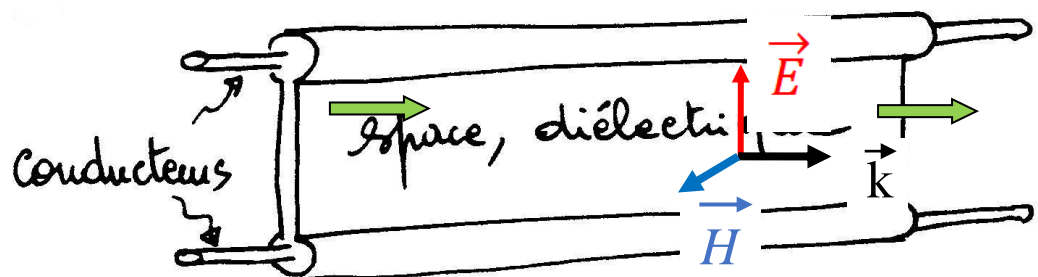


Ondes Electromagnétiques sur les lignes de transmissions

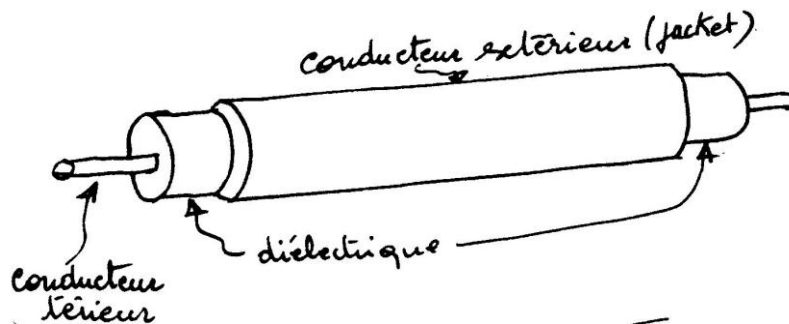
1. Différents types de ligne

Les 3 types de structures guides d'ondes en ligne sont la **ligne bifilaire**, la **ligne coaxiale** et les **lignes microrubans**.

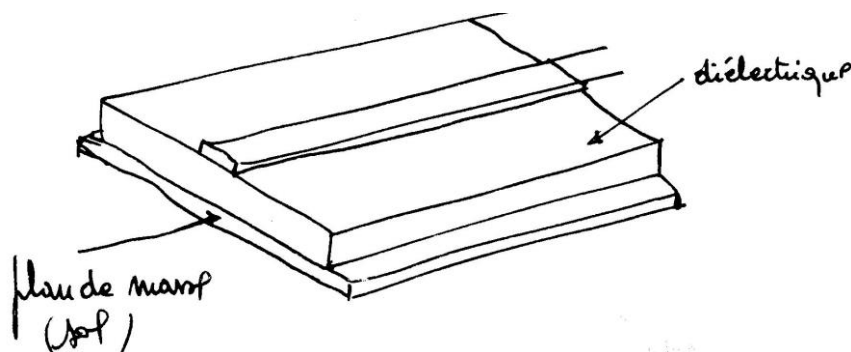
Ces lignes propagent le « mode principal », que l'on appelle le mode TEM (Transversal Electric and Magnetic fields). Cela signifie que \vec{E} et \vec{H} sont toujours **transverses** (perpendiculaires) par rapport à la direction de propagation.



