadripôle.

Les réalisations entre les paramètres d'entrée et de sortie s'expriment comme suite.

$$U_s = A U_r + \sqrt{3} B I_r$$

$$I_s = \frac{C}{\sqrt{3}} + D I_r$$

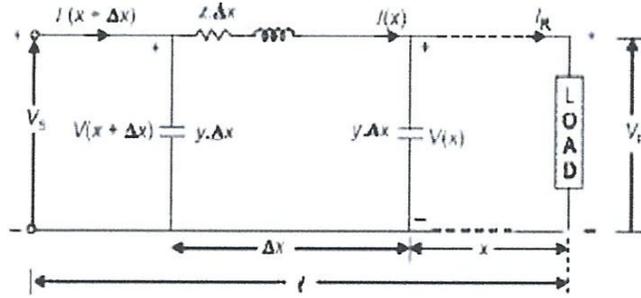


Figure II.10. Modèle cde paramètre distribué d'une ligne longue.

La réalisations entre les paramètres du régime d'entrée et des sorties s'exprime également par le modèle mathématique

$$U_s = U_r \cosh(\gamma_0 \ell) + \sqrt{3} I_r Z_c \sinh(\gamma_0 \ell)$$

$$I_s = \frac{U_r}{\sqrt{3} Z_c} \sinh(\gamma_0 \ell) + I_r Z_c \cosh(\gamma_0 \ell)$$

En comparant le modèle mathématique a celui des quadripôles, en déduit par indentification les constantes:

$$A = D = \cosh(\gamma_0 \ell)$$

$$B = Z_c \sinh(\gamma_0 \ell)$$

$$C = \frac{1}{Z_c} \sinh(\gamma_0 \ell)$$

Pour une ligne sans pertes.

$$A = D = \cos(\alpha_0 \ell)$$

$$B = Z_c \sin(\alpha_0 \ell)$$

$$C = \frac{1}{Z_c} \sin(\alpha_0 \ell)$$

b/Insertion d'un compensateur:

Après installation d'un compensateur série le modèle être représenté par trois quadripôle comme suite:

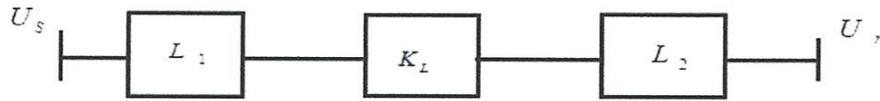
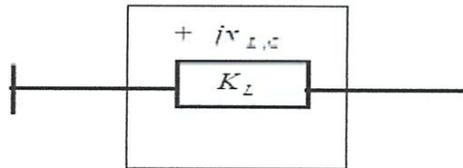


Figure II.11. Model en série de compensateur

Pour la matrice k_1 :



$$L_1 = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_0 \ell_1) & j Z_c \sin(\alpha_0 \ell_1) \\ j \frac{1}{Z_c \sin(\alpha_0 \ell_1)} & j \cos(\alpha_0 \ell_1) \end{bmatrix}$$

$$L_2 = \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_0 \ell_2) & j Z_c \sin(\alpha_0 \ell_2) \\ j \frac{1}{Z_c \sin(\alpha_0 \ell_2)} & j \cos(\alpha_0 \ell_2) \end{bmatrix}$$

$$K_L = \begin{bmatrix} A_L & B_L \\ C_L & B_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \pm j X_{L,C} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- ❖ K_c la matrice de compensation série.
- ❖ $K_{L1} L_{2son}$ la matrice de deux tronçons de la ligne séparée par un branchement longitudinale

ou transversal de la compensation Dans le cas. $\ell_1 = \ell_2 = \frac{\ell}{2}$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & B_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & \pm j X_{L,C} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & B_2 \end{bmatrix}$$

Le produit des trois matrices donne les paramètres ABCD suite :

$$A = D = A_1 A_2 - j A_1 C_2 X_c + B_1 C_1$$

$$B = A_1 B_2 - j A_1 D_2 X_c + B_1 D_2$$

$$C = C_1 A_2 - j C_1 C_2 X_c + D_1 C_2$$

Pour une ligne sans perte ces derniers deviennent :

$$A = D = \cos(\alpha_0 \ell) + \frac{X_c}{2 Z_c} \sin(\alpha_0 \ell)$$

$$B = j \left(Z_c \sin(\alpha_0 \ell) - X_c \cos^2\left(\frac{\alpha_0 \ell}{2}\right) \right)$$

$$C = j \frac{1}{Z_c} \left(\sin(\alpha_0 \ell) - \frac{X_c}{Z_c} \sin^2\left(\frac{\alpha_0 \ell}{2}\right) \right)$$

Avec

$$A^* = \cos(\alpha_0 \ell) + X_c^* \sin(\alpha_0 \ell)$$

$$B^* = j \left(\sin(\alpha_0 \ell) - X_c^* \cos^2\left(\frac{\alpha_0 \ell}{2}\right) \right)$$

c. Analyse de régime :

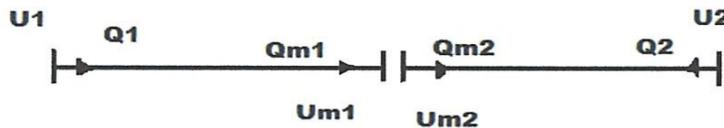


Figure II 13.Schéma d'analyse

$$U_\ell = A + Q_2 B + j P_2 B$$

D'après l'équation on trouve.

$$Q_2 = -\frac{A^*}{B^*} + \sqrt{\frac{k_u^2}{B^2} - P_2^2}$$

Pour $K_u = 1$ en peut calculée la variation de Q_2 .

1^{er} tronçon :

La distribution de la tension sur la tronçon est directement calculée par l'équation

$$U_\ell = A + Q_2 B + j P_2 B \text{ et les grandeur au début de ce tronçons sont :}$$

$$U_m^* = K_m^* = A_1^* + Q_2^* B_1^* + j P_2^* B_2^*$$

$$Q_m^* = (K_m^2 - 1) \frac{A_1^*}{B_1^*} - Q_2^*$$

2^{eme} tronçon :

La chute de tension avec au borne de la batterie est :

$$\Delta U = -j X_c^* I_m^* = -j X_c^* \left(\frac{P - jQ_{m2}}{U_{m2}} \right)$$

$$\text{Sachant que } X_c^* = \frac{X_c}{Z_c}$$

Et que les tronçons est les puissances sont rapportés respectivement a U_2 et P dans la tension U_{m1} a la sortie de ce deuxième tronçon :

$$U_{m1} = U_{m2} + \Delta U$$

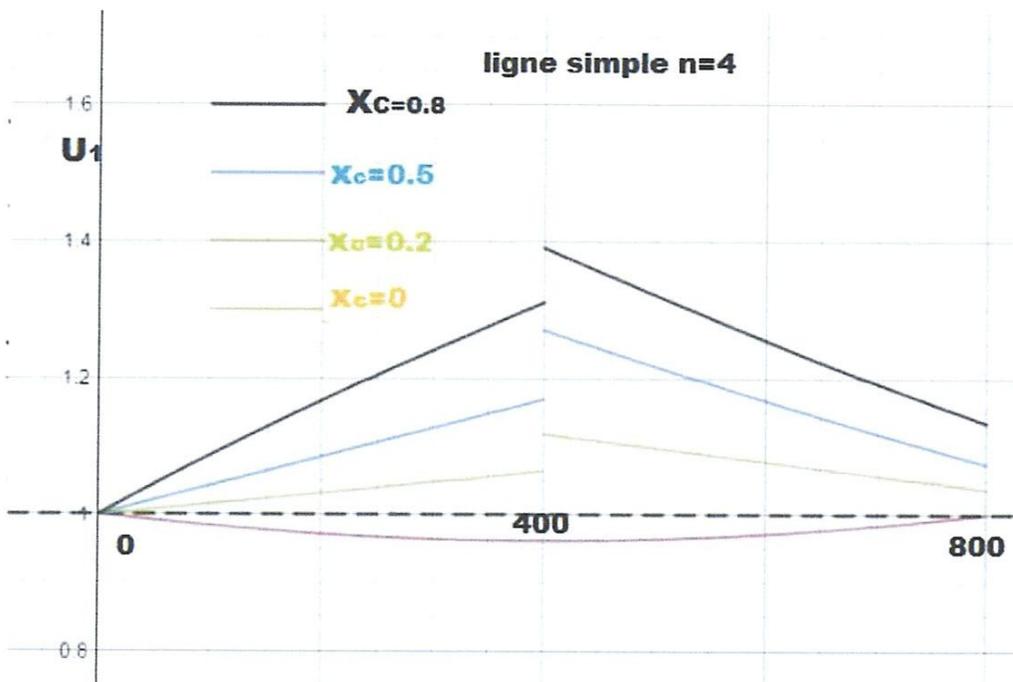
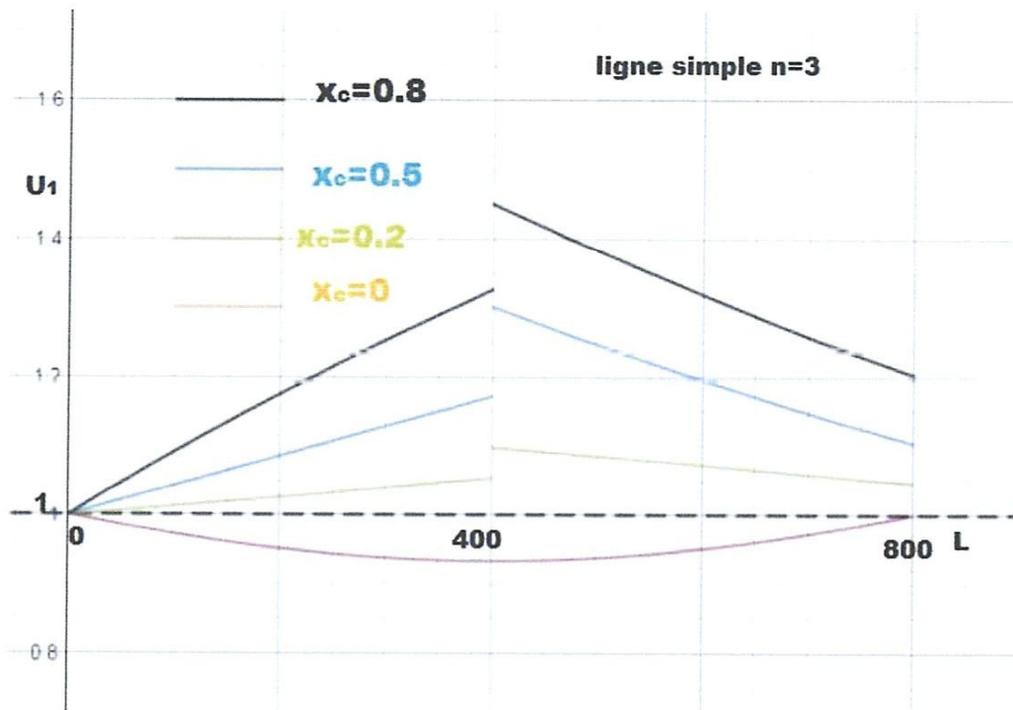
$$Q_c = Q_{m2} - X_c^* \frac{P_m^2 + Q_{m2}^2}{K_m^2}$$

