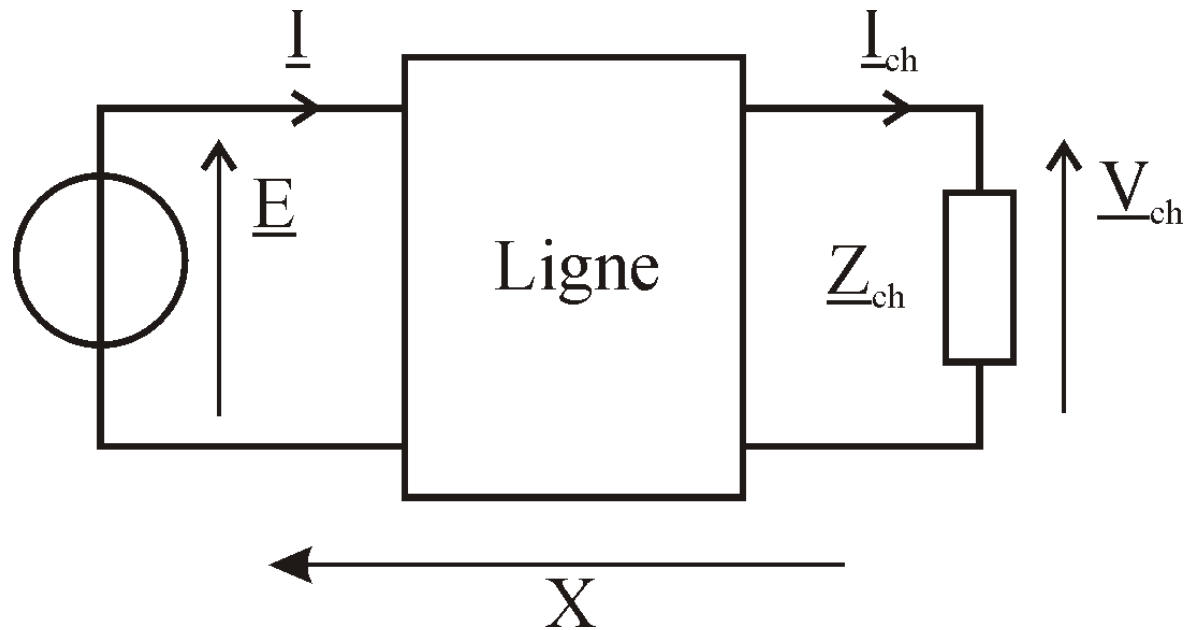


TRANSPORT D'ENERGIE ELECTRIQUE

Pr. Mohamed EL HARZLI

Année universitaire : 2017/2018



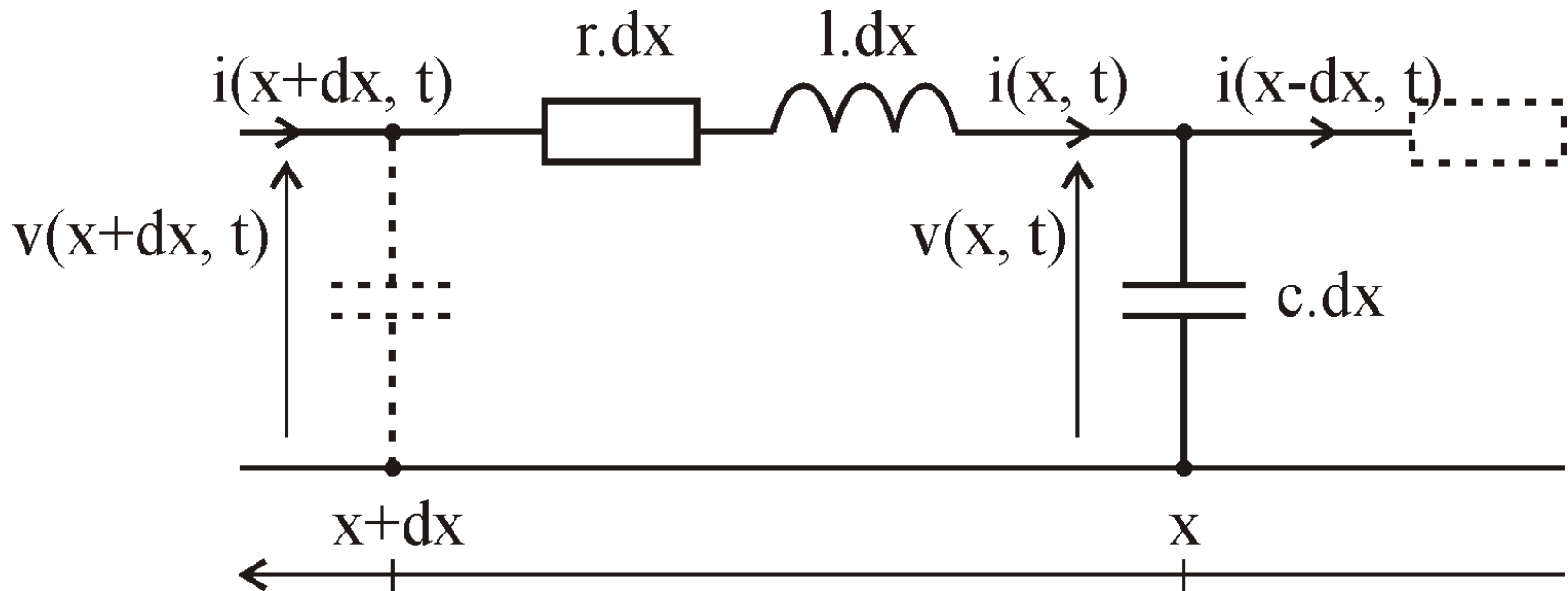
■ MODÉLISATION PAR CONSTANTES RÉPARTIES

Dans le cas d'une ligne de transport, la prise en compte des imperfections réparties sur toute la longueur, conduit à une modélisation par constantes réparties.

