



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis de  
Mostaganem  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M.... /GE/2020

## MEMOIRE

Présentation pour obtenir le diplôme de

### MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

**Filière** : Télécommunications

**Spécialité** : Systèmes des télécommunications

Par

AMRAOUI Fatima & BELBACHIR Ikram.

### ETUDE ET SIMULATION D'UNE LIGNE MICRORUBAN PAR LOGICIEL ADS

**Président(e)** : Mme. BECHIRI Fatiha M.C.B Université de Mostaganem

**Examineur** : M. BENAOUALI Mohamed M.A.A Université de Mostaganem

**Encadreur** : Mme. BENCHELLAL Amel M.C.B Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2019/2020

# Remerciements

Tout d'abord on remercie notre bon DIEU pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté pour mener à terme ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreur Madame Amel BENCHALLAL pour avoir accepté de diriger ce travail. Nous la remercions pour sa confiance et nous lui exprimons notre profonde gratitude.

Nos vifs remerciements s'adressent à Mr. AHMADOUCHE, et Mr BENAOULI pour leurs précieux conseils, nos remerciements s'adressent aussi à Mme F. BECHIRI pour le temps qu'elle a consacré à la lecture de ce mémoire.

Et enfin, merci à l'ensemble de l'équipe du département génie électrique.

# dédicaces

---

➤ **AMRAOUI Fatima**

Aux être qui me sont les plus chers, qui ont eu un rôle essentiel et continu pendant mes études, et qui sans eux aucune réussite n'aurait été possible.

A mes chers parents.

A mes frères, et mes sœurs, surtout mon binôme.

A tous mes amis, et toute la promotion du système de télécommunications.

➤ **BELBACHIR Ikram**

Aux être qui me sont les plus chers, qui ont eu un rôle essentiel et continu pendant mes études, et qui sans eux aucune réussite n'aurait été possible.

A mes chers parents.

A mes frères, et mes sœurs, surtout mon binôme.

A tous mes amis.

## Liste des matériaux

<b>LISTES DES FIGURES</b> .....	<b>7</b>
---------------------------------	----------

### **CHAPITRE 1: Les lignes de transmission.**

<b>1. INTRODUCTION</b> :.....	<b>13</b>
<b>2. DÉFINITION</b> :.....	<b>14</b>
<b>3. LES TYPES DES LIGNES DE TRANSMISSION:</b> .....	<b>14</b>
3.1. CÂBLE COAXIAL : .....	15
3.1.1. Généralité :.....	15
3.1.2. Les caractéristiques :.....	16
3.1.3. Les applications :.....	16
3.1.4. Les avantages et les inconvénients :.....	17
3.2. LIGNE BIFILAIRE : .....	17
3.2.1. Généralité :.....	17
3.2.2. Caractéristique d'une ligne bifilaire :.....	18
3.2.3. Les applications :.....	18
3.2.4. Les avantages et les inconvénients :.....	19
3.3. PAIRE TORSADÉE : .....	19
3.3.1. Généralité :.....	19
3.3.2. Les caractéristiques des paires torsadées :.....	20
3.3.3. Les différents types :.....	21
3.3.4. Les avantages et Les inconvénients :.....	21
3.4. LA FIBRE OPTIQUE : .....	22
3.4.1. Généralité :.....	22
3.4.2. Principe de fonctionnement :.....	24
3.4.3. Les types de fibre optique :.....	24
3.4.3.1. Fibre optique monomode :.....	24
3.4.3.2. Fibre optique multimode :.....	25
3.4.3.2.1. Saut d'indice :.....	25
3.4.3.2.2. Gradient d'indice :.....	26

3.4.4. Domaine d'application: .....	26
3.4.4.1. Médecine : .....	26
3.4.4.3. Amplification optique : .....	27
3.4.4.3. Eclairage : .....	27
Figure 1.13: Eclairage par fibre optique. ....	27
3.4.5. Les avantages et les inconvénients : .....	28
<b>4. CONCLUSION: .....</b>	<b>28</b>

## **CHAPITRE 2 : Propriétés d'une ligne de transmission.**

<b>1. INTRODUCTION : .....</b>	<b>30</b>
<b>2. CARACTÉRISTIQUES DES LIGNES DE TRANSMISSION : .....</b>	<b>31</b>
2.1. L'IMPÉDANCE CARACTÉRISTIQUE : .....	31
2.2. AFFAIBLISSEMENT : .....	32
2.3. LA VITESSE DE PROPAGATION : .....	32
2.4. DÉPHASAGE : .....	32
2.5. BANDE PASSANTE : .....	33
2.6. BRUIT : .....	33
2.6.1. Bruit blanc : .....	33
2.6.2. Bruit impulsif : .....	34
<b>3. MODÈLE ÉQUIVALENT DE LA LIGNE DE TRANSMISSION : .....</b>	<b>34</b>
3.1. PROPAGATION ÉLECTROMAGNÉTIQUE : .....	34
3.2. LA MODÉLISATION : .....	36
3.2.1. Modèle à constante réparties : .....	36
3.2.2. Cas particulier : ligne sans pertes : .....	39
<b>4. LES LIGNES DE TRANSMISSION ET LA PUISSANCE RÉFLÉCHIE: .....</b>	<b>40</b>
4.1. LES PARAMÈTRES S : .....	40
<b>5. CONCLUSION : .....</b>	<b>41</b>