Ligne bifilaire



Ligne coaxiale

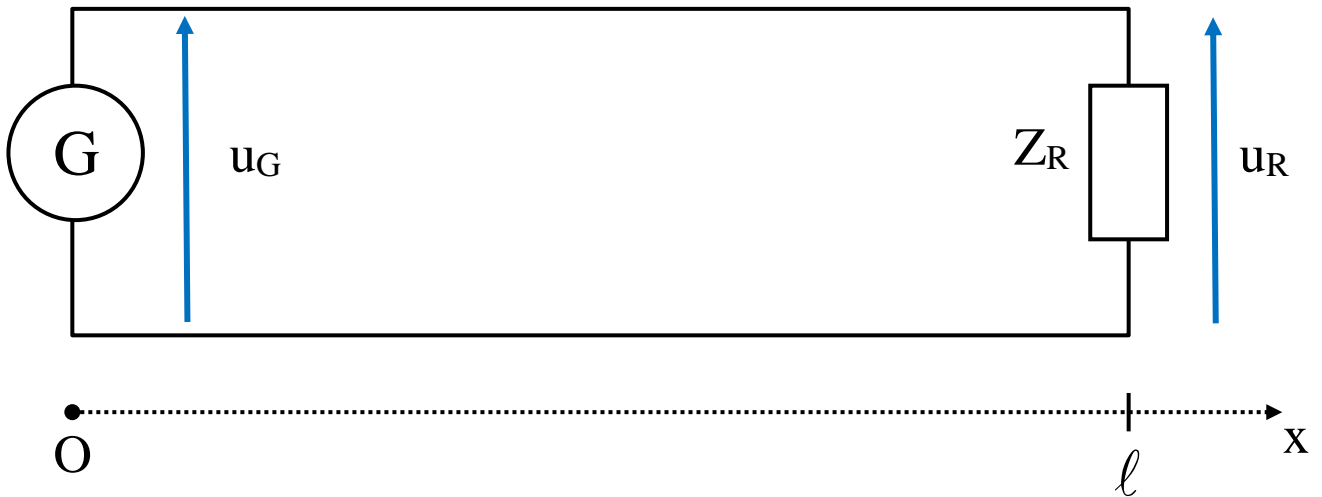


Ligne microruban

2. Phénomènes de propagation le long de lignes électriques

2.1. *Modélisation de la ligne*

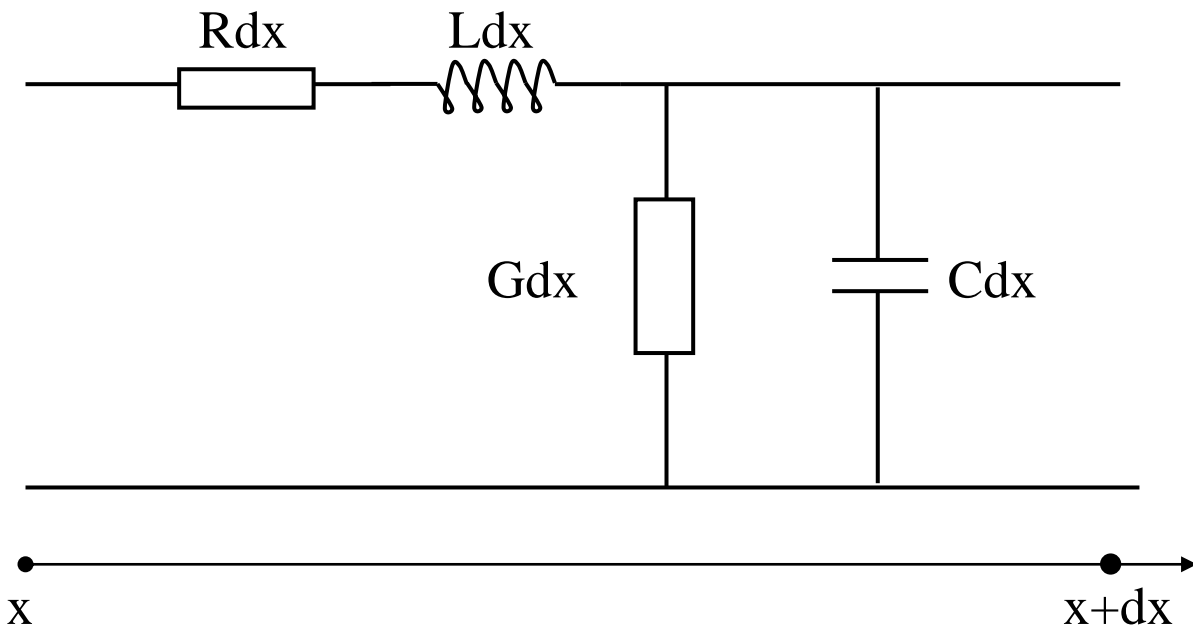
Soit une ligne de transmission de longueur ℓ , alimentée à une extrémité par un générateur de tension H.F. qui délivre une onde de longueur d'onde λ et fermée à l'autre extrémité sur une impédance Z_R .



En haute fréquence, dès que la ligne n'est pas de longueur très faible devant λ , on ne peut la modéliser par un quadripôle unique qui représenterait le comportement électrique de la ligne prise dans sa totalité.

⇒ On ne peut plus écrire $u_R = u_G$

On convient alors de décomposer la ligne en une suite de quadripôles élémentaires de longueur très petite devant λ . On peut alors donner un modèle à **constantes localisées** :



R , L , C et G sont appelés **paramètres primaires** de la ligne avec :

- R : résistance linéique élémentaire, représentant la résistance de la ligne par unité de longueur (Ω / m). Elle dépend de la section et de la nature du conducteur (conductivité). Elle représente la perte de puissance active dans les conducteurs.
- L : inductance linéique (H / m), modélisant la présence de champ électrique inter et intra-structures électriques conductrices.
- C : capacité linéique (F / m), caractérisant la capacité du diélectrique constituant la ligne.
- G : perditance linéique (Ω^{-1}/m), représentant les pertes diélectriques et les défauts d'isolation de la ligne.

2.2. **Domaine de validité**

Les seules lignes pour lesquelles il sera possible de calculer les paramètres primaires sont les lignes dites **T.E.M** où les notions de courant et de tension gardent un sens . Les lignes coaxiales, bifilaires et triplaques en sont de bons exemples.

2.3. **Paramètres secondaires de la ligne**

Les 2 paramètres secondaires de la ligne sont :

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j \cdot L\omega}{G + j \cdot C\omega}}$$

Z_c est l'impédance caractéristique de la ligne

et

$$\gamma = \sqrt{(R + j \cdot L\omega) \cdot (G + j \cdot C\omega)}$$

γ est le coefficient de propagation de la ligne.