Ainsi il sera possible de calculer la distribution de la tension de ce tronçon par l'équation

$$U_\ell = A + Q_2 B + j P_2 B$$

Tableau II.7. Les paramètres de la ligne au fonction de X_c^* (compensation série) pour régime *max*

| | Ligne simple | | | | Ligne double terre | | | |
|----------------|--------------|--------|---------|---------|--------------------|--------|--------|--------|
| X_c^* | 0 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0 | 0.2 | 0.5 | 0.8 |
| A^* | 0.663 | 0.743 | 0.854 | 0.966 | 0.669 | 0.743 | 0.855 | 0.966 |
| B^* | 0.743 | 0.653 | 0.519 | 0.385 | 0.743 | 0.653 | 0.519 | 0.385 |
| $n = 3$ | | | | | | | | |
| Q_2 | -0.119 | -0.069 | -0.062 | -0.155 | 0.218 | 0.197 | 0.128 | -0.022 |
| $k_m = U_{m2}$ | 0.993 | 1.01 | 1.013 | 0.98 | 1.027 | 1.018 | 0.992 | 0.932 |
| Q_{m2} | 0.089 | 0.118 | 0.123 | 0.068 | -0.091 | -0.108 | -0.163 | -0.270 |
| U_{m1} | 0.993 | 0.897 | 0.833 | 0.933 | 1.02 | 1.021 | 1.049 | 1.163 |
| Q_{m1} | 0.08 | 0.403 | 0.831 | 1.27 | -0.091 | -0.046 | 0.009 | 0.085 |
| Q_c | 0 | 0.284 | 0.708 | 1.2 | 0 | 0.062 | 0.172 | 0.355 |
| U_1 | 1.06 | 1.06 | 1.12 | 1.41 | 0.93 | 0.943 | 0.991 | 1.13 |
| $n = 4$ | | | | | | | | |
| Q_2 | -0.075 | -0.037 | -0.0400 | -0.1400 | 0.235 | 0.219 | 0.1393 | -0.014 |
| $k_m = U_{m2}$ | 0.995 | 1.009 | 1.008 | 0.972 | 1.031 | 1.02 | 0.992 | 0.931 |
| Q_{m2} | 0.054 | 0.078 | 0.076 | 0.016 | -0.092 | -0.11 | -0.170 | -0.280 |
| U_{m1} | 0.995 | 0.913 | 0.865 | 0.965 | 1.031 | 1.027 | 1.057 | 1.172 |
| Q_{m1} | 0.04 | 0.332 | 0.707 | 1.09 | 0.092 | -0.05 | -0.108 | 0.041 |
| Q_c | 0 | 0.252 | 0.631 | 1.08 | 0 | 0.054 | 0.151 | 0.321 |
| U_1 | 1.03 | 1.045 | 1.12 | 1.38 | 0.929 | 0.939 | 0.983 | 1.118 |