## **CHAPITRE 3 : Simulation d'une ligne de transmission par ADS.**

<b>1. INTRODUCTION : .....</b>	<b>43</b>
<b>2. PARTIE I: PRÉSENTATION D'UNE LIGNE MICRO-RUBAN : .....</b>	<b>43</b>

2.1. STRUCTURE DE LA LIGNE MICRO-RUBAN :	44
2.2. CARACTÉRISTIQUES D'UNE LIGNE MICRO RUBAN:	44
2.3. LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS :	45
2.3.1. Les avantage :	45
2.3.2. Les inconvénients :	45
2.4. L'IMPÉDANCE CARACTÉRISTIQUE :	45
2.5. CONSTANTE DIÉLECTRIQUE EFFECTIVE	47
2.6. LA LONGUEUR D'ONDE :	47
2.7. FORMULES D'ANALYSE :	48
2.8. FORMULES DE SYNTHÈSE D'UNE LIGNE MICRO RUBAN :	48
<b>3. PARTIE II : ETUDE ET SIMULATION</b>	<b>49</b>
3.1. PRÉSENTATION DE LOGICIEL ADS :	49
3.1.1. Généralité sur ADS :	49
3.1.2. Création d'un espace de travail dans ADS :	50
3.1.3. Les différentes fenêtres de logiciel :	50
3.2. CARACTÉRISATION D'UNE LIGNE MICRO RUBAN :	52
3.3. ADAPTATION DE L'IMPÉDANCE	54
3.3.1. Pour $Z_c = 35 \text{ ohm}$ .	54
3.3.2. Pour $Z_c = 50 \text{ ohm}$ .	55
3.3.3. Pour $Z_c = 100 \text{ ohm}$ .	56
<b>4. CONCLUSION :</b>	<b>57</b>

## Listes des figures

### Chapitre 1

Figure 1.1 : classification des lignes de transmission .....	12
Figure 1.2 : câble coaxial .....	13
Figure 1.3 : les couches ligne bifilaire .....	16
Figure 1.4 : paire torsadée.....	17
Figure 1.5 : un câble UTP contenant 4 paires torsadées .....	18
Figure 1.6 : la fibre optique .....	21
Figure 1.7 : structure d'une fibre optique .....	22
Figure 1.8 : le guidage de la lumière dans une fibre optique .....	22
Figure 1.9 : fibre optique monomode .....	23
Figure 1.10 : fibre optique multimode à saut d'indice .....	24
Figure 1.11 : fibre optique multimode à gradient d'indice .....	25
Figure 1.12 : un endoscope .....	25
Figure 1.13 : Eclairage par fibre optique .....	26

### Chapitre 2

Figure 2.1: Distorsion du signal par la ligne de transmission.....	31
Figure 2.2: Structure d'une onde TEM plane.....	34
Figure 2.3: Schéma d'une ligne de transmission.....	35
Figure 2.4: Modèle équivalent de la ligne de transmission uniforme de longueur élémentaire...36	
Figure 2.5 : Signaux aux bornes d'une composante de quadripôle.....	40

## Chapitre 3

Figure 3.1: Ligne micro-ruban.....	43
Figure 3.2: Structure de ligne micro-ruban.....	44
Figure 3.3: Création d'un nouveau projet.....	50
Figure 3.4 : Fenêtre de schémas.....	51
Figure 3.5 : Fenêtre de simulation.....	51
Figure 3.6 : Schéma de simulation d'une ligne microtron.....	52
Figure 3.7 : Calcul de W par l'outil LineCalc.....	53
Figure 3.8: Schéma de simulation de la ligne micro ruban.....	54
Figure3.9: Variation du coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence pour $Z_c= 35$ Ohm.....	55
Figure3.10: Variation du coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence pour $Z_c= 50$ Ohm.....	56
Figure3.11: Variation du coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence pour $Z_c= 50$ Ohm.....	56

## **Résumé :**

Il est clair que le transfert d'information dans une ligne est fortement lié au type d'information et ainsi au mode de propagation de l'onde transmise à l'intérieur de ces lignes. Le mode TEM et quasi-TEM sont les modes de propagation les plus utilisées et qui permettent de formuler une modélisation adéquate et plus ou moins simplifiée de la ligne transportant ce signal. Dans ce travail, une simulation de la ligne micro ruban est proposée avec le logiciel ADS, en essayant de caractériser une ligne correspondant au circuit imprimé classique en verre époxy. Cette simulation permet d'affirmer la dépendance entre impédance caractéristique et la géométrie de cette même ligne. En cherchant à maximiser le transfert d'énergie depuis la source vers la charge, une simulation toujours par ADS, traite le problème d'adaptation d'impédance en représentant l'allure du coefficient de réflexion.

**Mots clés :** lignes de transmission, modélisation, ligne micro ruban, logiciel ADS.

## **Abstract:**

It is clear that the transfer of information in a line is strongly linked to the type of information and thus to the mode of propagation of the wave transmitted within these lines. The TEM and quasi-TEM mode are the most widely used modes of propagation and which make it possible to formulate an adequate and more or less simplified modeling of the line carrying this signal. In this work, a simulation of the micro ribbon line is proposed with the ADS software, trying to characterize a line corresponding to the classic epoxy glass printed circuit. This simulation makes it possible to affirm the dependence between characteristic impedance and the geometry of this same line. By seeking to maximize the transfer of energy from the source to the load, a simulation still by ADS, addresses the problem of impedance matching by representing the shape of the reflection coefficient.

**Keywords:** transmission lines, modeling, micro ribbon line, ADS software, adaptation.

## **ملخص :**

من الواضح أن نقل المعلومات في خط ما يرتبط ارتباطاً وثيقاً بنوع المعلومات وبالتالي بطريقة انتشار الموجة المرسله داخل هذه الخطوط. يعتبر الوضعان TEM و شبه TEM أكثر أساليب الانتشار استخداماً والتي تجعل من الممكن صياغة نموذج مناسب ومبسط إلى حد ما للخط الذي يحمل هذه الإشارة. في هذا العمل ، تم اقتراح محاكاة لخط الشريط الصغير باستخدام برنامج ADS ، في محاولة لتوصيف خط يتوافق مع الدائرة المطبوعة بزجاج الإيبوكسي الكلاسيكي. هذه المحاكاة تجعل من

الممكن تأكيد الاعتماد بين المعاوقة المميزة وهندسة هذا الخط نفسه. من خلال السعي لتحقيق أقصى قدر من نقل الطاقة من المصدر إلى الحمل، تعالج المحاكاة دائما بواسطة ADS لمشكلة مطابقة المعاوقة من خلال تمثيل شكل معامل الانعكاس.