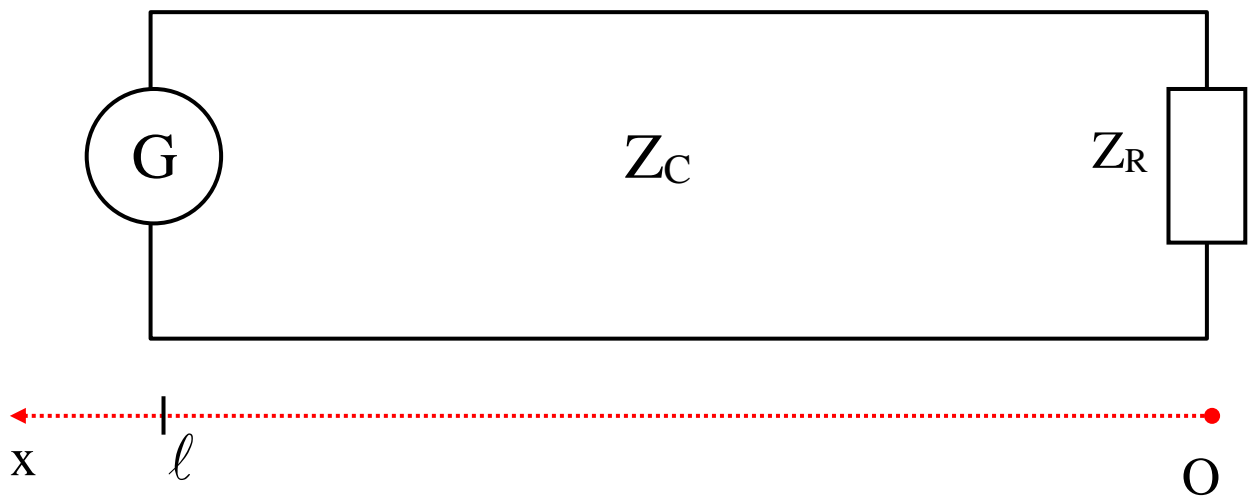
On note aussi que $\gamma = \alpha + j\beta$

$\Rightarrow \alpha$ est la **constante d'atténuation** (en dB/m ou Neper/m ;
1Np = 0,1151dB)

$\Rightarrow \beta$ est la **constante de phase**.

2.4. Réflexion sur les lignes

Pour l'étude de la réflexion, on prend les conventions suivantes :



On montre que **le coefficient de réflexion en bout de ligne** est donné par

$$\tilde{\Gamma} = \frac{Z_R - Z_C}{Z_R + Z_C}$$

$\tilde{\Gamma} = |\tilde{\Gamma}| \cdot e^{j \cdot \varphi}$ peut être un nombre complexe.

Et que **l'impédance équivalente de la ligne** vue du générateur est

$$Z = Z_C \cdot \frac{Z_R + Z_C \cdot \tanh(\gamma \cdot \ell)}{Z_C + Z_R \cdot \tanh(\gamma \cdot \ell)}$$

2.5. Régime de la ligne

On dit qu'une ligne est en **régime adapté** lorsqu'il n'y a pas de réflexion sur celle-ci.

Ceci équivaut à $\tilde{\Gamma} = 0$.

Or,

$$\tilde{\Gamma} = \frac{Z_R - Z_C}{Z_R + Z_C}$$

où

- Z_R est l'impédance de la charge
- Z_C est l'impédance caractéristique de la ligne

Donc **la ligne est adaptée** si :

$$Z_R = Z_C$$

Dans ce cas l'impédance équivalente d'une longueur l de ligne vue du générateur est :

$$Z(\ell) = Z_C \quad \forall \ell$$

\Rightarrow l'impédance vue du générateur est égale à l'impédance caractéristique de la ligne Z_C .

Dans ce cas, nous avons des **ondes progressives**.

⌘ Dans le cas où $1 > |\tilde{\Gamma}| > 0$, il apparaît des **ondes semi-stationnaires** sur la ligne.

⌘ Dans le cas où $|\tilde{\Gamma}| = 1$, il y a des **ondes stationnaires** sur la ligne. L'énergie électrique ne se propage alors pas sur la ligne.

2.1. *Rapport d'ondes stationnaires*

Pour mesurer le régime sur la ligne on utilise le Rapport d'Ondes Stationnaires (ROS ou SWR en Anglais) :

$$\rho = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{1 + |\tilde{\Gamma}|}{1 - |\tilde{\Gamma}|}$$

Où

- U_{\max} est l'amplitude maximale de la tension mesurée le long de la ligne
- U_{\min} est l'amplitude minimale de la tension mesurée le long de la ligne

↯ Dans le cas de la ligne adaptée :

$\tilde{\Gamma} = 0 \Rightarrow \rho = 1$ et $U_{\max} = U_{\min}$. Il n'y a pas de variation de l'amplitude de la tension le long de la ligne.

↯ Si $1 > |\tilde{\Gamma}| > 0$ alors $+\infty > \rho > 1$

On considère que si $2 > \rho > 1$, le fonctionnement de la ligne est correct.

Simulateur :

https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Ondes/ondes_stationnaires/stationnaires.php