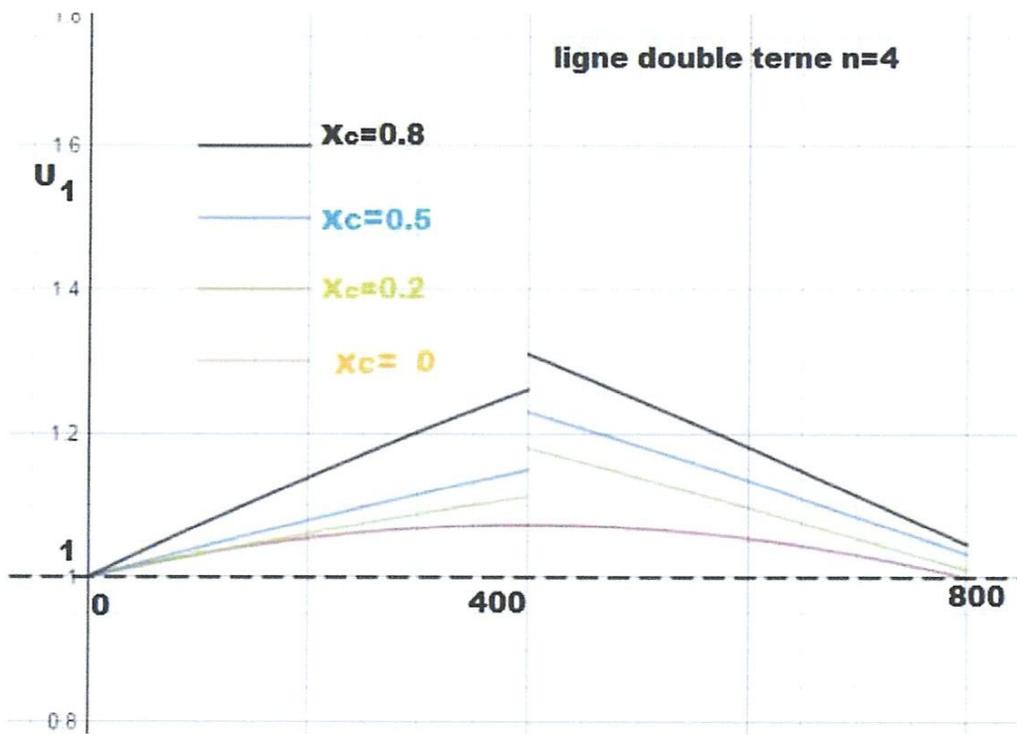
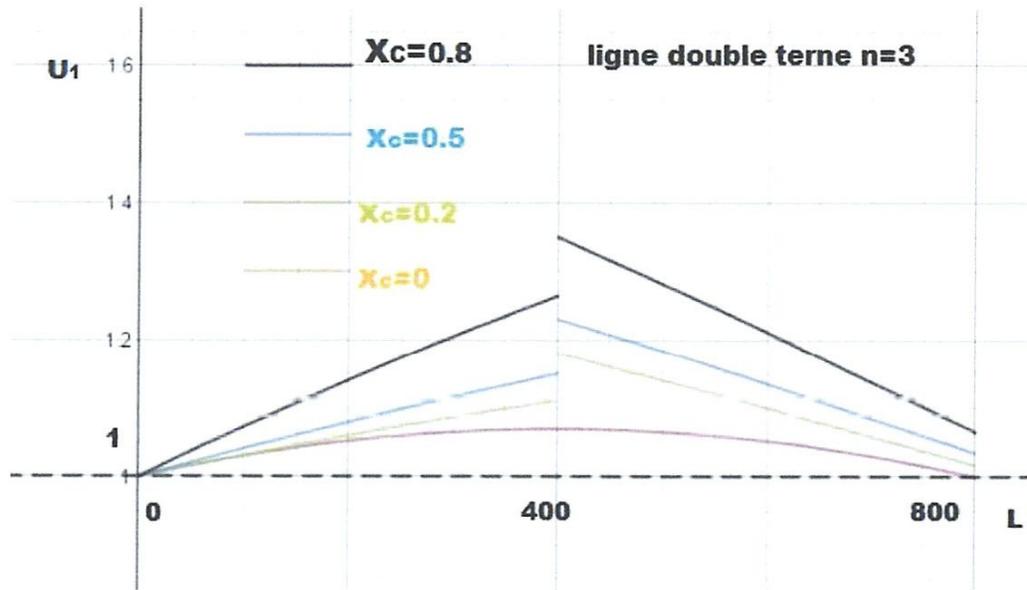
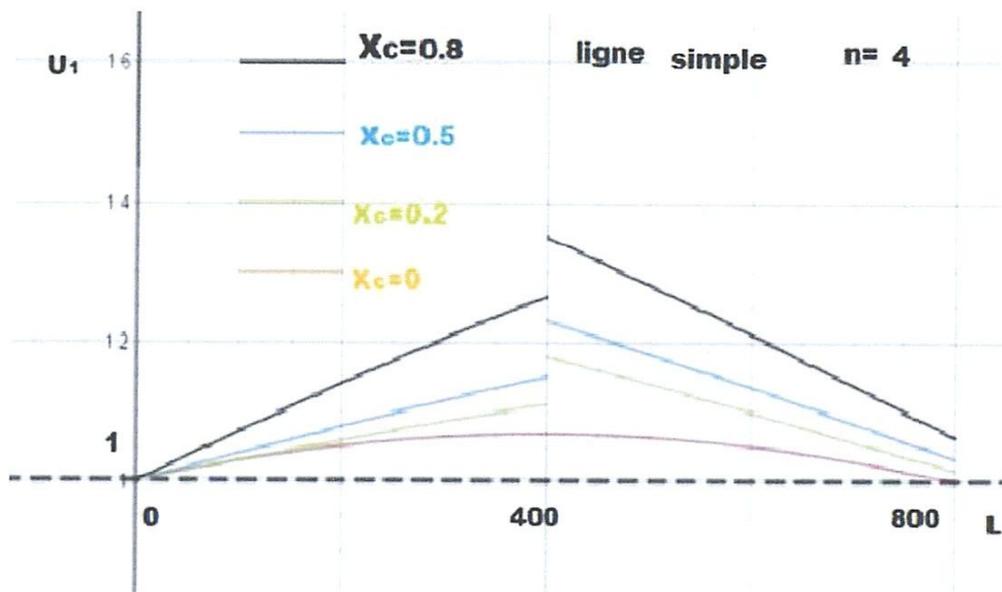
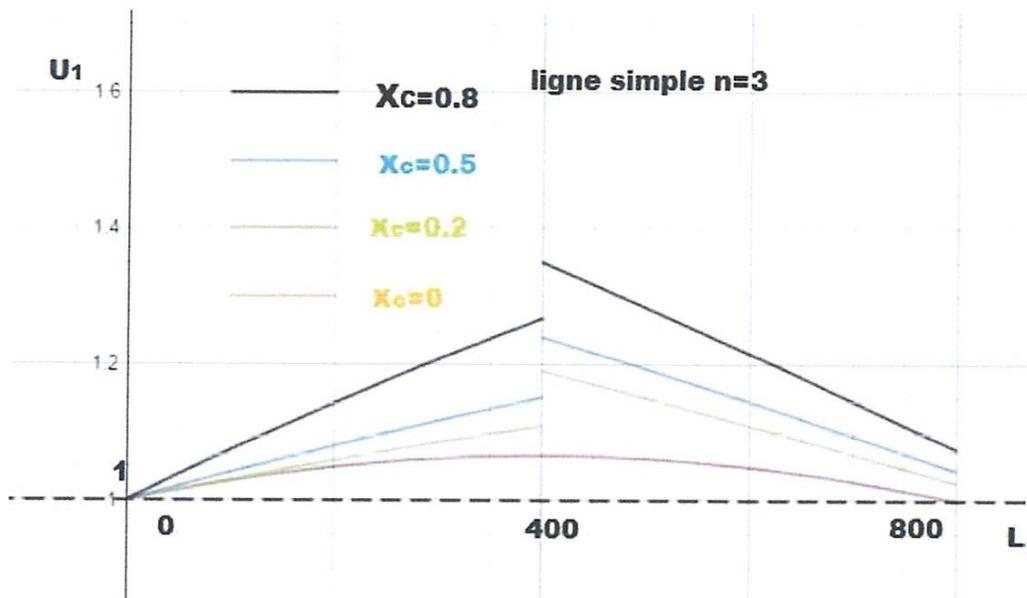


Figure II.14. Distribution de la tension de long de la ligne avec compensation on régime maximal

Tableau .8. Les paramètre de la ligne au fonction de X_c^* (compensation série) pour régime
min

| | Ligne simple | | | | Ligne double terne | | | |
|----------------|--------------|-------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|
| X_c^* | 0 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0 | 0.2 | 0.5 | 0.8 |
| A^* | 0.669 | 0.743 | 0.854 | 0.966 | 0.669 | 0.743 | 0.854 | 0.966 |
| B^* | 0.743 | 0.653 | 0.519 | 0.385 | 0.743 | 0.653 | 0.519 | 0.385 |
| $n = 3$ | | | | | | | | |
| Q_2 | 0.199 | 0.182 | 0.116 | -0.030 | 0.336 | 0.298 | 0.205 | 0.032 |
| $k_m = U_{m2}$ | 1.092 | 1.017 | 0.991 | 0.933 | 1.056 | 1.041 | 1.003 | 0.933 |
| Q_{m2} | -0.08 | -0.10 | -0.154 | -0.258 | -0.074 | -0.109 | -0.189 | -0.32 |
| U_{m1} | 1.024 | 1.015 | 1.040 | 1.15 | 1.056 | 1.057 | 1.091 | 1.207 |
| Q_{m1} | -0.08 | -0.03 | 0.040 | 0.13 | -0.074 | -0.094 | -0.132 | -0.142 |
| Q_c | 0 | 0.071 | 0.195 | 0.39 | 0 | 0.016 | 0.0567 | 0.165 |
| U_1 | 0.932 | 0.947 | 1.00 | 1.15 | 0.94 | 0.933 | 0.946 | 1.036 |
| $n = 4$ | | | | | | | | |
| Q_2 | 0.218 | 0.197 | 0.128 | -0.022 | 0.343 | 0.303 | 0.209 | 0.036 |
| $k_m = U_{m2}$ | 1.02 | 1.019 | 0.992 | 0.935 | 1.042 | 1.042 | 1.004 | 0.934 |
| Q_{m2} | -0.09 | -0.10 | -0.163 | -0.27 | -0.722 | -0.15 | -0.189 | -0.321 |
| U_{m1} | 1.02 | 1.021 | 1.094 | 1.163 | 1.058 | 1.051 | 1.092 | 1.209 |
| Q_{m1} | -0.09 | -0.04 | 0.096 | 0.085 | -0.072 | -0.09 | -0.136 | -0.162 |
| Q_c | 0 | 0.062 | 0.17 | 0.355 | 0 | 0.015 | 0.023 | 0.158 |
| U_1 | 0.93 | 0.94 | 0.99 | 1.13 | 0.94 | 0.93 | 0.945 | 1.032 |