**الكلمات المفتاحية:** خطوط النقل، النمذجة، خط الشريط الصغير، برنامج ADS

## **Introduction général**

Le domaine des télécommunications a connu des progrès technique ces dernières années grâce à la forte demande de la population et des institutions industrielles en raison de leur besoin de communication rapide et s'assurer un transfert d'informations entre elles rapidement, avec précision et efficacité. Parmi les moyens utilisés pour transférer des informations et des données figurent les lignes de transmission qui se sont développées au fil du temps, allant d'un simple câble coaxial jusqu'à l'utilisation de la fibre optique.

Ce développement des dispositifs, des lignes en usage des télécommunications qui sont en constante évolution est dû principalement à la nécessité de transférer toujours plus d'information, le plus rapidement possible. Ainsi, les fréquences utilisées sont de plus en plus élevées et les dimensions des systèmes évoluent dans le sens inverse.

Ce travail a pour but la caractérisation d'une ligne de transmission en technologie micro ruban à travers ses réponses fréquentielles. Cette caractérisation est possible en utilisant le logiciel ADS qui permet d'effectuer des simulations du comportement temporelle et fréquentielle de la ligne micro ruban.

L'ensemble des chapitres s'organise en partant de quelques généralités sur les lignes de transmission, nous avons donc parlé des lignes de transmission les plus courantes et les plus utilisées dans la transmission de l'information : le câble coaxial, lignes bifilaires et en derniers les lignes en technologie optique en évoquant au passage leurs domaines d'utilisation, avantage et inconvénients.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les différentes caractéristiques de base qui caractérisent les lignes de transmission dans le principe de leur fonctionnement, nous mentionnons par exemple l'impédance caractéristique, constante d'affaiblissement, la vitesse de propagation...etc. Ce qui nous permet de modéliser et de simuler tout type de lignes de transmission.

En fin, dans le dernier chapitre, nous avons proposé le logiciel ADS très connu et très utilisé dans la description du comportement électrique des structures (lignes) à partir de la bibliothèque des modèles et par la suite générer des masques (layouts) qui intègrent les paramètres géométriques sous forme d'un schéma.

# Chapitre 1

Les lignes de transmission

## 1. Introduction :

La technologie des télécommunications s'est développée et est devenue sensible aux besoins des abonnés et des entreprises, y compris publiques et privées. Le but de cette technologie est de transférer des informations entre différents utilisateurs et de leur permettre d'interagir assez facilement, en s'appuyant sur des lignes de transmission inventées à cet effet.

La ligne de transmission (câble coaxial, paire torsadée, bifilaire, fibre optique...) est un ensemble de deux conducteurs acheminant un signal électrique, d'une source (ou émetteur) vers une charge (ou récepteur). De plus, une ligne de transmission est une ligne utilisée pour transmettre de l'énergie électrique sur de longues distances à haute tension. La valeur de cette tension est proportionnelle à la quantité de puissance et à la longueur de la ligne de transmission. Les lignes de transport se caractérisent par leur haute tension et leur grande capacité (quantité en mouvement).

Les lignes de transmission les plus courantes sont par deux groupes de réseaux : le réseau informatique, et le réseau de télécoms.

Un réseau informatique est un réseau dans lequel les ordinateurs sont connectés par un support de transmission, souvent constitué de fil de cuivre ou de fibre optiques. Dans d'autre cas, la transmission se fait sans fil, c'est-à-dire en utilisant un support non dirigé, comme les technologies basées sur l'infrarouge, les ondes radio ou les micro-ondes. [2]

En ce qui concerne le réseau télécoms, il reposait d'abord sur un câble coaxial (signal analogique support câble coaxial), mais ce dernier a été remplacé par des fibres optiques (signal numérique support fibre optique), car la fibre optique est plus efficace que le câble coaxial en termes de vitesse de transmission des données, de résistance au bruit et interférences, de dimensions, de bande passante, de pertes, etc.

En plus de la fibre optique et câble coaxial, ils existent d'autres modèles de câbles de transmission comme les paires torsadées et les lignes bifilaires. Elle est utilisée spécifiquement dans la ligne téléphonique.

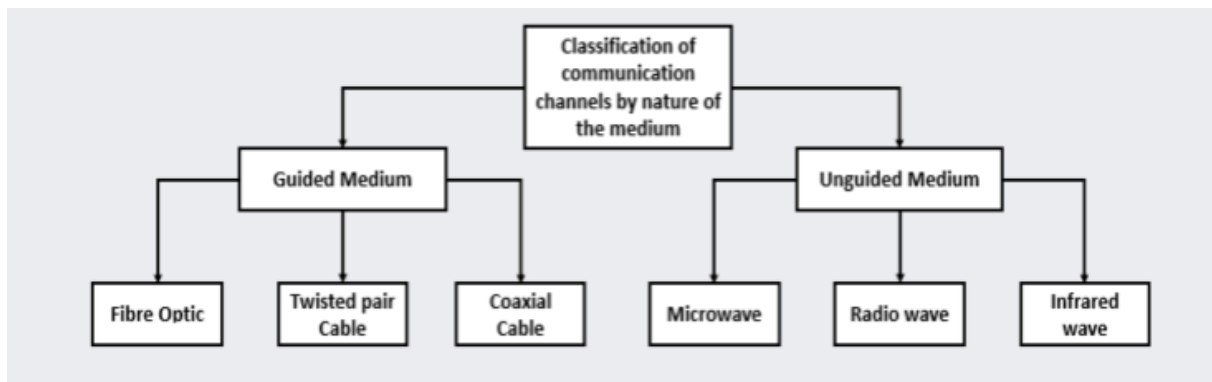


Figure 1.1 : Classification des lignes de transmission. [2]

## 2. Définition :

Les lignes de transmission permettent la transmission de signaux transportant différents types d'informations, et aussi les technologies utilisées pour les lignes de transmission dépendent du type d'informations transmises.

