

# Chapitre II : Types de lignes de transmission et leurs applications

*Antennes et Lignes de transmissions*



Dr. Mounir AMIR

# Table des matières



<b>I - Types de lignes de transmission et leurs applications</b>	<b>4</b>
1. Introduction .....	4
<b>II - Câble Coaxial</b>	<b>5</b>
1. Définition .....	5
2. Paramètres primaires .....	5
2.1. Résistance .....	5
2.2. Inductance .....	6
2.3. Capacité .....	6
2.4. Conductance .....	6
3. Paramètres secondaires .....	7
3.1. Impédance .....	7
3.2. Vitesse de propagation .....	7
3.3. Atténuation .....	7
4. Exemple .....	7
5. Solution .....	7
<b>III - Paires torsadées</b>	<b>9</b>
1. Définition .....	9
2. Paramètres primaires .....	9
2.1. Résistance .....	9
2.2. Inductance .....	10
2.3. Capacité .....	10
2.4. Conductance .....	10
3. Paramètres secondaires .....	10
3.1. Atténuation .....	11
3.2. Impédance .....	11
3.3. Vitesse de propagation .....	11
4. Exemple .....	11
<b>IV - Normes et catégories</b>	<b>12</b>
1. Normes et catégories .....	12
<b>V - EXERCICES</b>	<b>13</b>
1. Exercice 1 .....	13



# Types de lignes de transmission et leurs applications



## 1. Introduction

Nous avons vu au chapitre précédent l'importance et le rôle des paramètres dits primaires  $R$ ,  $L$ ,  $G$  et  $C$  dans la modélisation d'une ligne. La détermination de  $L$  et  $C$  peut être effectuée à partir des lois fondamentales de l'électromagnétisme.

Pour  $R$  et  $G$ , on doit tenir compte des phénomènes liés aux hautes fréquences H.F., pour  $R$  il s'agit de la localisation superficielle des courants dans les conducteurs (effet de peau) et pour  $G$  des pertes de nature conductrice dans le diélectrique.

# Câble Coaxial

II

## 1. Définition

Un câble coaxial est constitué de deux conducteurs cylindriques sur un même axe, séparés par un isolant (Téflon, polythène, polypropylène, air,...), l'impédance sera faible, et aux fréquences élevées, il se comporte comme un guide d'onde. Les câbles coaxiaux ne doivent pas être confondus avec les câbles blindés dont le blindage ne sert qu'à protéger le ou les conducteurs centraux des perturbations extérieures.

Soient  $d_1$  le diamètre du conducteur intérieur de conductivité  $\sigma_1$ ,  $d_2$  le diamètre intérieur du conducteur extérieur de conductivité  $\sigma_2$ ,  $\epsilon_r$  la constante diélectrique relative et  $tg\delta$  le facteur de pertes du diélectrique

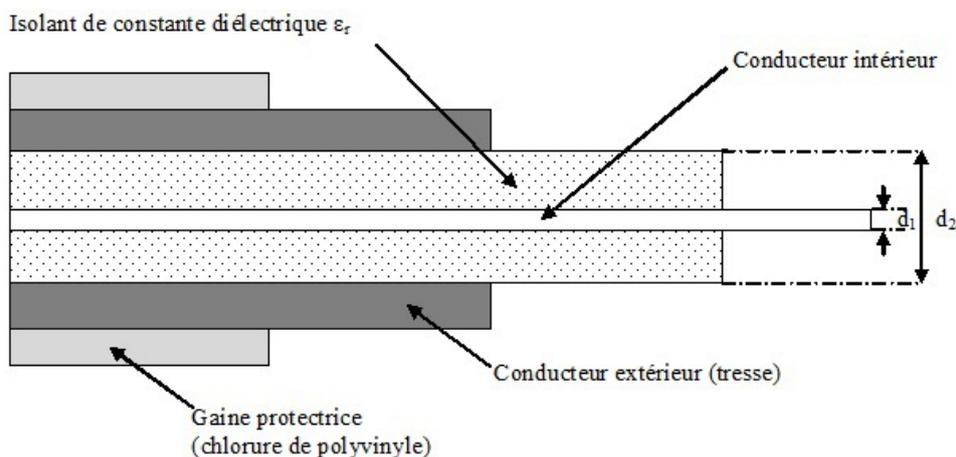


FIGURE 2.1 – Câble Coaxial

## 2. Paramètres primaires

Les valeurs par unité de longueur de la résistance, de l'inductance, de la conductance et de la capacité sont respectivement:

### 2.1. Résistance

En H.F. : \\\

$$R = \sqrt{\frac{\mu_0 f}{\pi}} \left( \frac{1}{d_1 \sqrt{\rho_1}} + \frac{1}{d_2 \sqrt{\rho_2}} \right)$$

si  $\rho_1 = \rho_2$

$$R = \frac{\sqrt{\rho f}}{1580} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)$$

## 2.2. Inductance

D'après le théorème d'Ampère, le flux en un point p intérieur du câble est  $\Phi = L * I$  et le flux calculer par rapport a un élément  $dx$  est :  $d\Phi = \left(\frac{\mu I}{2\pi x}\right) dx$

On intègre de  $d_1$  à  $d_2$ :

$$\Phi = \int_{d_1}^{d_2} d\Phi = \frac{\mu I}{2\pi} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

d'ou

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

avec:  $\mu = \mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$

$$L = 2.10^{-7} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

## 2.3. Capacité

D'après le théorème de Gauss, le champ électrique en un point p intérieur au câble est  $E = \frac{q}{2\pi x \epsilon}$  on intègre de  $d_1$  à  $d_2$

$$U = \int_{d_1}^{d_2} E dx = \frac{q}{2\pi \epsilon} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

$$\text{avec: } C = \frac{q}{U} = \frac{2\pi \epsilon}{\ln(d_2/d_1)}$$

Dans l'isolant on a:  $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$  avec  $\epsilon_0 = 1/(36\pi 10^9)$

donc:\

$$C = \frac{\epsilon_r}{18.10^9 \ln(d_2/d_1)}$$

## 2.4. Conductance

En général on mesure  $tg\delta = G/C\omega$

d'où on peut tirer  $G = C\omega.tg\delta$

### 3. Paramètres secondaires

#### 3.1. Impédance

Les pertes sont très faibles, on a donc :  $Z_0 = \sqrt{L/C}$

$$Z_0 = \frac{\ln(d_2/d_1)}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

#### 3.2. Vitesse de propagation

$$\beta = \omega \sqrt{LC} \Rightarrow v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

$$v = \frac{3.10^8}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

#### 3.3. Atténuation

Avec de faibles pertes on a :

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2}$$

### 4. Exemple

Soit le câble coaxial de type RG58 est utilisé dans les réseaux Ethernet , ce câble est caractérisé par une résistivité  $\rho = 1,610^{-8}\Omega.m$ ,  $D_1 = 0,82$ ,  $D_2 = 2,95mm$  et un diélectrique polyéthylène dont  $\varepsilon_r = 2,3$ .

Calculer les paramètres de ce câble pour les fréquences 10MHz et 200MHz.

### 5. Solution

Paramètres constants :

$$d_2/d_1 = 3,6 \text{ (idéal)}$$

$$C = \frac{\varepsilon_r}{18.10^9 \ln(d_2/d_1)} = 99.7 pF/m$$

$$Z_C = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) = 50.6\Omega$$

$$v = \frac{3.10^8}{\sqrt{\varepsilon_r}} = 2.10^8 m/s$$

Pour la fréquence  $f=10$  MHz :

Solution

$$R = \frac{\sqrt{\rho f}}{1580} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) = 0.38 \Omega/m$$

Pour la fréquence  $f=200$  MHz :

$$R = \frac{\sqrt{\rho f}}{1580} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) = 0.38 \Omega/m$$

# Paires torsadées

III

## 1. Définition

Une paire torsadée est une ligne symétrique formée de deux fils conducteurs enroulés en hélice l'un autour de l'autre. Cette configuration a pour but principal de limiter la sensibilité aux interférences et la diaphonie dans les câbles multipaires.