Le tronçon de ligne de longueur dx situé à la distance x de la charge peut être représenté par le schéma suivant où r , l et c représentent :

- r : résistance linéique;
- l : inductance linéique;
- c : capacité linéique;

■ MODÉLISATION PAR CONSTANTES RÉPARTIES



L'application des lois de Kirchhoff permet d'écrire :

$$v(x + dx, t) - v(x, t) = r \cdot dx \cdot i(x, t) + l \cdot dx \frac{di(x, t)}{dt}$$

$$i(x, t) - i(x - dx, t) = c \cdot dx \frac{dv(x, t)}{dt}$$

■ MODÉLISATION PAR CONSTANTES RÉPARTIES

Soit encore :

$$\frac{v(x + dx, t) - v(x, t)}{dx} = r.i(x, t) + l \frac{di(x, t)}{dt}$$

$$\frac{\partial v(x, t)}{\partial x} = r.i(x, t) + l \frac{\partial i(x, t)}{\partial t}$$

$$\frac{i(x, t) - i(x - dx, t)}{dx} = c \frac{dv(x, t)}{dt}$$

$$\frac{\partial i(x, t)}{\partial x} = c \frac{\partial v(x, t)}{\partial t}$$

■ MODÉLISATION PAR CONSTANTES RÉPARTIES

On en déduit que les courants et tensions sont régis par les équations différentielles suivantes:

$$\frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial x^2} = r.c \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} + l.c \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 i(x, t)}{\partial x^2} = r.c \frac{\partial i(x, t)}{\partial t} + l.c \frac{\partial^2 i(x, t)}{\partial t^2}$$

La ligne étant alimentée par une tension sinusoïdale de pulsation ω , la charge étant supposée linéaire, on considérera que toutes les grandeurs sont sinusoïdales de pulsation ω .

■ MODÉLISATION PAR CONSTANTES RÉPARTIES

On cherche donc des solutions qui s'écriront sous forme complexe de la forme :

$$v(x, t) = \text{Réal}\left(\underline{V}(x) \cdot e^{j \cdot \omega \cdot t}\right) = \text{Réal}(\underline{v}(x, t))$$

$$i(x, t) = \text{Réal}\left(\underline{I}(x) \cdot e^{j \cdot \omega \cdot t}\right) = \text{Réal}(\underline{i}(x, t))$$

L'équation $\frac{\partial v(x, t)}{\partial x} = r \cdot i(x, t) + l \frac{\partial i(x, t)}{\partial t}$ permet de déterminer une relation entre les amplitudes complexes :

$$\frac{d(\underline{V}(x))}{dx} = \underline{Z}_1 \cdot \underline{I}(x)$$

avec $\underline{Z}_1 = r + j \cdot l \cdot \omega$: impédance linéique

■ MODÉLISATION PAR CONSTANTES RÉPARTIES

De la même façon, l'équation

$$\frac{\partial i(x, t)}{\partial x} = c \frac{\partial v(x, t)}{\partial t}$$

conduit à : $\frac{d(\underline{I}(x))}{dx} = \underline{Y}_1 \cdot \underline{V}(x)$

avec : $\underline{Y}_1 = j.c.\omega$: admittance linéique

■ MODÉLISATION PAR CONSTANTES RÉPARTIES

Pour déterminer les évolutions de $V(x)$ et $I(x)$, il faut résoudre les équations différentielles suivantes :

$$\frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial x^2} = r.c \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} + l.c \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial t^2}$$

et

$$\frac{\partial^2 i(x, t)}{\partial x^2} = r.c \frac{\partial i(x, t)}{\partial t} + l.c \frac{\partial^2 i(x, t)}{\partial t^2}$$

qui peuvent s'écrire en notation complexe :

$$\frac{d^2(\underline{V}(x))}{dx^2} = \underline{n}^2 \cdot \underline{V}(x) \quad \text{et} \quad \frac{d^2(\underline{I}(x))}{dx^2} = \underline{n}^2 \cdot \underline{I}(x) \quad \text{avec} \quad \underline{n}^2 = \underline{Z}_1 \cdot \underline{Y}_1$$

■ MODÉLISATION PAR CONSTANTES RÉPARTIES

Résolution

Les solutions recherchées sont de la forme :

$$\underline{V}(x) = K_{v1} \cdot e^{n \cdot x} + K_{v2} \cdot e^{-n \cdot x}$$

$$\underline{I}(x) = K_{i1} \cdot e^{n \cdot x} + K_{i2} \cdot e^{-n \cdot x}$$

Les 4 constantes K_{v1} , K_{v2} , K_{i1} et K_{i2} seront déterminées en utilisant

- les conditions initiales :

$$\underline{V}(0) = \underline{V}_{ch} \quad \text{et} \quad \underline{I}(0) = \underline{I}_{ch}$$

- les relations liant $\underline{V}(x)$ et $\underline{I}(x)$:

$$\frac{d(\underline{V}(x))}{dx} = \underline{Z}_1 \cdot \underline{I}(x) \quad \text{et} \quad \frac{d(\underline{I}(x))}{dx} = \underline{Y}_1 \cdot \underline{V}(x)$$

■ MODÉLISATION PAR CONSTANTES RÉPARTIES

Résolution

Après développement des calculs, on en déduit :

$$\underline{V}(x) = \underline{V}_{\text{ch}} \cdot \text{ch}(\underline{n} \cdot x) + \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{I}_{\text{ch}}}{\underline{n}} \text{sh}(\underline{n} \cdot x)$$

$$\underline{I}(x) = \frac{\underline{Y}_1 \cdot \underline{V}_{\text{ch}}}{\underline{n}} \text{sh}(\underline{n} \cdot x) + \underline{I}_{\text{ch}} \cdot \text{ch}(\underline{n} \cdot x)$$

- On note X la longueur totale de la ligne.
- On en déduit que la ligne est représentable par un quadripôle ayant pour matrice :

$$\begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix}$$

MODÉLISATION PAR CONSTANTES RÉPARTIES

Résolution

Tel que :

$$\begin{bmatrix} \underline{V}(X) \\ \underline{I}(X) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{E} \\ \underline{I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_{\text{ch}} \\ \underline{I}_{\text{ch}} \end{bmatrix}$$

Avec

$$\underline{A} = \text{ch}(\underline{n}.X) \quad \underline{B} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Y}_1}} \cdot \text{sh}(\underline{n}.X) \quad \underline{C} = \sqrt{\frac{\underline{Y}_1}{\underline{Z}_1}} \cdot \text{sh}(\underline{n}.X)$$