Donc, la ligne de transmission (**anglais : Transmission Line**) est un groupe (en fait si l'on considère la masse) de deux conducteurs ou plus qui transportent ensemble un signal électrique (souvent à haute fréquence). Les lignes de transmission les plus courants sont les câbles coaxiaux, les lignes bifilaires, les paires torsadées et ainsi la fibre optique. Sur les circuits imprimés et les circuits intégrés, des lignes micro ruban et coplanaires sont couramment trouvées.

## 3. Les types des lignes de transmission :

Les lignes de transmission sont regroupées par deux grandeurs physiques :

- Ligne avec un guide physique :
  - Cuivre : paire téléphonique (câble coaxial, bifilaire, torsadée,).
  - Fibre optique.
- ligne sans guide physique :
  - Faisceau hertzien.

### 3.1. Câble coaxial :

#### 3.1.1. Généralité :

Le câble coaxial est une ligne de transmission utilisée au niveau des réseaux pour relier les ordinateurs afin d'échanger des données.

Le câble coaxial se compose d'un fil de cuivre solide enveloppé d'une couche plastique. Elle-même entourée d'une feuille ou tresse métallique. Le câble est entièrement recouvert d'une gaine plastique flexible. Bien que la feuille ou tresse métallique protège les transmissions des informations contre les interférences, les signaux électriques adjacents peuvent perturber la transmission des signaux. (Voir figure 1.2)

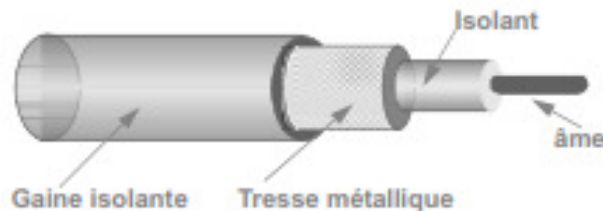


Figure 1.2 : Câble coaxial. [7]

La bande passante mesure la quantité d'informations qui peut être transférée simultanément à l'aide d'une ligne donnée. Dans les réseaux qui utilisent le câble coaxial, la vitesse de transmission moyenne est de 10 Mbps.

Un câble coaxial se compose de deux conducteurs cylindriques sur même axe, séparés par un isolant de haute qualité (Téflon, polythène, polypropylène, air..), l'impédance sera faible et aux fréquences élevées il se comporte comme un guide d'onde. Le câble coaxial est composé des éléments suivants : [8]

- ❖ La gaine : permet de protéger le câble de l'environnement extérieur, il est généralement en caoutchouc (parfois en polyvinyle (PVC), et éventuellement en téflon).

- ❖ Le blindage (enveloppe métallique) entourant les câbles permet de protéger les données transmises sur le support des parasites (appelés bruits) qui peuvent provoquer des distorsions de données.
- ❖ L'isolant : entourant la partie centrale est constituée d'un matériau isolant qui permet d'éviter tout contact avec le blindage, provoquant des réactions électrique (court-circuit).
- ❖ L'âme : qui effectue la tâche de transfert de données se compose généralement d'un brin de cuivre ou de plusieurs brins torsadés.

### 3.1.2. Les caractéristiques :

- Caractéristiques mécaniques du câble coaxial :
  - la nature du conducteur et ses dimensions.
  - les diamètres intérieur de la gaine et extérieur du conducteur central (celui-ci est parfois creux).
  - la nature du diélectrique.
- Caractéristiques électriques du câble coaxial :
  - son impédance caractéristique  $Z_c$ , standardisée à 75 ohms pour la TV (SAT et TNT), la radio FM, la vidéo ou l'audio, et à 50 ohms pour l'instrumentation ou la connexion
  - d'antennes Wifi, les hyperfréquences et les anciens réseaux Ethernet, de même que les installations d'émission en général.
  - sa constante d'affaiblissement  $\alpha$  à une fréquence donnée, qui traduit les pertes dans la ligne.

### 3.1.3. Les applications :

Il est possible de trouver un câble coaxial :

- ❖ entre une antenne TV et un récepteur de télévision ;
- ❖ dans les réseaux câblés urbains (télévision par câble et accès à Internet : DOCSIS) ;
- ❖ entre un émetteur et l'antenne d'émission, par exemple une carte électronique Wifi et son antenne ;
- ❖ entre des équipements de traitement du son (microphone, amplificateur, lecteur CD...)

- ❖ pour les liaisons interurbaines téléphoniques et dans les câbles sous-marins ;
- ❖ pour le transport d'un signal vidéo, exemple caméra filaire déportée, sur des distances significatives (plusieurs dizaines de mètres).

### 3.1.4. Les avantages et les inconvénients :

#### ➤ Les avantages :

- Caractéristique intéressantes et Immunité aux bruits électromagnétiques.
- Transmission des données numériques (50 Ohms) et analogiques (75 Ohm).