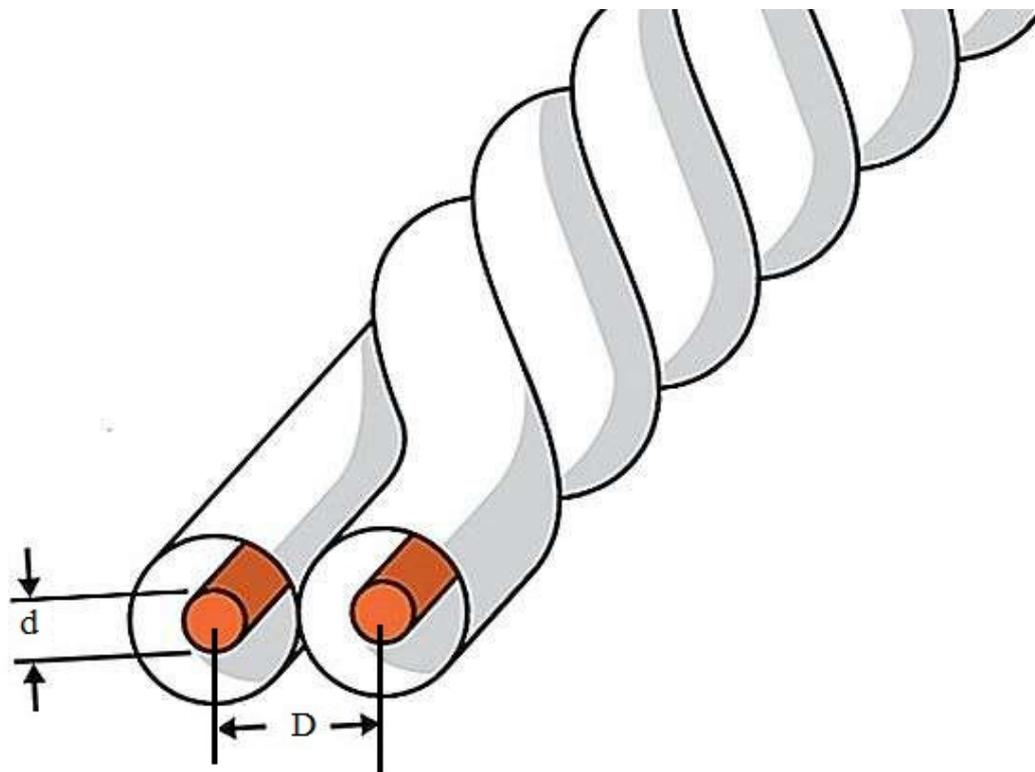


FIGURE 2.2 – Paires torsadées

## 2. Paramètres primaires

Les valeurs par unité de longueur de la résistance, de l'inductance, de la capacité et de la conductance sont déterminées par les équations suivantes:

### 2.1. Résistance

R : dépend du diamètre des conducteurs et de la fréquence

En Basse Fréquence (B.F.):

$$R = 2 \frac{\rho}{s} = 2 \frac{\rho}{\pi r^2}$$

Où  $\rho$  la résistivité et  $r$  le rayon du conducteur \\\

En Haute Fréquence (H.F.) : on doit tenir compte l'effet de peau,

$$s \approx 2\pi r \delta \text{ avec } \delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

$$R = 2 \frac{\rho}{s} = 2 \frac{\sqrt{\rho f}}{1580 \times D}$$

## 2.2. Inductance

L décroît très légèrement avec la fréquence.

A l'aide du théorème d'Ampère on peut calculer :

D = écart entre des axes des conducteurs,  $r$  = rayon,  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$

en continu ou en B.F.

$$L = \frac{\mu_0}{4\pi} \left( 1 + 4 \ln \frac{D}{r} \right) \Rightarrow L = 10^{-7} \left( 1 + 4 \ln \frac{D}{r} \right)$$

en H.F., le courant est en surface (flux intérieur nul)

$$L = \frac{\mu_0}{\pi} \ln \left( \frac{D}{r} - 1 \right) \Rightarrow L = 4 \cdot 10^{-7} \ln \left( \frac{D}{r} - 1 \right) (H/m)$$

## 2.3. Capacité

C dépend des isolants et de l'écart entre les conducteurs (quelques pF/m).

A l'aide du théorème de Gauss on calcule :

D = écart entre des axes des conducteurs,  $r$ =rayon,

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r, \varepsilon_0 = 1/36\pi 10^9$$

$$C = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln(D/r)^2} = \frac{\pi\varepsilon}{\ln(D/r)}$$

$$C = \frac{\varepsilon_r}{36 \cdot 10^9 \ln(D/r)} (F/m)$$

## 2.4. Conductance

G sera toujours négligeable.

$$G = 2\pi^2 \frac{\varepsilon \cdot f \cdot \text{tg}\delta}{\ln(D/r)} = 0.175 \cdot 10^{-9} \frac{\varepsilon_r \cdot f \cdot \text{tg}\delta}{\ln(D/r)} (S/m)$$

## 3. Paramètres secondaires

Les paramètres secondaires peuvent dépendre de la fréquence .

### 3.1. Atténuation

Dans les paires bifilaires, les pertes sont élevées, essentiellement par effet joules (dans R).

$$\text{en B.F., } R \gg L\omega \text{ donc: } \alpha = \sqrt{\frac{RC\omega}{2}} \text{ (Np/m)}$$

$$\text{en H.F., } R \ll L\omega \text{ d'où } \alpha = \frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \text{ (Np/m)}$$

### 3.2. Impédance

L'impédance d'une paire torsadée, d'environ 600  $\Omega$  en B.F. descend rapidement vers une constante de l'ordre de 100  $\Omega$  lorsque la fréquence augmente.

$$\text{En B.F. : } Z_0 = \sqrt{\frac{R}{2C\omega}} (1 - j)$$

$$\text{En H.F. : } Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \text{cte}$$