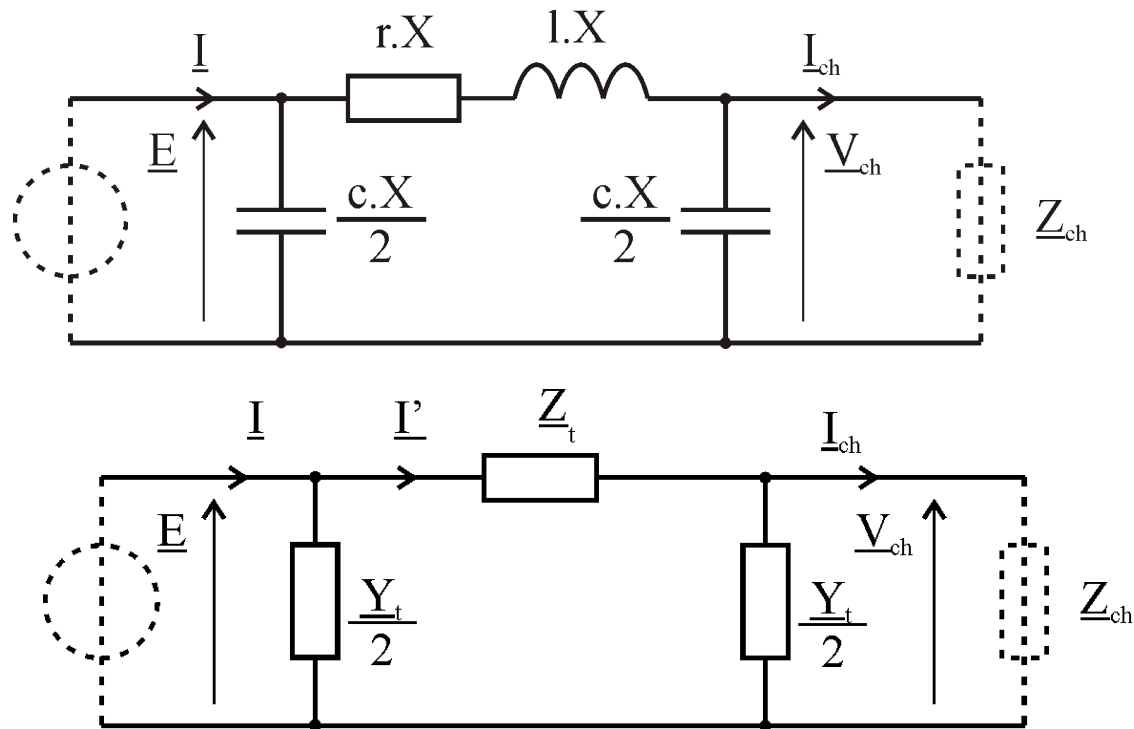
$$\underline{D} = \text{ch}(\underline{n}.X)$$

Remarque :

$$\frac{\underline{Z}_1}{\underline{n}} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Y}_1}} \quad \frac{\underline{Y}_1}{\underline{n}} = \sqrt{\frac{\underline{Y}_1}{\underline{Z}_1}}$$

■ MODÈLE EN π

On va montrer que dans **certaines conditions (régime permanent à la fréquence industrielle et longueur de ligne inférieure à une certaine valeur)**, le quadripôle représentant la ligne de longueur X précédent peut se ramener à l'étude de l'un ou l'autre schéma suivant :



■ MODÈLE EN π

Soit

$$\begin{bmatrix} \underline{E} \\ \underline{I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A}_1 & \underline{B}_1 \\ \underline{C}_1 & \underline{D}_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_{\text{ch}} \\ \underline{I}_{\text{ch}} \end{bmatrix}$$

L'écriture des lois des mailles et des nœuds permet de déterminer les coefficients de la matrice du quadripôle π en fonction de r , l , c et X .

■ MODÈLE EN π

Soit

$$\begin{bmatrix} \underline{E} \\ \underline{I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A}_1 & \underline{B}_1 \\ \underline{C}_1 & \underline{D}_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_{\text{ch}} \\ \underline{I}_{\text{ch}} \end{bmatrix}$$

L'écriture des lois des mailles et des nœuds permet de déterminer les coefficients de la matrice du quadripôle π en fonction de r , l , c et X .

■ MODÈLE EN π

Soit

$$\begin{bmatrix} \underline{E} \\ \underline{I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(1 + \frac{\underline{Z}_t \cdot \underline{Y}_t}{2} \right) & \underline{Z}_t \\ \left(\underline{Y}_t + \frac{\underline{Y}_t^2 \cdot \underline{Z}_t}{4} \right) & \left(1 + \frac{\underline{Z}_t \cdot \underline{Y}_t}{2} \right) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_{\text{ch}} \\ \underline{I}_{\text{ch}} \end{bmatrix}$$

■ COMPARAISON ENTRE LES DEUX MODÈLES

En effectuant un développement limité au deuxième ordre des sinus et cosinus hyperboliques, les coefficients de la matrice du quadripôle modélisant la ligne par constantes réparties s'écrivent :

$$\underline{\underline{A}} = \text{ch}(\underline{\underline{n}}.X) \approx 1 + \frac{\underline{\underline{n}}^2.X^2}{2} = 1 + \frac{\underline{\underline{Z}}_1.\underline{\underline{Y}}_1.X^2}{2} = 1 + \frac{\underline{\underline{Z}}_t.\underline{\underline{Y}}_t}{2} = \underline{\underline{A}}_1$$

$$\underline{\underline{B}} = \sqrt{\frac{\underline{\underline{Z}}_1}{\underline{\underline{Y}}_1}}.\text{sh}(\underline{\underline{n}}.X) = \frac{\underline{\underline{Z}}_1}{\underline{\underline{n}}}.\text{sh}(\underline{\underline{n}}.X) \approx \underline{\underline{Z}}_t = \underline{\underline{B}}_1$$