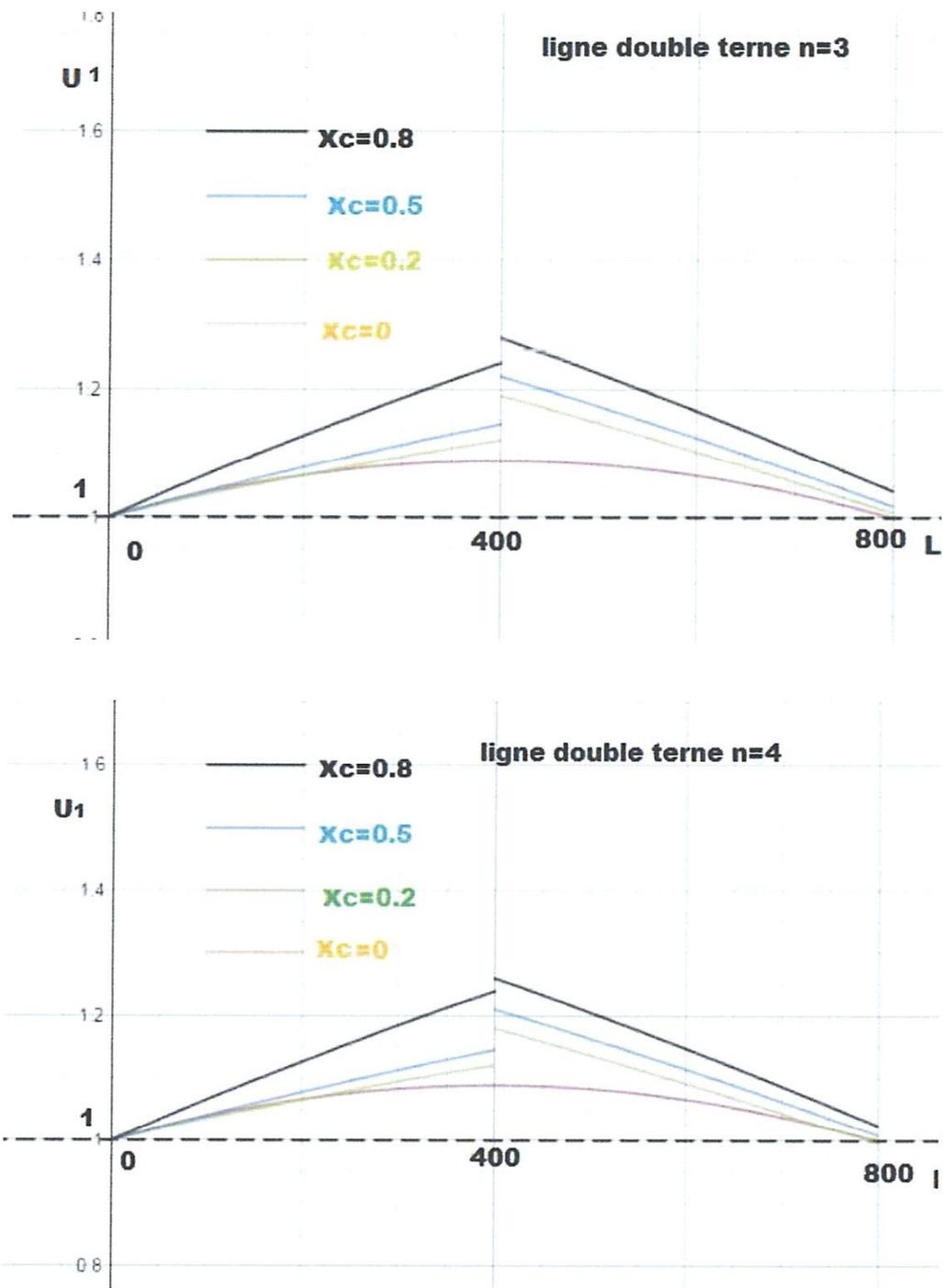


Figure. II .15.Distribution de la tension de long de la ligne avec compensation série on régime minimal

1.3. Conclusion :

L'effet de compensation shunt est plus important, si on a une grande puissance. (Supérieur à la puissance naturelle).

* Pour les lignes à grandes longueurs.

La compensation série serait plus effective si on distribue les batteries le long de la ligne.

* Pour le transport à grande distance (plus de chute de tension) l'installation d'une compensation shunt au milieu ne suffit pas on doit adjoindre une compensation à l'extrémité de la ligne.

CHAPITRE

- III -

**Les moyens
de compensation**

Les moyens de compensation

Introduction

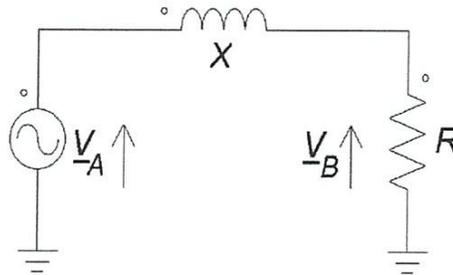
Les limites actuelle des réseaux de transport de l'électricité peuvent être repoussés par l'ajout de nouvelles capacités de transport et /ou production. Cependant les exploitants de réseaux cherchent des moyens pour utiliser plus efficacement les lignes de transport existant, cela nécessite ;

- * d'améliorer le régime permanent des lignes longues, en autorisant des flux d'énergie beaucoup plus importants que leurs imposés par la sculc limite de stabilité.
- * d'améliorer dans les réseaux fortement maillée, les flux d'énergie imposés par les charges, les flux naturel résultant des impédances de ligne n'est pas forcément celui qui minimise les pertes.
- * le control de tension permit d'augmenté la capacité de transport de la ligne.

L'angle de transport maximum imposé par la stabilité du réseau, constitues la restriction majeur qui empêche de transportes la puissance qui laisse envisager la limite thermique des lignes.

La modification de l'impédance est contrôlée, on pourra régler les impédances de ligne et ainsi imposé le flux d'énergie dans les réseaux maillée.

Pour une ligne inductive alimentant une charge résistive.



$$P_b = V_b \cdot I = P_a \text{ et } I = \frac{V_A}{X} \cdot \sin \delta$$

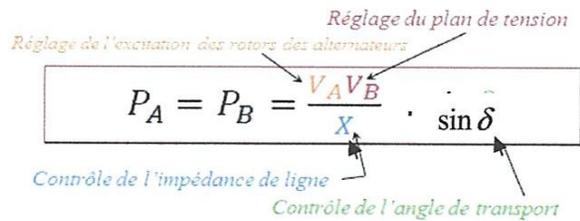


Figure III-1-schema de principe réglage et contrôle

V_A : Réglage de l'excitation des rotors des alternateurs

V_b : Réglage du plan de tension.

X : Contrôle de l'impédance de ligne.

δ : Contrôle de l'angle de transport.

Le réglage du plan de tension est assuré par des composteurs de puissance réactive placée en différents point du réseau. Ce sont des compensateurs parallèles.

* se sont des transformateurs déphaseurs qui maintiennent l'angle de transport dans la plage de stabilité.

* le contrôle de l'impédance de ligne est effectué par des compensateurs série parmi les compensateur, on trouve de nouveaux systèmes adaptatifs, appelés FACTS (flexible AC transmission système) associant des condensateurs des bobines et des composants d'électronique de puissance, en plus d'assures le contrôle comme le font les structures classique, leur temps de réponse très court leur permet d'améliorer les régimes dynamique qui suivent suite a des défauts sur les réseaux.

1. Les compensateurs : parallèles

Les compensateurs parallèles permettent de contrôle de la tension en un point du réseau grâce a l'injection de la puissance réactive (La problématique du gestionnaire de réseaux) les compensateurs sont connectes entre phase et terre).

Il en existe de plusieurs types :

* compensateur synchrone.

* compensateurs.

* compensateur statique de puissance réactive (CSPR) de la famille des FACTS.

1.1. Les compensateurs synchrones :

Les compensateur synchrones sont des moteurs synchrones tournant a vide dont l'excitation est réglée pour fournir ou absorber la puissance réactive qui permet par son transit, en un point du réseau d'ajustes la tension de ce point.

Avec les performances dynamiques qui exige un haut niveau de sûreté du réseau les compensateurs synchrones sont des moyens d'actions privilégiés.

Les compensateurs synchrones ont toutefois conservé un rôle important dans les pays à ligne longues et peu maillées ou ; en plus d'un programme d'échange d'énergie réactive, ils assurent le maintien de la stabilité dynamique. Par leurs caractéristiques mieux adaptées à ce rôle que celles des condensateurs (inertie, réactance transitoire faible, régulation rapide d'excitation).

Ils sont utilisés aux États-Unis, au Canada, en Russie et au Brésil où ils ont atteint vers 1975 environ 10 % de la puissance apparente du réseau, mais même dans les pays, ils sont progressivement supplantés par les compensateurs statiques.

1.1.2. Les compensateurs actionnés par disjoncteurs.

MSC : Mechanically Switched Condensator.

1.1.2.1. Condensateur unique.

Le condensateur est manœuvré par un disjoncteur.

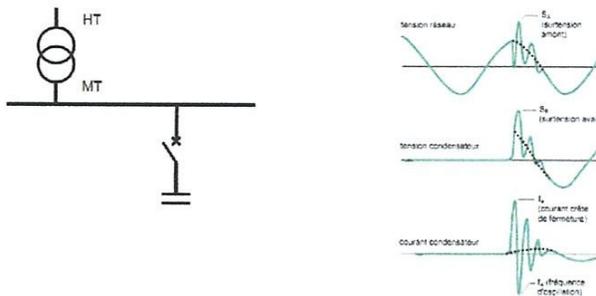


Figure III.2. . Condensateur unique.

- L'architecture est simple
- il y a des phénomènes transitoires à la mise sous tension.
- la puissance réactive injectée est nul ou maximale.
- afin de limiter les surtensions, il faut respecter un temps de 5 minutes entre deux manœuvres.

Une première amélioration consiste à fractionner le condensateur en gradins.

1.1.2.2. Gradins de condensateurs.

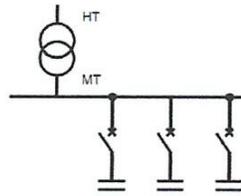


Figure III.3. Gradins de condensateurs capacitifs

La multiplication en gradins parallèles amortie les surtensions et amplifie les surintensités, puisque donc ce vas la réactance capacitive sommaire diminue.

On diminue les surdensités en plaçant des inductances séries.