### 3.3. Vitesse de propagation

La vitesse de propagation passe rapidement d'environ 0,5 à  $2 \cdot 10^8$  m/s.

$$\text{En B.F. : } \beta = \sqrt{\frac{RC\omega}{2}} \text{ donc: } v = \frac{\omega}{\beta} = \sqrt{\frac{2\omega}{RC}}$$

$$\text{En H.F. : } \beta = \omega \sqrt{LC} \text{ donc: } v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \text{cte}$$

## 4. Exemple

Calculer les caractéristiques pour les câbles suivants:

- Câble téléphonique quatre paires fabriqué par des files cuivre monobrin de  $d=0.5\text{mm}$ , un isolant PVC ( $\epsilon_r = 5$ ) à la fréquence 1MHz.
- Câble CAT5 construit par un fil de cuivre monobrin  $d=0.51\text{mm}$ , isolant polyoléfine ( $\epsilon_r = 2.35$ ), un écart  $d=1.04\text{mm}$ , à la fréquence 100MHz.

# Normes et catégories

IV

## 1. Normes et catégories

Dans des domaines techniques comme les réseaux et les télécommunications, la normalisation est indispensable, elle répond aussi bien aux attentes des consommateurs qu'aux besoins des fabricants.

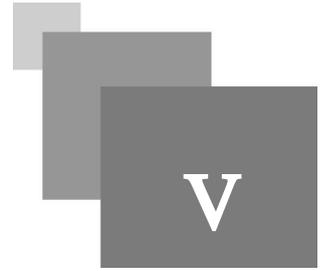
Ils existe des différents organismes de normalisation édictent des avis qui couvrent tous les aspects d'un équipement : aspects électriques, mécaniques, connectique... Les principaux organismes internationaux de normalisation regroupent des représentants des industriels, des administrations, des utilisateurs : l'ISO (pour International Organisation for Standardization) et l'ITU (International Telecommunications Union).

Pour crée une norme il faut passer par plusieurs étapes : premièrement le résultat des compromis entre les différentes parties s'exprime dans un document brouillon appelé 'draft' ; par la suite une forme stable est publiée sous forme de draft proposal. Puis une version du document quasiment définitive est communiquée, elle constitue une base de travail pour les industriels cette version est appelée 'Draft International Standard'. Enfin, l'IS (International Standard) est la forme définitive. L'organisme considéré publie cette dernière, en utilisant une référence qui dépend de son domaine d'application.

Les supports de transmission sont gérés par la norme ISO/CEI 11801 elle spécifie les recommandations en matière de systèmes de câblage de télécommunication. Cette norme possède un champ d'application très large comme la téléphonie analogique, différents standards de communication de données, systèmes de contrôle et de gestion technique du bâtiment, automatisation de production. Il couvre à la fois le câblage cuivré et en fibre optique. Parmi les supports qui sont gérés par cette norme on trouve:

- UTP : 'Unshielded Twisted Pairs' Non blindé, utilisé dans les installations non sensibles.
- FTP : 'Foiled Twisted Pairs' Ecranté (avec feuille d'aluminium) le plus utilisé actuellement en lien permanent dans une installation.
- SFTP : 'Shielded Twisted Pairs' Blindé (avec tresse de masse et feuille d'aluminium) utilisé dans les installation proches des courants forts.
- SSTP : 'Shielded Shielded Twisted Pairs' Chaque paire est blindée séparément et le tout est blindé à son tour, utilisé pour les installations en environnement très difficile ou avec des fréquences de travail très élevées (CAT 6 et plus).

# EXERCICES



## 1. Exercice 1

L'impédance caractéristique d'une ligne à faible pertes est donnée par:\

Soit une ligne coaxial utilisée à 100MHz pour laquelle:  $d_2=1\text{cm}$ ,  $d_2/d_1 = 3.6$ ,  $\sigma_1 = \sigma_2 = 5.8.10^7\text{S/m}$ ,  $\epsilon_r = 2.25$  et  $tg\delta = 10^{-3}$

- 1) Démontrer que les termes en  $R/2L\omega$  et  $G/2C\omega$  peuvent être négligés.
- 2) Établir, dans ces conditions, l'expression de  $Z_C$  et calculer sa valeur numérique

## 2. Exercice 2

Démontrer les formules de  $R$ ,  $C$ ,  $L$  et  $G$  en donnant les paramètres primaires d'une ligne coaxiale, en appliquant les lois fondamentales de l'électromagnétisme.

On notera  $r_1$  et  $r_2$  ( $d_1$  et  $d_2$ ) les rayons (diamètre) des conducteurs intérieur et extérieur.