■ COMPARAISON ENTRE LES DEUX MODÈLES

□ Application numérique

Pour une ligne de transport en 130 kV (225 kV entre phases) les caractéristiques linéiques sont :

$$r = 0,04 \Omega/\text{km}$$
$$\text{nF}/\text{km}$$

$$l = 1,2 \text{ mH}/\text{km}$$

$$c = 15$$

Pour une ligne de 100 km, on a:

$$E=130000 \text{ V} - \omega=100\pi - X=100$$

■ COMPARAISON ENTRE LES DEUX MODÈLES

- Application numérique

Constantes réparties

Modèle en π

■ COMPARAISON ENTRE LES DEUX MODÈLES

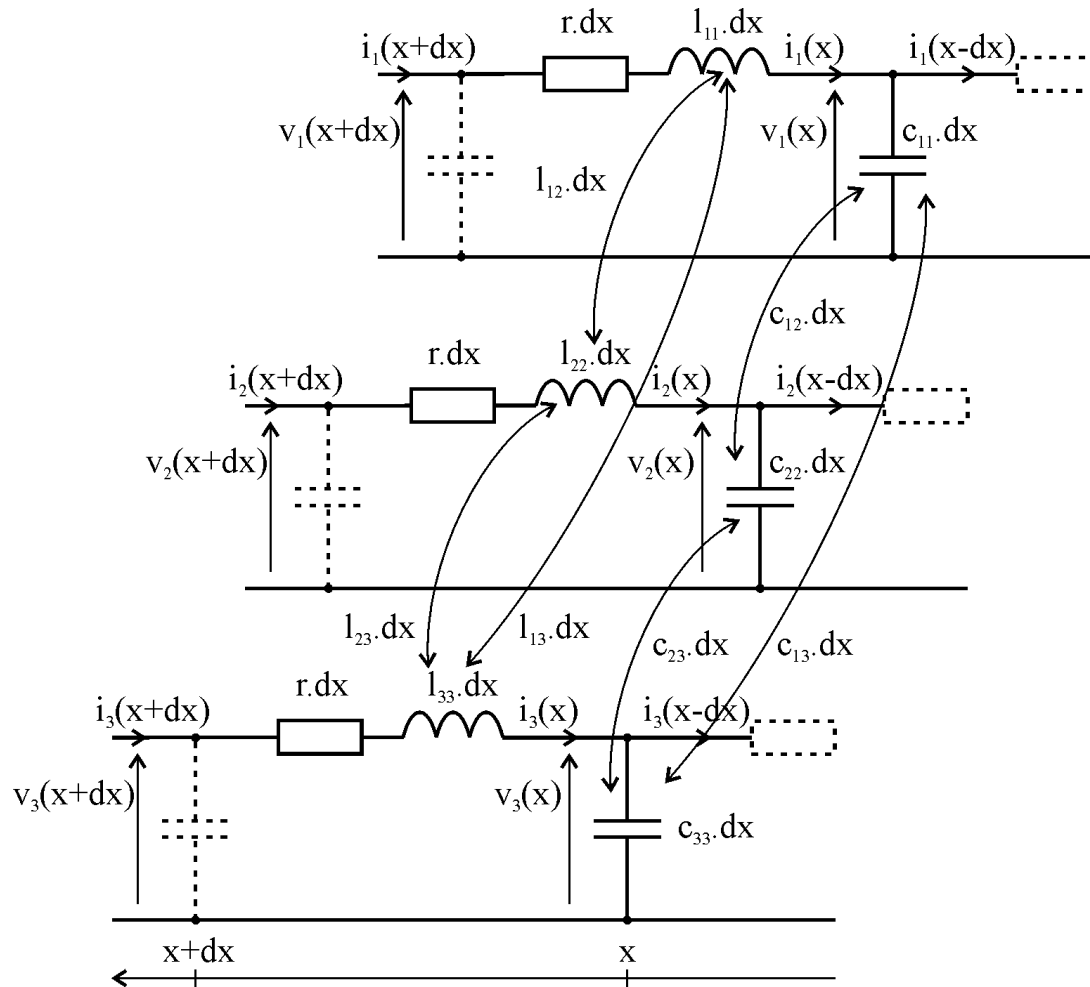
□ Application numérique

Sur cet exemple, il est évident que dans ces conditions le modèle en π permet de décrire correctement cette ligne.

Mais attention ce modèle en π ne permet pas de décrire le comportement de la ligne sur des régimes transitoires comme la propagation de la foudre ou la mise sous tension.

■ MODÉLISATION D'UNE LIGNE TRIPHASÉE

Dans une ligne triphasée, il existe des couplages capacitifs et inductifs entre les différentes phases.



■ MODÉLISATION D'UNE LIGNE TRIPHASÉE

La loi des mailles sur la phase 1 s'écrit en triphasé :

$$v_1(x + dx, t) - v_1(x, t) = r \cdot dx \cdot i_1(x, t) + l \cdot dx \frac{d(i_1(x, t))}{dt} + m \cdot dx \frac{d(i_2(x, t))}{dt} + m \cdot dx \frac{d(i_3(x, t))}{dt}$$

La loi des nœuds sur la phase 1 s'écrit en

triphasé :

$$i_1(x, t) - i_1(x - dx, t) = c \cdot dx \frac{dv_1(x, t)}{dt} + c_m \cdot dx \frac{d(v_1(x, t) - v_2(x, t))}{dt} + c_m \cdot dx \frac{d(v_1(x, t) - v_3(x, t))}{dt}$$

$$i_1(x, t) - i_1(x - dx, t) = (c + 2 \cdot c_m) \cdot dx \frac{dv_1(x, t)}{dt} - c_m \cdot dx \frac{d(v_2(x, t))}{dt} - c_m \cdot dx \frac{d(v_3(x, t))}{dt}$$

■ MODÉLISATION D'UNE LIGNE TRIPHASÉE

Les équations $\frac{d(\underline{V}(x))}{dx} = \underline{Z}_1 \cdot \underline{I}(x)$ et $\frac{d(\underline{I}(x))}{dx} = \underline{Y}_1 \cdot \underline{V}(x)$ écrites en monophasé deviennent dans le cas du triphasé :