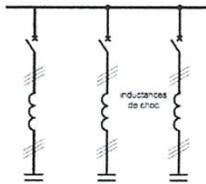


Figure III.3. Gradins de condensateur inductif

1.1.2.3. Compensateur statique de puissance réactive.

1.1.2.4. SVR : Static var compensator.

On arrive a lors a la structure suivante :

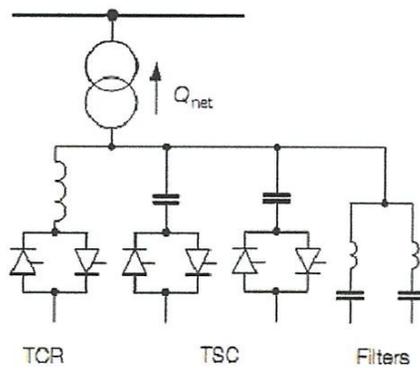


Figure III.4. Schéma de principe de SVR

Chaque branche du TSC permet d'injecter la puissance réactive Q_c le TCR absorbe la puissance Q_L ajustable de $Q_{L\max}$ ($= - Q_c$) à 0.

Ainsi on peut ajuster graduellement la puissance réactive injectée de $0,2 Q_c$.

De plus, lorsque les TSC sont déclenchés et en commandant simplement le TCR, le compensateur absorbe de la puissance réactive ; cela permet lorsque le réseau est peu chargé d'éviter les remontées en tension sur les lignes.

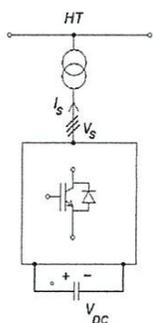
Pour piloter le SVC le gestionnaire de réseau envoie une tension de consigne. Classiquement la puissance réactive injectée par SVC est réglable de -100 Mvar à +200 Mvar.

Grâce au temps de réponse très faible, le SVC améliore les régimes transitoires des lignes en cas de court-circuit, de réjection de charges.

1.2. Compensateur synchrone statique.

1.2.1. STATCOM : Static synchronous compensator.

Le STATCOM est composé d'une source d'énergie continue, ou d'un condensateur associé à un convertisseur statique à base de semi-conducteurs du type IGBT. Ce rôle du convertisseur est de maintenir le courant de sortie I_s en quadrature avec V_s .



- + injection de puissance réactive ($V_s < V_{UT}$)
- + absorption de puissance réactive ($V_s > V_{UT}$).
- + Filtrage active d'harmonique $I_s = I_{q-} I_{2-} I_{3-} I_{4-} I_{5-} \dots I_M$.
- + L'architecture est simple.
- l'impédance de ligne n'est pas réglable.

Figure III.5. STATCOM

Les condensateurs de capacité ajustable permettant le réglage de l'impédance de ligne.

1.2.2. Condensateurs commutés par thyristors.

a. TSC : thyristor Switched Capacitor.

Le condensateur n'est pas commandé en phase mais simplement enclenché et déclenché un nombre entier de $\frac{1}{2}$ périodes.

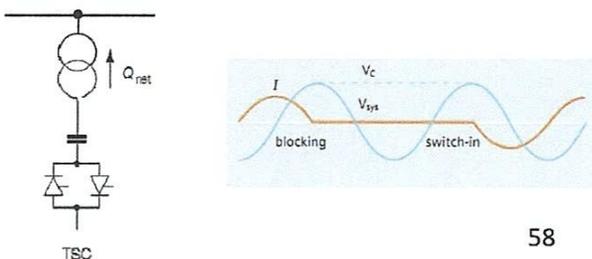


Figure III.6. Schéma de TSC

- + Grâce à la précision de réglage de l'instant de mise en conduction de thyristors, la plupart des phénomènes transitoires sont supprimés.
- + on peut actionner le dispositif un grand nombre de fois par jour.
- La puissance réactive injectée n'est pas modulable en va moduler la puissance réactive du dispositif grâce a une inductance réglable.

Cette inductance réglable est du type avec noyau dans l'air est commandé un phase par deux thyristors tête bêche.

b.TCR : Thyristor Controlled Reactor.

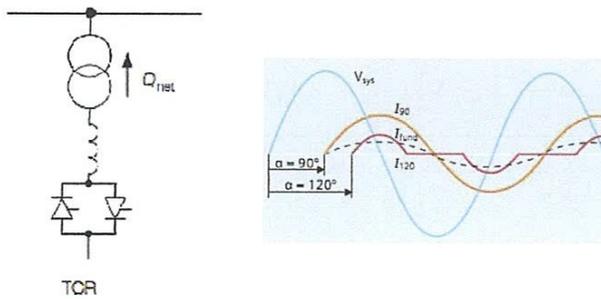


Figure III .7.schéma de TCR

- + il n ya pas de phénomènes transitoires a la mise sous tension.
- + la puissance absorbée peut être ajustée de $Q_{l\max}$ a 0 en réglant (α).
- pour les angles supérieurs a 90° ce dispositif génère des harmonique.

* on ajoute des filtres harmoniques.

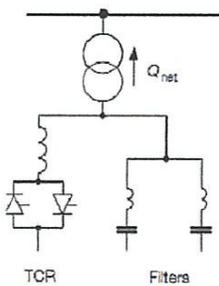


Figure III.8.avec des filtres harmoniques

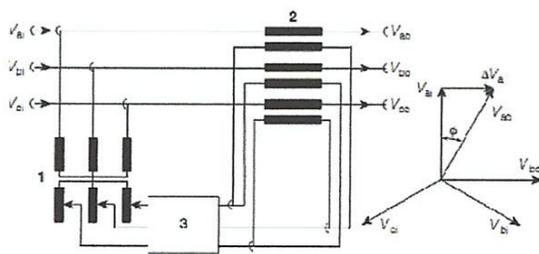
- + Équilibrage dynamique des charge (lorsque la charge triphasée de la ligne est déséquilibrée).

- + stabilisation dynamique de la tension ou point de raccordement.
- + atténuation des oscillations de puissance.

1.2.3. Les transformateurs déphaseurs.

PST : Phase Shifting Transformer.

Ils agissent sur l'angle de transport δ , c'est l'amplitude et la direction de flux de puissance qui peuvent être réglés. le déphasage. S'obtient par extraction d'une partie de la tension simple injectée sur une autre phase la structure de transformation est représentée comme suit



Déphaseur avec injection de tension perpendiculaire



- 1 Transformateur de magnétisation ϕ Déphasage
- 2 Transformateur série
- 3 Réseau de commutation

Figure III.9 transformateur déphaseur

Le réseau de commutation permet de sélectionner différentes configurations de report des tensions simples. Des cellules à thyristors y supplantent les systèmes de prises mécaniques.

2. les compensateurs séries

Les compensateurs série permettent de modifier l'impédance de ligne.

a. Condensateur série.

En abaissant l'impédance de la ligne on étend la zone de fonction stable et on accroît capacités de transport.

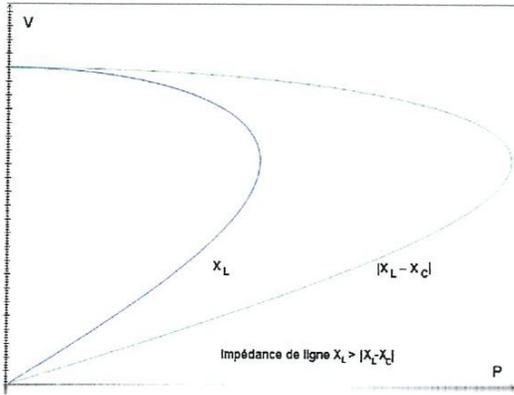


Figure III 10

Les plus connus sont les compensateurs séries a base de thyristor.

b. TCSC : [compensateur série contrôlé par thyristor.]

En déviant du courant I_c qui traverse le condensateur une partie I_v dans la bobine commandée par des thyristors on obtient un condensateur de capacité réglable $x_c = \frac{U_c}{I_L}$ la structure est la suivante.

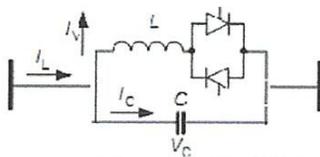


Figure III 11 TCSC

- l'impudence de la ligne est réglable.
- On peut répartir les flux de puissance entre les lignes des réseaux maillée afin d'y minimiser les pertes.
- * TSSR [thyristor switched série réactor].
- * TSSC [thyristor switched série capacitor].
- * TCSR [thyristor controlled série reactor].

3. Compensateur hybrides série – parallèle.

Les Compensateur hybrides à base de thyristors les plus fréquents

- * TCPAR (thyristor cotrolled phase angle regulator).

- * IPFC (interline power flow Controller).
- * UPFC unified power Controller (UPFC).

En principe, le variateur de charge universel (UPFC) possède à la fois la fonctionnalité des autres compensateurs, FACTS (parallèle, série et déphaseur) à savoir le réglage de la tension, le flux de puissance.

L'atténuation des oscillations de puissance et améliorations de la stabilité. L'originalité de ce dispositif est de pouvoir contrôler les trois paramètres associés au transit de puissance dans une ligne électrique à savoir, la tension, l'impédance de la ligne, le déphasage des tensions aux extrémités de la ligne ou il est instable. La configuration de l'UPFC comprend un compensateur shunt STATCOM et un compensateur série [SSSC] les deux compensateurs sont interconnectés avec un jeu de barres de tension continue V_{dc} comme le montre la figure suivant.