#### ➤ Les inconvénients :

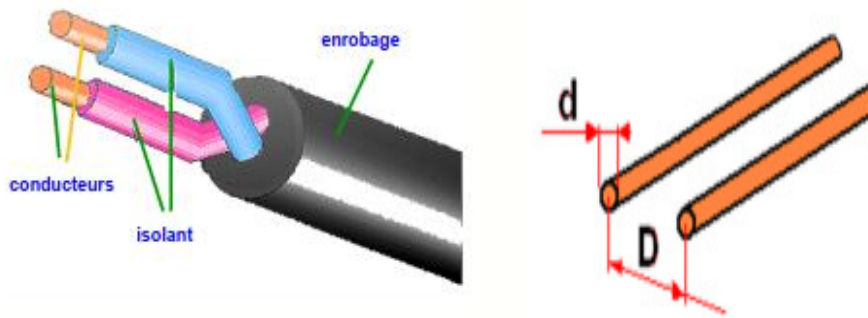
- Difficulté d'installation et manque d'adaptation face aux modifications.
- Le cout reste plus élevé que celui de la paire torsadée pour des performances maintenant identiques.

## 3.2. Ligne bifilaire :

### 3.2.1. Généralités :

Comme son nom l'indique, une ligne bifilaire est composée de deux fils parallèles. Les deux conducteurs sont maintenus à distance fixe par des entretoises isolantes ou par une bande en polyéthylène perforé ou non. L'impédance caractéristique des lignes bifilaires est de l'ordre de quelques centaines d'ohms. On les utilise surtout pour l'alimentation d'antennes à impédance élevée au point d'alimentation.

Contrairement au câble coaxial, la ligne bifilaire doit être éloignée des blocs métalliques et des bâtiments. Une mauvaise symétrie d'antenne peut provoquer un déséquilibre des courants dans les conducteurs de la ligne qui peut alors rayonner de façon inopportune. (Voir figure 1.3)



**Figure 1.3 :** Les couches ligne bifilaire

Elle est relativement peu coûteuse et facile à réaliser, mais elle est sensible aux parasites externes. La ligne est utilisée pour les liaisons télégraphiques, et est également utilisée pour les liaisons téléphoniques.

### 3.2.2. Caractéristique d'une ligne bifilaire :

Elle est principalement caractérisée par :

- ❖ son impédance caractéristique  $Z_c$ , typiquement 300 ohms pour les antennes de TV et FM par le passé - 450 et 600 ohms en émission radio ;
- ❖ sa constante d'affaiblissement  $\alpha$  à une fréquence donnée, qui traduit les pertes dans la ligne ;
- ❖ un facteur de vitesse qui dépend du matériau isolant et des fenêtres vides dans celui-ci. Typiquement on trouve 0,66 pour du polyéthylène plein, 0,85 s'il possède des fenêtres et de 0,92 à 0,97 pour une ligne constituée de fils parallèles munis d'écarteurs en matière plastique ;
- ❖ une tension de claquage déterminée par le rapport d'ondes stationnaires admissible beaucoup plus élevé que pour une ligne coaxiale.

### 3.2.3. Les applications :

- ❖ On utilise essentiellement dans les réseaux locaux
- ❖ lignes téléphoniques.
- ❖ On utilise parfois des lignes bifilaires de longueurs adaptées pour alimenter les différentes antennes THF composant un groupement.

### 3.2.4. Les avantages et les inconvénients :

➤ Les avantages :

- Peu coûteux
- Le prix de revient est relativement faible

➤ Les inconvénients :

- Pertes élevées
- Débit limité

### 3.3. Paire torsadée :

#### 3.3.1. Généralité :

Le câble à paire torsadée est souvent utilisé pour les communications de téléphone et la plupart des réseaux Ethernet modernes. Il s'agit d'un type de fil dans lequel deux conducteurs sont enroulés à partir du même circuit. Sur les réseaux informatiques, utiliser le connecteur de type RJ45.

Un câble pair torsadé décrit le modèle de câblage dans lequel la ligne de transmission est formée de deux conducteurs enroulés en hélice l'un autour de l'autre, et cette configuration vise à maintenir avec précision la distance entre les fils et à réduire diaphonies

Le maintien de la distance entre les fils de la paire permet de déterminer l'impédance caractéristique de la paire, afin de supprimer les réflexions de signaux aux raccords et en bout de ligne. (Voir figure 1.4)



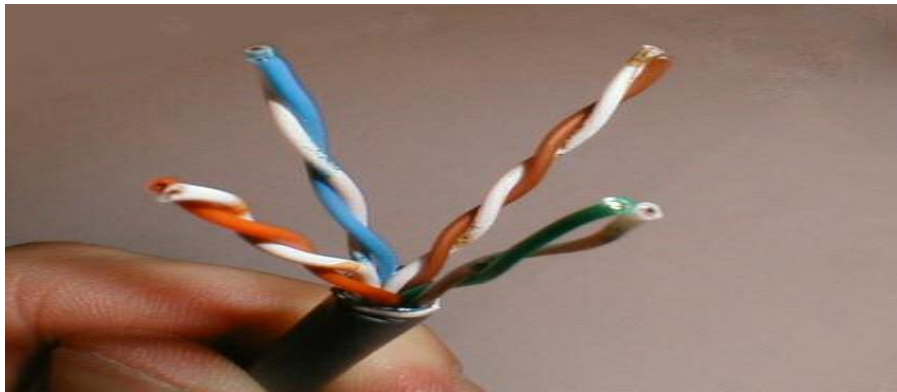
**Figure 1.4 :** Paire torsadée. [2]

Les contraintes géométriques (épaisseur d'isolation / diamètre du fil) maintiennent cette impédance autour de 100 ohms :

- ❖ 100 ohms pour les réseaux Ethernet en étoile.
- ❖ 150 ou bien 105 ohms pour les réseaux token ring.
- ❖ 100 ou bien 120 ohms pour les réseaux de téléphonie.
- ❖ 90 ohms pour les câbles USB.

Plus le nombre de torsades est important, plus la diaphonie est réduite. Le nombre de torsades moyen par mètre fait partie de la spécification du câble, mais chaque paire d'un câble est torsadée de manière légèrement différente pour éviter la diaphonie.