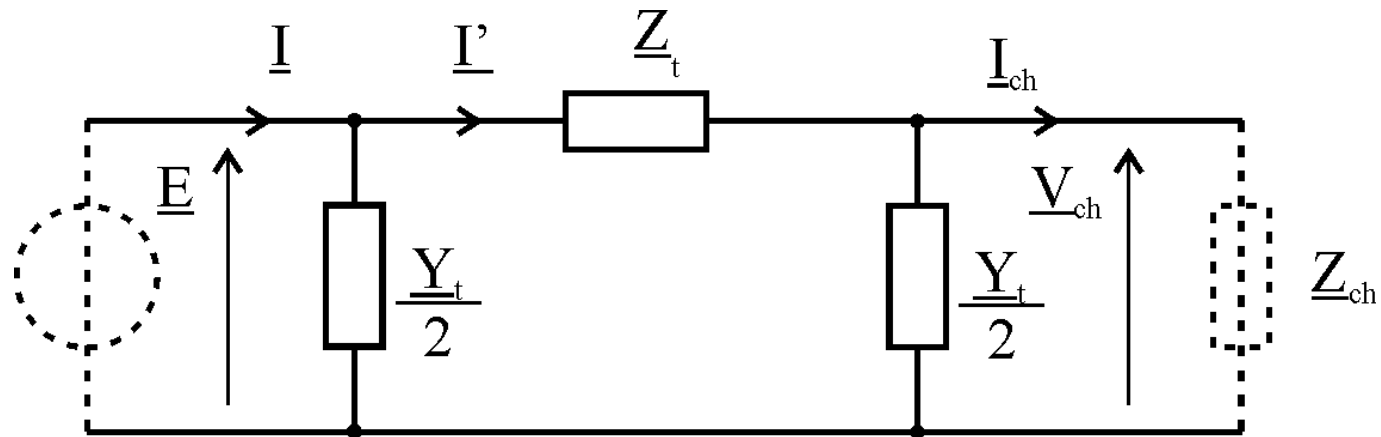
$$\frac{d}{dx} \begin{pmatrix} \underline{V}_1(x) \\ \underline{V}_2(x) \\ \underline{V}_3(x) \end{pmatrix} = r \cdot \begin{pmatrix} \underline{I}_1(x) \\ \underline{I}_2(x) \\ \underline{I}_3(x) \end{pmatrix} + j \cdot \omega \cdot \begin{pmatrix} 1 & m & m \\ m & 1 & m \\ m & m & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{I}_1(x) \\ \underline{I}_2(x) \\ \underline{I}_3(x) \end{pmatrix}$$

$$\frac{d}{dx} \begin{pmatrix} \underline{I}_1(x) \\ \underline{I}_2(x) \\ \underline{I}_3(x) \end{pmatrix} = j \cdot \omega \cdot \begin{pmatrix} c + 2 \cdot c_m & -c_m & -c_m \\ -c_m & c + 2 \cdot c_m & -c_m \\ -c_m & -c_m & c + 2 \cdot c_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{V}_1(x) \\ \underline{V}_2(x) \\ \underline{V}_3(x) \end{pmatrix}$$

■ MODÉLISATION D'UNE LIGNE TRIPHASÉE

■ Conclusion

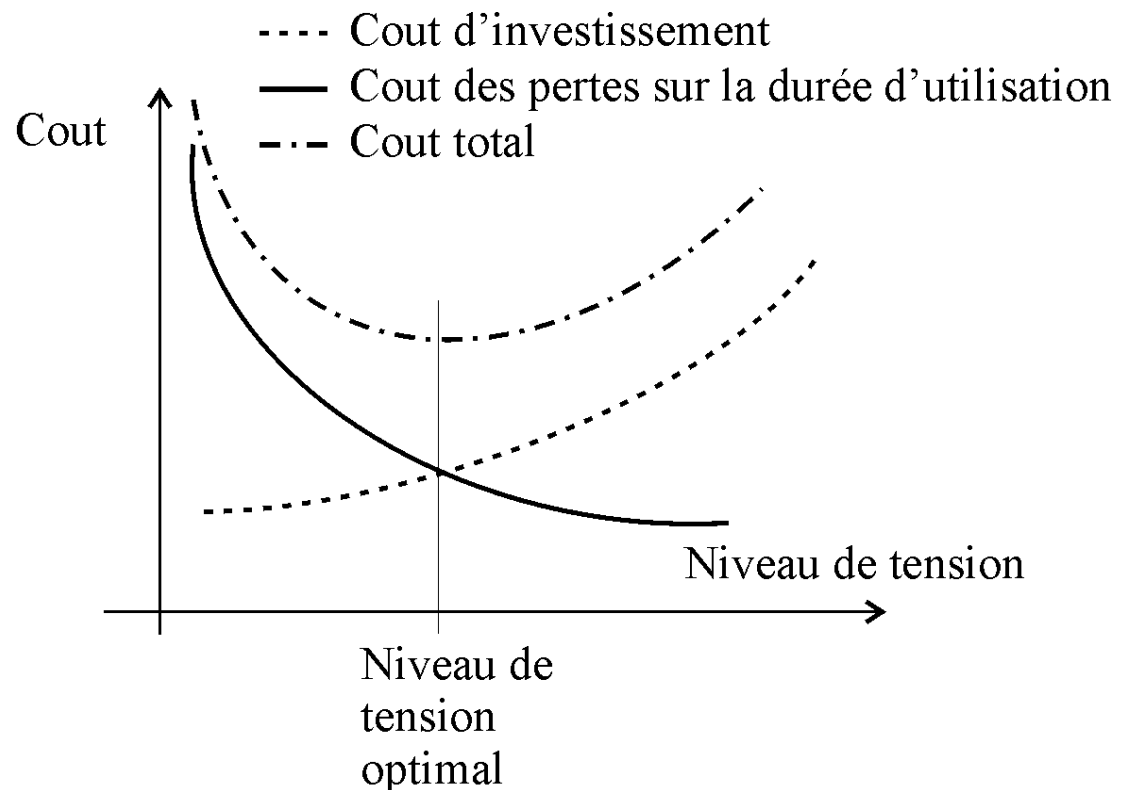
En régime équilibré, le schéma monophasé suivant permet d'étudier une ligne triphasée symétrique.



avec :

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

Le choix d'un niveau de tension résulte d'un compromis entre le coût de la ligne et celui des pertes par effet Joule.



■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Le transport d'énergie électrique en haute tension peut s'effectuer par ligne aérienne ou par câbles.



■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Lignes aériennes

Les conducteurs sont en général constitués d'un alliage d'aluminium contenant du magnésium et du silicium. Cet alliage nommé « *Almélec* » présente une résistance mécanique supérieure à celle de l'aluminium par contre sa résistivité est plus importante que celle de l'aluminium.