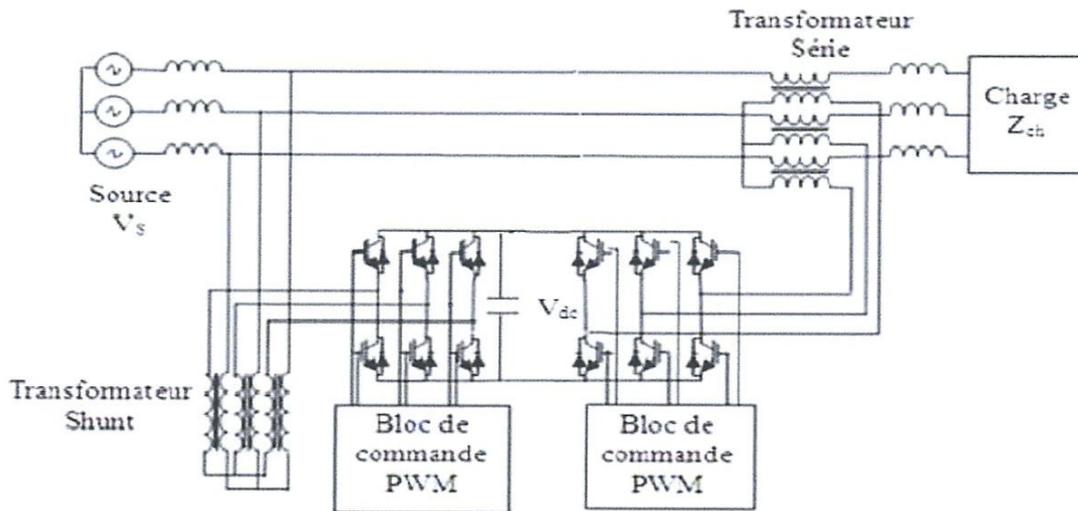


Figure III 12 schéma de principe sssc

4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté quelque types des systèmes FACTS concernant la modélisation et l'intégration de les dispositifs de compensation dynamique dans les réseaux électriques, on peut conclure que l'intégration de cette nouvelle technologie (FACTS) dans la structure des réseaux électriques permet le réglage des tensions, le contrôle du transit de la puissance active et réactive ce qui permet une meilleur gestion de l'énergie et une amélioration des indices de qualité de l'énergie électrique.

CHAPITRE

- IV -

**Étude de
stabilité dynamique**

Étude de stabilité dynamique

Introduction :

La stabilité d'un réseau électrique est un problème dynamique nécessite une modalisation particulière de chaque composant de système, il est supposé qu'avant toute analyse dynamique, le système est dans un état permanent pour lequel un point de fractionnement traduit une opération stable et peut être déterminé par calcul d'écoulement de puissance.

La stabilité transitoire: concerne l'état d'un système à retrouver un état stable après une perturbation grave ou un gros incident la période de recouvrement peut varier d'une fraction de seconde pour que le premier mode soit déterminé à plusieurs secondes (jusqu'à 10s) pour des modes multiples cette perturbation peut être soit.

- Un chargement brusque de charge électrique.
- une rupture du circuit d'excitation.
- un débranchement des lignes et des transformations.
- débranchement d'une génératrice.
- des courts circuits.
- un faux couplage (machine...réseaux).

1.Équation de mouvement dynamique:

L'équation d'oscillation (SWING équation)

$$T \frac{d^2\theta}{dt^2} = T_a = T_m - T_e$$

T : Le moment d'inertie du rotor en $\text{Kg}\cdot\text{m}^2$.

θ : Déplacement angulaire du rotor par rapport à une axe fixe.

T_a : Couple net d'accélération

T_m : Couple mécanique.

T_e Couple électromagnétique

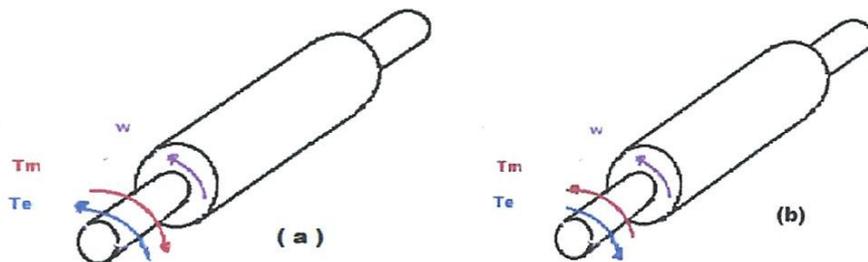


Figure IV.1. Flux de puissance mécanique électrique d'un générateur (a) et moteur (b)

Considérons le générateur figure (a) il reçoit de puissance mécanique (\$P_m\$) sous couple mécanique ce qui communique rotor la vitesse angulaire (\$W\$). cette rotation implique une variation du flux d'excitation dans la bobine ce qui induit dans cette dernière force une électromotrice déterminé (\$E_q\$) cette détermine ,applique a un circuit fermé ou une charge donné , engendre un courant laquelle on circulent implique une relation dite induit , qui exprime par un couple (puissance électrique) qui vient s'équilibre avec ce lui mécanique du rotor.

Cet équilibre instable ou régime permanent de vitesse angulaire constante. le générateur débite, Alor la puissance électrique correspondante a cette équilibre.

En supposant que le couple de frottement est négligeable, le couple d'accélération agissant sur le rotor est donné par.

$$T_a = T_m - T_e \dots\dots\dots (02)$$

$$T_a \omega = \omega (T_m - T_e)$$

$$P_a = P_m - P_e \dots\dots\dots (03)$$

P_a : Ecart de puissance (d'accélération, de freinage ou nul)

$P_m : T_m \omega$: Puissance mécanique d'accélération.

$P_e : T_e \omega$: Puissance électrique débiteur.

Supposant que $\Delta p = 0$ (de freinage).

A vitesse synchrone

$$P_m = P_e \text{ ainsi } P_a = 0$$

$P_m = P_e$ Équilibre des puissances mécanique et électriques, la machine subit des dynamiques décrites par les équations :

$$P_a = T_a \omega = T_J \alpha \omega = M \frac{d\theta^2}{dt^2} \dots\dots\dots(04).$$

Où $M = T_J \omega$: constant inertie.

$$\alpha = \frac{d\theta^2}{dt^2} \quad : \text{Accélération angulaire du rotor [degré]}$$

$$p_a = [MW], \quad \text{si } M \quad : [M \text{ ;/ degré électrique}].$$

La position angulaire ‘ θ ’ du rotor est modifiée continuellement avec le temps tenant compte d’axe de rotations synchrone soit $\delta = \theta - \omega_s t \dots\dots\dots(05)$.

Où ω : vitesse synchrone [degré électriques]

δ : Décalage angulaire par rapport à ω_s .

Décrivons (05) par rapport au temps on obtient

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{d\theta}{dt} - \omega_s \dots\dots\dots(06).$$

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

On tenant compte des équations (03), (04), (07).

$$M \frac{d\delta^2}{dt^2} = P_a = P_m - P_e (MW) \dots\dots\dots(08).$$

2. Caractéristique de puissance d’un système mono machine :

Considérons le système mono machine de la figure (IV -1) composé d’une machine débitant a travers un transformateur sur deux linge en parallèle et travers un système á puissance infinie.

Supposant qu’un générateur (E) est connecté a un jeu de barres de puissance infinie par deux lignes de transmission parallèles comme le montre la fig (IV.2)

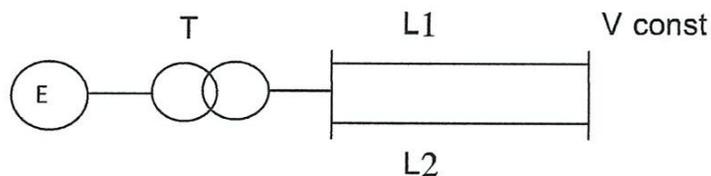
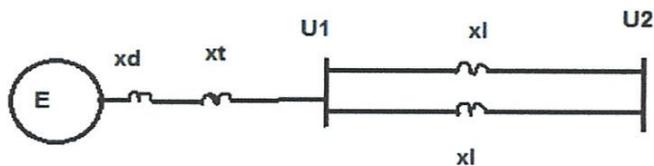


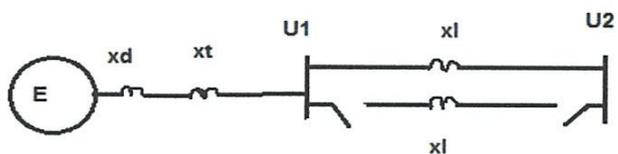
Figure IV 2 modèle d'une ligne

2.1. Schéma d'un réseau de transport d'énergie.

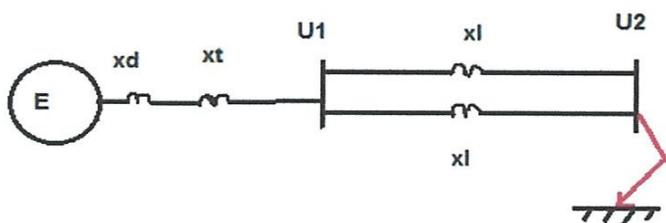
Les schémas équivalents respectifs de régime fonctionnent avant et après et durant le défaut au tous de l'une des deux lignes sont représentés comme suite