L'utilisation de signaux différentiels symétriques réduit les interférences. (Voir figure 1.5)



**Figure 1.5 :** Un câble UTP contenant 4 paires torsadées

### 3.3.2. Les caractéristiques des paires torsadées :

Les caractéristiques de la paire torsadée sont les suivantes :

- ❖ Répond aux spécifications de la norme « 10 base T »
- ❖ Très utilisé pour les réseaux locaux
- ❖ Une longueur maximale de 100 mètres
- ❖ Un débit de 10 à 100 Mb/s
- ❖ Un câblage peu coûteux, c'est le moins cher
- ❖ Une installation et des connexions simples
- ❖ La plus grande flexibilité du câble

- ❖ La plus grande vulnérabilité aux interférences
- ❖ Un choix fiable mais qui ne garantit l'intégrité pas des données transmises sur de longues distances et à des débits élevés...

### 3.3.3. Les différents types :

Il existe plusieurs types de paires torsadées : [5]

- **Paire torsadée non blindée** : (UTP Unshielded Twisted Pair)-le nom officiel U/UTP.

La paire torsadée non blindée n'est entourée d'aucun blindage protecteur.

- **Paire torsadée écrantée** : (FTP Foiled Twisted Pair)- le nom officiel F/UTP. L'ensemble des paires torsadées a un blindage global assuré par une feuille d'aluminium. L'écran est disposé entre la gaine extérieure et les 4 paires torsadées. Les paires torsadées ne sont pas individuellement blindées.

- **Paire torsadée blindée** : (STP Shielded Twisted Pair)-le nom officiel U/FTP. Chaque paire torsadée blindée est entourée d'un feuillard en aluminium, de façon similaire à un câble coaxial.

- **Paire torsadée doublement écrantée** : (FFTP Foiled Foiled Twisted Pair)-le nom officiel F/FTP. Chaque paire torsadée est entourée d'une feuille de blindage en aluminium. L'ensemble des paires torsadées a une feuille de blindage collectif en aluminium.

- **Paire torsadée écrantée et blindée** : (SFTP Shielded Foiled Twisted Pair)-le nom officiel SF/UTP. Câble doté d'un double écran (feuille métallisée et tresse) commun à l'ensemble des paires. Les paires torsadées ne sont pas individuellement blindées (contrairement à ce que le terme Shielded Foiled Twisted Pair pourrait faire croire).

- **Paire torsadée super blindée** : (SSTP Super Shielded Twisted Paire)-le nom officiel S/FTP. Chacune des paires torsadées est blindée par un écran en aluminium, et en plus la gaine extérieure est blindée par une tresse en cuivre étamé.

### 3.3.4. Les avantages et Les inconvénients :

- Les avantages de ces câbles sont :

- L'encombrement physique est minimisé, les rayons de courbures sont faibles.

- Installation peut être réalisée sans compétence particulières.
- Le prix de revient est relativement faible.
- Les débits obtenus sur des réseaux locaux sont élevés.

➤ Les inconvénients de ces câbles sont :

- Sensibilité au bruit.
- Faible largeur de bande.
- Faible débit.

### 3.4. La Fibre Optique :

#### 3.4.1. Généralité :

La fibre optique est une ligne de transmission d'information entre les ordinateurs à l'aide de signaux optiques au sein d'un réseau. Les informations sont échangées entre les ordinateurs se font à l'aide de signaux électriques.

La fibre optique est cependant un support idéal pour transmission des informations sur le réseau : Elle n'est pas affectée par les interférences car elle ne génère pas de signaux électriques. Elle est sécurisée, car ce type de système ne permet pas la mise sur écoute. Elle peut parcourir de nombreux kilomètres sans aucune détérioration du signal. Quant à la bande passante, elle peut atteindre une vitesse supérieure à 2 Gigabits par seconde (2 Gbps). (Voir figure 1.6)

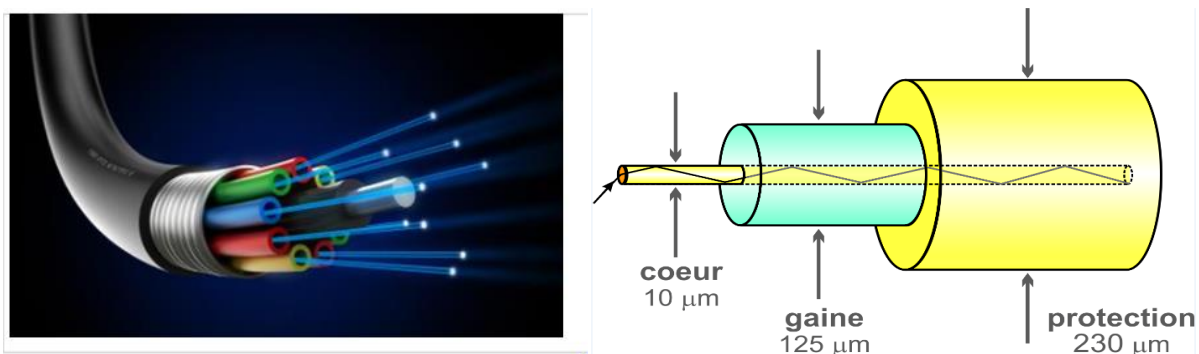


Figure 1.6 : La fibre optique. [4]

Une fibre optique est un fil dont l'âme, très précise, en verre ou en plastique, a la propriété de conduire la lumière et sert pour la fibroscopie, l'éclairage ou la

transmission de données numériques. Elle fournit un débit d'information beaucoup plus élevé que les câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel passent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques.