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Lignes aériennes

■ En 225 kV et 400 kV, un des conducteurs les plus utilisés est l'Aster 570 dont les principales caractéristiques sont : [TI D4421]

□ Section : 570 mm² Nombre de fils : 61 diamètre extérieur : 31 mm

□ masse linéique : 1574 kg/km

□ Résistance linéique à 20°C : 0.0583 Ω/km

□ Réactance linéique : 0.4 Ω/km

□ Courant maximal admissible en régime permanent (60°C) : 1000A

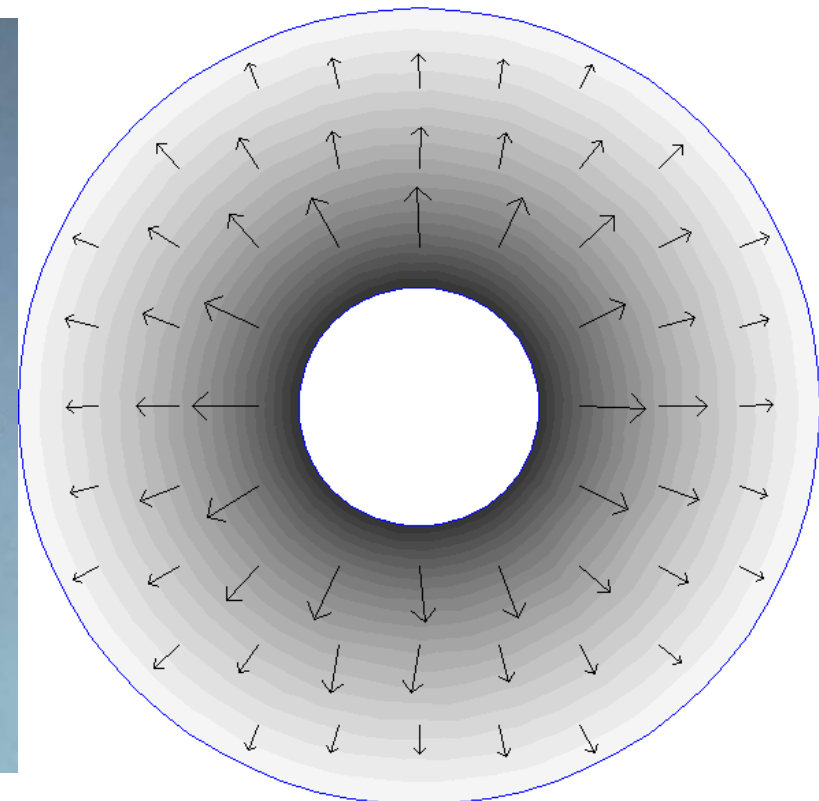
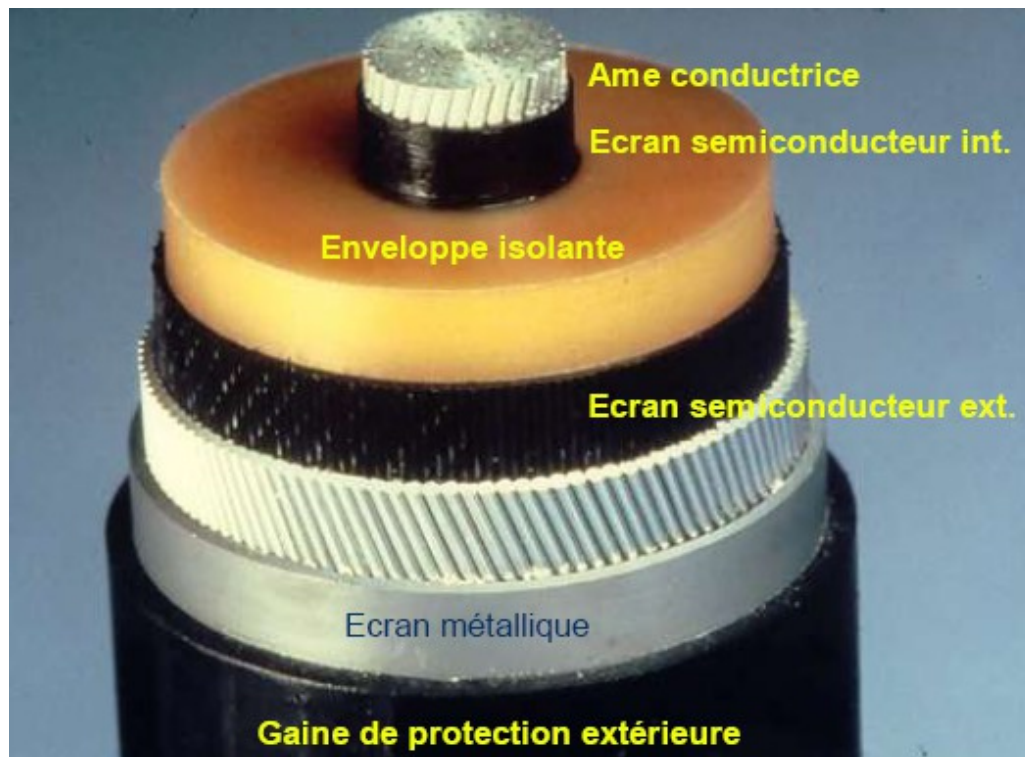
■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Câbles

A partir de quelques kV, les câbles utilisés sont de type unipolaire et à champ radial ce qui permet d'imposer la répartition du champ électrique en tous les points et éviter le risque de claquage de l'isolant. Ces câbles forment un système coaxial.

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Câbles



■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Câbles

- Le conducteur ou l'âme est destiné à transiter le courant électrique. Il est obtenu par câblage de fils de cuivre ou d'aluminium.
- La gaine métallique externe est mise à la terre, elle permet de garantir un champ électrique radial et assure le retour des courants en cas de défaut. Cette gaine métallique est constituée d'un tube de plomb ou d'aluminium.

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Câbles

- Les écrans semi-conducteurs permettent d'uniformiser le champ électrique au voisinage du conducteur et évitent les effets de pointe.
- L'isolant doit avoir une rigidité diélectrique élevée, une faible permittivité relative (pour limiter la valeur de la capacité linéique) et un faible angle de pertes.

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Câbles

Exemple d'isolant utilisé pour la réalisation de câbles 400kV [TI D 4520]

- Polyéthylène haute densité (Pehd)
- Permittivité relative : 2,2 à 2,4
- Épaisseur de l'isolant en 400kV : 30mm
- Champ électrique maximum : 14 kV/mm

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Câbles

Ce système coaxial présente une capacité linéique donnée par l'expression:

$$c_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\text{Ln}\left(\frac{R}{r}\right)}$$

où R est le rayon extérieur de l'isolant et r le rayon intérieur.