A - Régime avant



B - Régime après débranchement de la ligne



C - Régime durant le défaut à la fin de la ligne

2.2.1 Critère d'égalité des aires pour un défaut sur une des deux lignes parallèles.

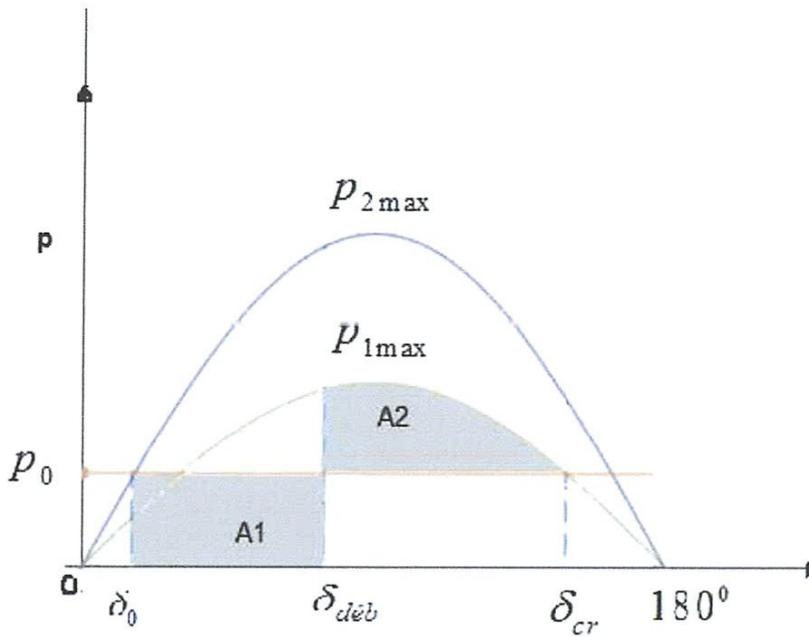


Figure IV.3. Critère d'égalité des aires pour un défaut sur une des deux lignes parallèles.

Pour que la ligne garde sa faculté de faire revenue sa stabilité il faudrait que le défaut doit éliminer au plus loin a l'ongle limite $\delta_{deb.l}$ déterminé tel que $A_1=A_2$; ou l'aire correspondent a la phase de l'accélération du rotor et l'aire A_2 a son freinage. Les grandeurs correspondent a cet équilibre représentent un état limite auquel correspond également un temps limite de débranchement de défaut ($t_{deb.l}$)

Les aires sont délimitées respectivement par les caractéristiques de l'ongle $\delta (\delta_0, \delta_{debl}, \delta_{cr})$; de la charge (P_0) et par celle de la machine $P_3 = 0$ en présence de défaut ($U_2 = 0$) et (P_2) après débranchement de la ligne.

Ce temps est de grand importance pour la protection du système et la conception du disjoncteur, puisqu'il s'agit du temps maximal a admissible de fonction de cet équipement pour gardes la stabilité du système ainsi en a écrit

$$\int_{\delta_0}^{\delta_{deb}} (\cos P_0 - P_{m3} \sin \delta) d\delta = - \int_{\delta_{deb}}^{\delta_{cr}} (P_0 - P_{m2} \sin \delta) d\delta$$

$$\Rightarrow \cos \delta_{deb} = \frac{P_0(\delta_{cr} - \delta_0) + P_{m2} \cos \delta_{cr} - P_{m3} \cos \delta_0}{P_{m2} - P_{m3}}$$

Avec $\delta_{cr} = \pi - \delta_0 = \pi - \arcsin(P_0 / P_{m2})$

$P_1 = P_{1max} \sin \delta$ avant le défaut.

$P_2 = P_{2max} \sin \delta$ après le défaut.

$P_3 = P_{3max} \sin \delta = 0$ durant le défaut.

2.2.2. Détermination du temps limite de débranchement de court circuit.

Dans ce cas particulier l'équation du moment négatif de rotor à la une forme.

$$T_J = \frac{d^2 \delta}{d^2 t} = P_0$$

La solution de cette équation est:

$$\delta - \delta_0 = \frac{18000}{2 T_J} P_0 t^2$$

Ce qui donne :

$$t_{deb.l} = \sqrt{\frac{T_J (\delta_{deb} - \delta_0)}{9000 P_0}}$$

$T_J = [5 : 10]$: sec : Si le temps que le rotor de vient a vitesse synchrone.

$$\omega_r = \omega_s$$

$$T_J = 2.74 \frac{GD^2}{Sn} 10^{-6} s$$

GD : le moment du rotor (ton . m²)

2.2.3. Application :

2.2.3.1. Ligne sans compensation

a. Régime normal.

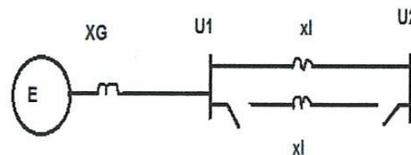


Figure IV 4 ligne après défaut

$$\alpha_0 = 0.06^\circ, l = 800 \text{ km}$$

Z_{cb} : Pour ligne double n=4 comme référence.

Z_{c1} : Pour ligne double terne

$$E^* \approx U_1^*, \quad U_2^* = 1$$

$$x_G = x_d + x_t$$

On a :

$$P_1 = \frac{E \cdot U_2}{x_{s1}} \sin \delta$$

$$X_{s1} = X_G \cos \alpha_0 l + Z_{C1} \sin \alpha_0 l$$

$$X_{s1}^* = \frac{X_G}{Z_b} \cos \alpha_0 l + \frac{Z_{C1}}{Z_b} \sin \alpha_0 l$$

$$K_{m1} = \frac{P_{m1} - P_0}{P_0} \text{ : Facteur de réserve de la stabilité dans le régime normal:}$$

$$K_m > 20\%$$

Après le régime de défaillance $K_m > 8\%$.

b. Régime (durant) défaut (triphase).

$$P_{m3} = 0$$

c. Régime après débranchement la ligne.

$$\alpha_0 = 0.06^\circ Z_{C1}$$

Z_{C2} : Pour ligne simple.

$$E^* \approx U_1^*, \quad U_2^* = 1$$

$$P_2 = \frac{E \cdot U_2}{x_{s2}} \sin \delta$$

$$X_{s2}^* = \frac{X_G}{Z_b} \cos \alpha_0 \ell + \frac{Z_{C2}}{Z_b} \sin \alpha_0 \ell$$

$$K_{m2} = \frac{P_{m2} - P_0}{P_0} : \text{Facteur de réserve de la stabilité dans le régime après débranchement de}$$

la ligne.

$$\alpha_0 = 0,06^\circ$$

$$X_G = 50 \Omega$$

$$T_J = 10 s$$

Tableau IV.1.valeur du calcul de stabilité régime sons compensation

| | n= 3 | | n = 4 | |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | S max | S min | S max | S min |
| P_0 | 0.56 | 0.28 | 0.52 | 0.264 |
| Z_{C1} | 134.73 | 134.72 | 126.29 | 126.29 |
| Z_{C2} | 287.45 | 287.45 | 271.35 | 271.35 |
| x_{s1}^+ | 1.054 | 1.054 | 1.007 | 1.007 |
| X_{s1}^* | 1.95 | 1.95 | 1.855 | 1.855 |
| $U_1^* : \text{regime normal}$ | 1.26 | 0.87 | 1.222 | 0.855 |
| $U_1^* : \text{regime après défaut}$ | 1.994 | 1.132 | 1.9911 | 1.101 |
| $P_{1\max}^*$ | 1.195 | 0.8251 | 1.213 | 0.8523 |
| $K_{m1} \%$ | 53.14 | 66.06 | 57 | 69.02 |
| $P_{2\max}^*$ | 1.022 | 0.58 | 1.07 | 0.5933 |
| $K_{m2} \%$ | -0,90 | 36.41 | 45.57 | 38.79 |
| δ_0° | 27.94 | 19.83 | 25.37 | 18.11 |
| δ_{cr}° | 152.06 | 160.16 | 154.62 | 161.88 |
| δ_{deb}° | 72.36 | 76.07 | 79.06 | 80.44 |
| $t_{deb} [S]$ | 0.3715 | 0.54 | 0.40 | 0.57 |

2.2.3.2. Avec compensation on série au milieu de la ligne.

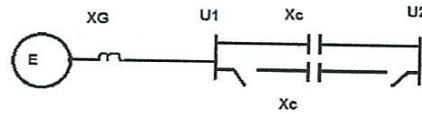


Figure IV 6 régime après défaut de ligne avec compensation série au milieu

a. Régime normal.