La fibre optique se compose de trois parties principales :

- **Le cœur** : Composé de silice, de quartz fondu ou de plastique. C'est la couche la plus importante en terme de transmission optique qui permet de diriger l'information un bout à l'autre de la fibre sans trop de pertes.
- **La gaine optique** : des mêmes matériaux que le cœur. L'indice de réfraction est inférieur à celui du cœur (différence de quelques millièmes), ce qui permet de réfléchir la lumière entièrement de multiples fois à l'interface cœur-gaine (phénomène de réflexion interne totale). La gaine optique n'étant pas destinée à transmettre la lumière, il n'est pas nécessaire que ses propriétés optiques soient aussi bonnes que celles du cœur. Le cœur et la gaine forment la partie visuelle qui dirige et diffuse la lumière.
- **La couche de protection** : Permet le contact de la fibre avec des supports sans perturber le fonctionnement de la partie optique. Généralement en plastique, le tube n'intervient pas dans la transmission de la lumière. Il assure la protection mécanique de la fibre ; il sert à la flexibilité de la fibre et facilite sa manipulation. (Voir figure 1.7)

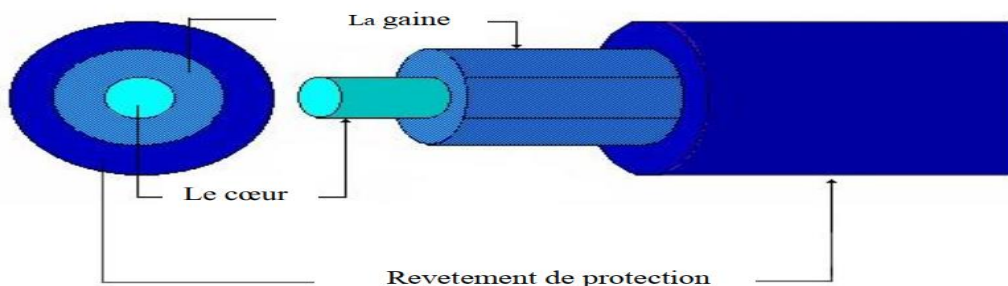


Figure 1.7 : Structure d'une fibre optique. [6]

### 3.4.2. Principe de fonctionnement :

Lorsqu'un rayon lumineux est injecté dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre, en empruntant un parcours en zigzag. (Voir figure 1.8)

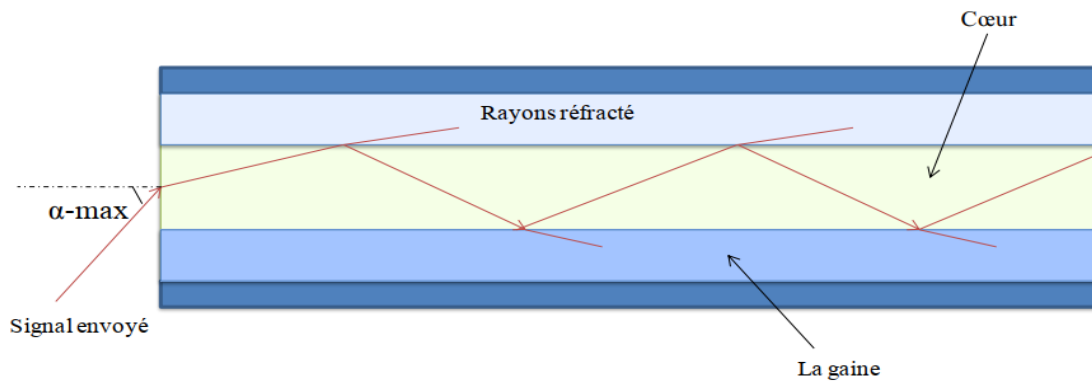


Figure 1.8 : Le guidage de la lumière dans une fibre optique. [8]

L'ouverture numérique de la fibre  $ON$  représente le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre, pour que la lumière puisse être guidée sans pertes ; cet angle est mesuré par rapport à l'axe de la fibre, l'ouverture numérique est définie par la relation suivante : voir l'équation (1.1):

$$ON = \sin \alpha_{max} = \sqrt{(n^2_{coeur} - n^2_{gaine})} \quad (1.1)$$

### 3.4.3. Les types de fibre optique :

Il existe deux types :

- ❖ Fibre optique monomode.
- ❖ Fibre optique multimode.

#### 3.4.3.1. Fibre optique monomode :

Les fibres monomodes se caractérisent par la particularité d'avoir un cœur très mince et le fait qu'un très petit cœur force le signal lumineux à se propager en ligne directe. La dispersion conditionnelle devient presque nulle et il n'y a qu'une seule méthode de propagation. L'atténuation sur ce type de fibre est quasi nulle, ce qui la rend forte. Ce type de fibre est utilisé pour la transmission longue distance. (Voir figure 1.9)



Figure 1.9 : fibre optique monomode. [5]

### 3.4.3.2. Fibre optique multimode :

Il y a deux types de fibre multimode : Saut d'indice et gradient d'indice.

#### 3.4.3.2.1. Saut d'indice :

L'indice de réfraction change brusquement à l'avant de la gaine principale, qui est le « saut » qui provoque une réflexion totale des rayons. La lumière dans le cœur est dirigée par la méthode de la scie. La grande partie du cœur provoque une grande dispersion des signaux qui le traversent, déformant le signal reçu. Le boîtier joue un rôle actif dans la direction de la lumière. (Voir figure 1.10)