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

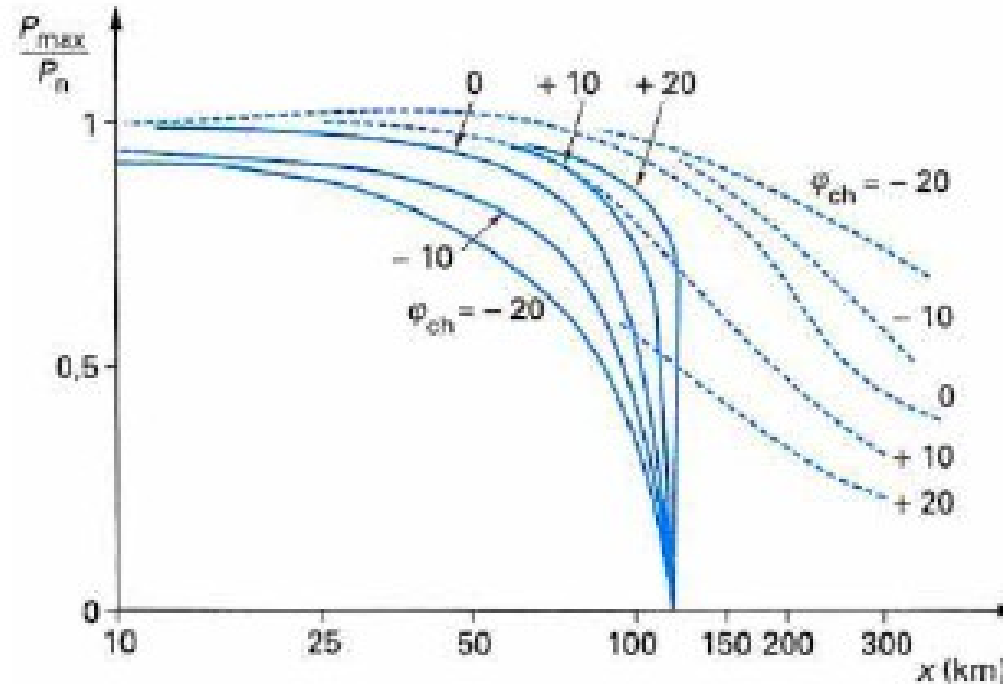
■ Câbles

Cette capacité linéique, très supérieure à celle d'une ligne aérienne (de 15 à 20 fois), entraîne la circulation de courant capacitif à l'intérieur du câble qui a plusieurs conséquences :

- Échauffement du câble même en l'absence de charge ce qui limite la longueur maximum du câble : Limite en courant;
- Augmentation de la tension le long du câble ce qui limite aussi la longueur du câble : Limite en tension.

CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

Câbles



— câble 225 kV
- - - ligne aérienne
 φ_{ch} angle de charge

■ Puissance maximale

on [TI D4520]

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Câbles

**Coupe d'un câble THT
400 kV (Diamètre = 13 cm)**

Exemple de câble 400kV âme de 1200mm^2 en cuivre, isolant en polyéthylène haute densité.

Puissance 800MVA en triphasé

Capacité linéique : 194 nF/km

Courant capacitif : 14 A/km

Longueur critique : 83 km

Cet effet capacitif limite l'utilisation des câbles en courant alternatif.



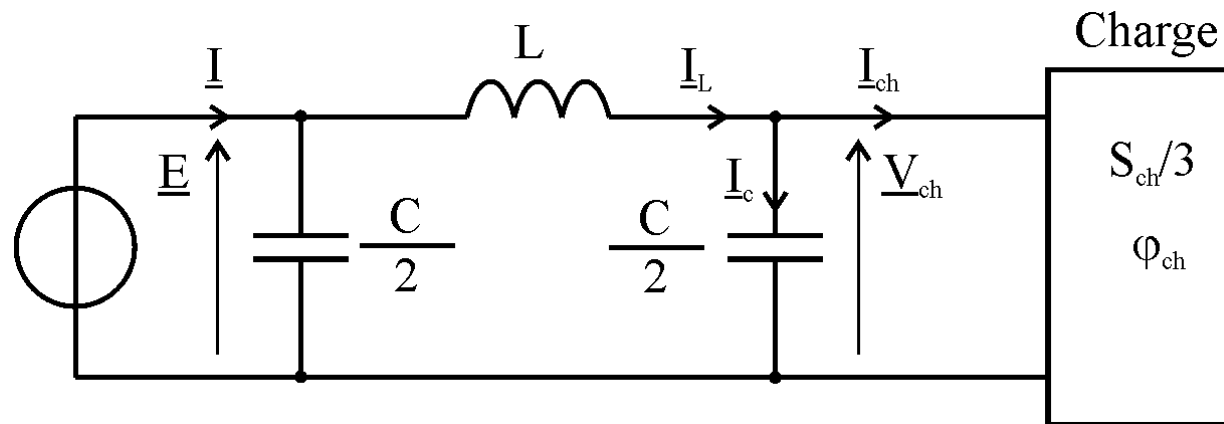
■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Quelques exemples de liaison par câble en courant alternatif de plus de 20km

Pays	Liaison	Puissance	Longueur	Tension	Compensation
Espagne/ Maroc	REE	700 MW	29 km	400 kV	150Mvar Espagne 2*125Mvar Maroc
Canada	BC Hydro		37 km	500 kV	
Japon	TEPCO	900 MW	40 km	500 kV	300 Mvar
Corée	KEPCO	523 MVA	22 km	345 kV	2*200Mvar

- CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES
- Puissance réactive consommée par la ligne

On suppose que la ligne peut être modélisée par le modèle suivant :



Où S_{ch} représente la puissance apparente consommée par la charge et φ_{ch} le déphasage entre la tension et le courant imposée par cette charge.

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Puissance réactive consommée par la ligne

On néglige la résistance de la ligne.