$$P_1 = \frac{E \cdot U_2}{x_{s1}} \sin \delta$$

$$P_2 = \frac{E \cdot U_2}{x_{s2}} \sin \delta$$

$$X_{s1}^* = X_G \cos(\alpha_0 \ell) + Z_{C1} \sin(\alpha_0 \ell) - X_C K_{ef}$$

$$X_{s1}^* = \frac{X_G}{Z_b} \cos(\alpha_0 \ell) + \frac{Z_{C1}}{Z_b} \sin(\alpha_0 \ell) - \frac{X_C}{Z_b} K_{ef}$$

$$X_{s2}^* = \frac{X_G}{Z_b} \cos(\alpha_0 \ell) + \frac{Z_{C2}}{Z_b} \sin(\alpha_0 \ell) - \frac{X_C}{Z_b} K_{ef}$$

b. Régime (durant) défaut (triphase).

$$P_{m3} = 0$$

c. Régime après débranchement la ligne.

$$\alpha_0 = 0.06^0 Z_{C1}$$

Z_{C2} : Pour ligne simple.

$$E^* \simeq U_1^* \quad , \quad U_2^* = 1$$

$$P_2 = \frac{E \cdot U_2}{x_{s2}} \sin \delta$$

$$\dot{X}_{s2}^* = \frac{X_G}{Z_b} \cos \alpha_0 \ell + \frac{Z_{C2}}{Z_b} \sin \alpha_0 \ell$$

$$K_{m2} = \frac{P_{m2} - P_0}{P_0} : \text{Facteur de réserve de la stabilité dans le régime après débranchement de}$$

la ligne.

$$\alpha_0 = 0,06^\circ$$

$$X_G = 50 \Omega$$

$$T_J = 10 s$$

Tableau IV.2.valeur du calcul de stabilité régime avec compensation série

| | n=3 | | | | | | n=4 | | | | | |
|-----------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | S max | | | S min | | | S max | | | S min | | |
| | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 0.8 |
| X_c^* | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 0.8 |
| P_0 | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.264 | 0.264 | 0.264 |
| Z_{C1} | 134,73 | | | | | | 271,35 | | | | | |
| Z_{C2} | 287,45 | | | | | | 271,35 | | | | | |
| X_{s1}^+ | 0.91 | 0.71 | 0.503 | 0.503 | 0.71 | 0.916 | 0.87 | 0.66 | 0.456 | 0.87 | 0.66 | 0.45 |
| X_{s1}^* | 1.02 | 0.973 | 0.925 | 0.925 | 0.97 | 1.022 | 0.97 | 0.92 | 0.878 | 0.97 | 0.92 | 0.87 |
| U_1 : regime normal | 1.18 | 1.089 | 1.008 | 0.99 | 0.94 | 0.89 | 1.16 | 1.08 | 1.01 | 0.883 | 0.93 | 0.98 |
| U_1 : regime apres defaut | 1.14 | 0.97 | 0.827 | 1.13 | 1.03 | 0.93 | 1.12 | 0.99 | 0.873 | 0.92 | 1.02 | 1.13 |
| P_{1max}^* | 1.29 | 1.53 | 2.001 | 1.97 | 1.32 | 0.97 | 1.33 | 1.63 | 2.226 | 1.01 | 1.40 | 2.15 |
| $K_{m1}^{\%}$ | 56.79 | 63.48 | 72.02 | 85.79 | 78.89 | 71.42 | 61.12 | 68.16 | 76.64 | 74 | 81.18 | 87.73 |
| P_{2max}^* | 1.12 | 1.004 | 0.89 | 1.23 | 0.06 | 0.91 | 1.15 | 1.07 | 0.994 | 0.94 | 1.10 | 1.29 |
| $K_{m2}^{\%}$ | 43.16 | 28.95 | 16.71 | 48.23 | 58.86 | 64.69 | 47.64 | 33.87 | 21.3 | 66.93 | 59.93 | 47.66 |
| δ_0^o | 25.62 | 21 | 16.24 | 8.16 | 12.18 | 16.60 | 22.87 | 18.56 | 13.50 | 15.03 | 10.84 | 7.04 |
| δ_{cr}^o | 154.37 | 158 | 163 | 171.83 | 167 | 163.39 | 154.12 | 161.43 | 166.49 | 164.93 | 169.15 | 172.95 |
| δ_{deb}^o | 77.11 | 66 | 49.33 | 109.88 | 105.10 | 99.97 | 82.44 | 74.92 | 64.9 | 103.54 | 108.78 | 113.57 |
| t_{deb} [S] | 0.384 | 0.350 | 0.30 | 0.65 | 0.64 | 0.62 | 0.41 | 0.39 | 0.368 | 0.655 | 0.67 | 0.69 |

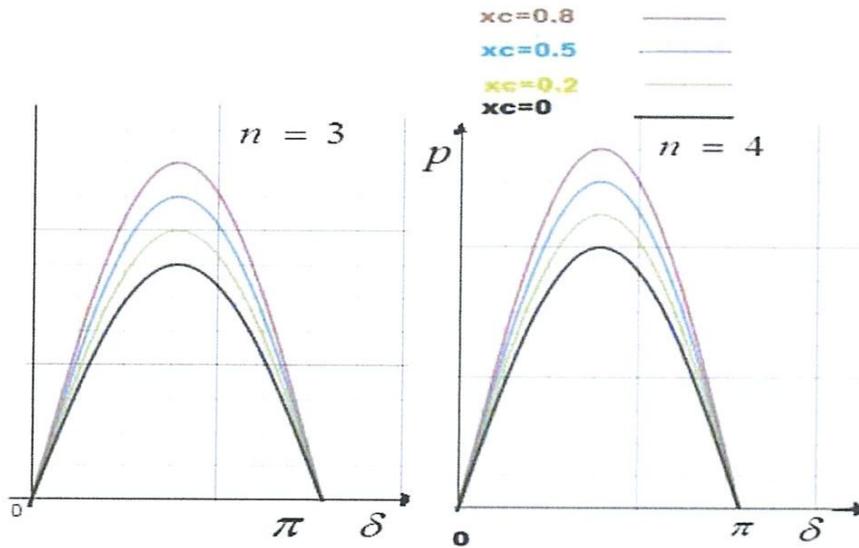


Figure .IV.7. Augmentation de la stabilité transitoire par compensation l'impédance série

4. Conclusion :

La compensation série est la meilleur méthode disponible d'améliore :

- * la capacité de transport.
- * augmente temps limite de débranchent.
- * augment facteur de réserve de puissance.

Le nombre de conducteur de fuseaux 'n' aussi améliore la capacité de transport.

Conclusion générales:

L'analyse comparative réalisée dans ce travail entre les deux type de compensation série et shunt a permis de mettre en évidence leurs effets spécifiques sur différentes caractéristiques de la ligne, telles que les paramètres se considère, sa capacité de transport

Les résultats obtenus dans ce travail ainsi que les différentes analyses ont permis de faire les conclusions suivantes :

- * l'augmentation du nombre de conducteurs par fuseaux améliore la capacité de transport.
- * la capacité de transport d'une ligne à double terre augmente de plus du double de celle de la ligne simple.
- * la compensation shunt est plus déterminante dans le cas des plus grandes puissances.
- * la compensation série amélioré la capacité de transport de la liaison.
- * l'augmentation de la capacité de transport augmente la réserve en puissance et le temps limite de débranchement de la ligne en cas d'apparition d'une perturbation forte, telle que le court circuit par exemple.

Bibliographie

[1]-MUFIZADA NAHID, M.BOUDOUR, BEN CHABANE SAADI

Régime transitoires dans les réseaux électriques page bleues 2014.

[2]-M.BOUDOUR, AHELLAL

Réseaux électriques fondamentaux et concepts de base page bleues 2010.

[3]-Mr. HAMED BELGHAMRI ,Mr. TAREK KAFI

Analyse comparative des effets de compensation longitudinale et transversale d'une ligne à grande distance mémoire d'ingénieur d'état 2002.

[3]-Mr. BOUSSAHA SALAH EDDINE,HALIMI SAMIHA

Elaboration d'un réseau électrique et analyse de la stabilité dynamique

Mémoire d'ingénieur d'état 2006.

[4]-Mr KHAROUFI AHMED, FAR SAMIR

Compensation série et sa relation avec la stabilité

Mémoire d'ingénieur d'état 2009.

[5]-Mohamed E. El-Hawary

Electrical Power Systems Design and Analysis; IEEE Press Power Systems Engineering Series 1995.

[5]- J. DUNCAN GLOVER,MULUKUTLA S. SARMA,THOMAS J. OVERBYE

Power system analysis and design FIFTH EDITION 2008

[6]- document sur internet :

FACTS les systèmes performance pour le transport flexible de l'énergie : revue ABB mai 1999

[http:// www.ABB.fr](http://www.ABB.fr)

[7]-BELGUIDOUM HOCINE.

Mémoire magistère en électrotechnique.

- les systèmes FACTS utilisent les convertisseurs entièrement commandés.

[8]-Mr. MEKHOLOUFI MED ABDELATIF.

Mémoire Magister Réseaux Electrique.

[9]-Pr. BOUNAYA KAMEL.

Les réseaux électriques, premiers partie, éléments de description et d'analyse de base :

Direction de la publication universitaire de Guelma 2010.