On considérera que la chute de tension dans l'inductance de ligne est suffisamment faible pour pouvoir écrire :

$$V_{\text{ch}}^2 \approx E^2$$

La puissance réactive consommée par la ligne triphasée s'écrit :

$$Q_1 = 3 \left(L \cdot \omega \cdot I_L^2 - E^2 \cdot \frac{C \cdot \omega}{2} - V_{\text{ch}}^2 \cdot \frac{C \cdot \omega}{2} \right) \approx 3 \left(L \cdot \omega \cdot I_L^2 - E^2 \cdot C \cdot \omega \right)$$

- CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES
- Puissance réactive consommée par la ligne

avec

$$\underline{I}_L = \underline{I}_c + \underline{I}_{ch} = j \frac{C \cdot \omega}{2} \underline{V}_{ch} + \underline{I}_{ch}$$

En choisissant I_{ch} sur l'axe réel, la tension aux bornes de la charge s'écrit :

$$\underline{V}_{ch} = V_{ch} \cdot e^{j \cdot \varphi_{ch}}$$

$$\underline{I}_L = I_{ch} - \frac{C \cdot \omega \cdot V_{ch} \cdot \sin(\varphi_{ch})}{2} + j \frac{C \cdot \omega \cdot V_{ch} \cdot \cos(\varphi_{ch})}{2}$$

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Puissance réactive consommée par la ligne

$$I_L^2 = \left(I_{ch} - \frac{C \cdot \omega \cdot V_{ch} \cdot \sin(\varphi_{ch})}{2} \right)^2 + \left(\frac{C \cdot \omega \cdot V_{ch} \cdot \cos(\varphi_{ch})}{2} \right)^2 = I_{ch}^2 + \left(\frac{C \cdot \omega \cdot V_{ch}}{2} \right)^2 - C \cdot \omega \cdot V_{ch} \cdot I_{ch} \cdot \sin(\varphi_{ch})$$

$$I_L^2 = \frac{S_{ch}^2}{9 \cdot V_{ch}^2} + \left(\frac{C \cdot \omega \cdot V_{ch}}{2} \right)^2 - C \cdot \omega \cdot \frac{S_{ch}}{3} \cdot \sin(\varphi_{ch})$$

■ Soit :

$$Q_1 \approx \frac{L \cdot \omega \cdot S_{ch}^2}{3 \cdot E^2} + 3 \cdot E^2 \cdot C \cdot \omega \left(\frac{L \cdot C \cdot \omega^2}{4} - 1 \right) - L \cdot C \cdot \omega^2 \cdot S_{ch} \cdot \sin(\varphi_{ch})$$

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Puissance réactive consommée par la ligne

On se propose de comparer la puissance réactive consommée par une liaison aérienne ou par câble dans les deux cas suivants :

Caractéristiques linéiques de la ligne

Caractéristiques de la charge

Ligne aérienne

$$l = 1,2 \text{ mH/km}$$

$$c = 15 \text{ nF/km}$$

$$0 \leq S_{ch} \leq 600 \text{ MVA}$$

$$\text{tg}(\varphi_{ch}) = 0,4 \text{ inductif}$$

câbles

$$l = 0,4 \text{ mH/km}$$

$$c = 200 \text{ nF/km}$$

$$0 \leq S_{ch} \leq 600 \text{ MVA}$$

$$\text{tg}(\varphi_{ch}) = 0,4 \text{ inductif}$$

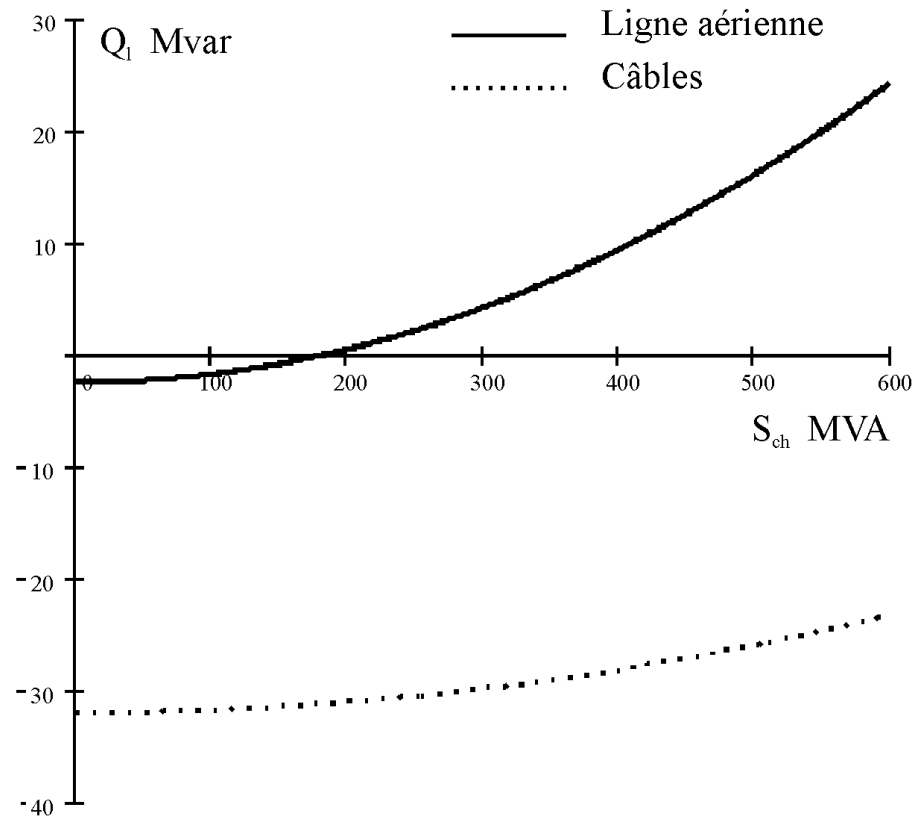
■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Puissance réactive consommée par la ligne

Dans le cas d'une ligne de longueur 10 km, alimentée par une tension de 130 kV (225 kV entre phases), la puissance réactive consommée par la ligne ou les câbles en fonction de la puissance apparente consommée par la charge (S_{ch}) est donnée par la figure suivante:

■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Puissance réactive consommée par la ligne



■ CHOIX D'UN NIVEAU DE TENSION. LIGNES AÉRIENNES, LIGNES SOUTERRAINES OU CÂBLES

■ Puissance réactive consommée par la ligne

En conclusion, on retiendra :

□ Une liaison par câbles fournit de la puissance réactive quelque soit la puissance apparente de la charge.

□ Une liaison par lignes aériennes fournit à vide de la puissance réactive et en consomme en pleine charge.