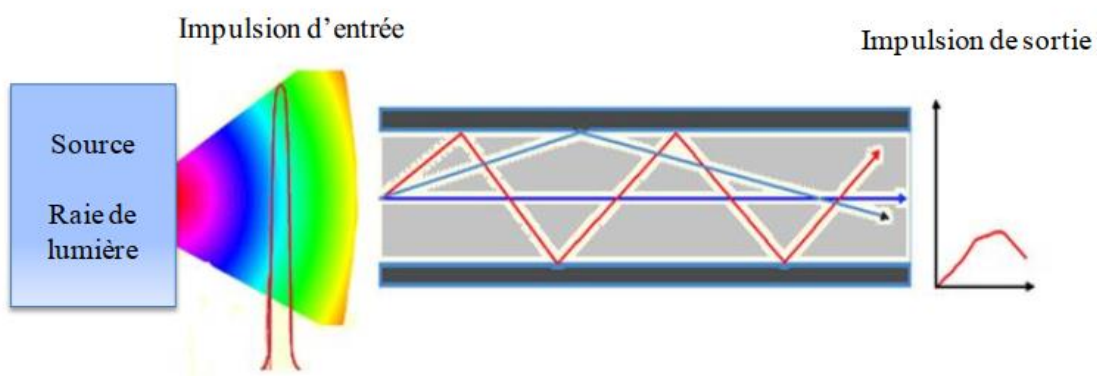


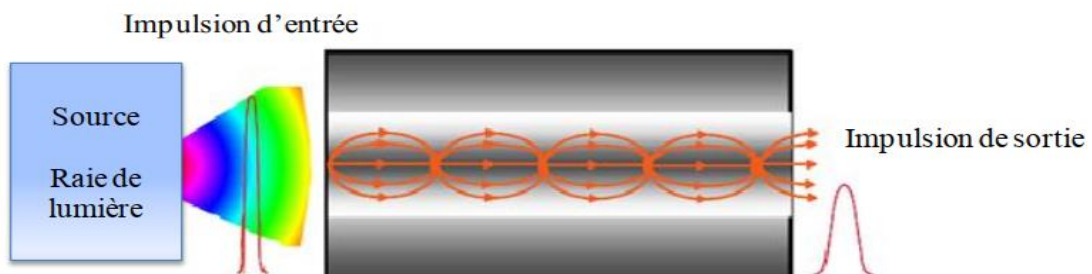
Figure 1.10 : Fibre optique multimode à saut d'indice. [5]

L'indice de saut a un noyau très large. L'atténuation sur ce type de fibre est très importante car elle peut être observée à partir de différentes impulsions d'entrée et de sortie.

La fibre optique multimode est utilisée pour les courtes distances en raison du changement de signal.

#### 3.4.3.2.2. Gradient d'indice :

Le pointeur n'est pas fixe mais à une symétrie d'axe ; l'index est modifié pour créer une hiérarchie d'index. Les différences de temps de propagation sont réduites et les différences entre les trajets optiques sont réduites. La direction de la lumière est due à l'effet du gradient du pointeur. En se soumettant à de légères réfractions à l'approche de l'enveloppe, le signal lumineux forme un signal sinusoïdal et les rayons suivent la voie sinusoïdale. L'enveloppe ne joue pas de rôle actif mais supprime les rayons très obliques. [2] (Voir figure 1.11)



**Figure 1.11 :** Fibre optique multimode à gradient d'indice. [5]

L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que les fibres à saut d'indice. Les fibres à gradient d'indice sont les plus utilisées pour les distances moyennes.

#### 3.4.4. Domaine d'application :

##### 3.4.4.1. Médecine :

Pour le diagnostic : Un câble de fibres optiques transporte de la lumière à l'intérieur du corps. (Voir figure 1.12)



Figure 1.12 : Un endoscope

#### 3.4.4.3. Amplification optique :

Des fibres dopées sont utilisées pour amplifier le signal. On le trouve également dans les fibres laser. La fibre à double enveloppe est de plus en plus utilisée dans le pompage optique à haute puissance. [2]

#### 3.4.4.3. Eclairage :

Dans le domaine de l'éclairage, les fibres optiques sont aussi très utilisées, en muséographie, architecture, et aménagement d'espaces d'agrément public et domestique.

Enfin, dans le balisage, la décoration, la signalétique d'orientation ou encore en signalisation routière, les fibres optiques sont des outils couramment utilisés.



Figure 1.13 : Eclairage par fibre optique.

### 3.4.5. Les avantages et les inconvénients :

- Les avantages de ce câble sont :
  - Les signaux lumineux ne sont pas sensibles aux interférences externes.
  - La connexion à la fibre optique est particulièrement difficile ce qui en fait une méthode de piratage très fiable.
  - Très faible affaiblissement de signal autorisé des segments élémentaire de longueur importante.
- Les inconvénients de ce câble sont :
  - Les équipements de bout sont très coûteux.
  - Difficultés à connecter 2 fibres.

## 4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons parlé des différentes lignes de transmission définies par la technologie des télécommunications. Pour que chaque ligne de transmission ait des caractéristiques essentielles qui la distinguent et déterminent sa limite d'utilisation et son principe de fonctionnement. Cependant, les grands progrès réalisés par l'électronique numérique reculent de plus en plus ces limites. Les modes de transformation des informations numériques en un signal électrique destiné à être acheminé par la ligne constituent une voie de recherche importante.

Ces lignes de transmission ont évolué au cours de l'histoire et sont devenues plus efficaces et à haute vitesse (fibre optique). Dans le prochain chapitre nous parlerons de la modélisation de ces lignes.

# Chapitre 2

Propriétés d'une ligne de transmission

## 1. Introduction :

Une ligne de transmission est généralement constituée de deux conducteurs isolés par un diélectrique. Par exemple, Les lignes bifilaires les plus utilisées se présentent selon deux conducteurs parallèles ou coaxiaux. Ces dernières années, les tendances sont plutôt vers les lignes optiques.

En électronique basses fréquences, la longueur d'onde des signaux électriques est toujours très grande par rapport à la longueur des câbles utilisés.

Prenons le cas d'un câble coaxial de 1 mètre de long, parcouru par un courant sinusoïdal de fréquence 1 MHz, il lui correspond sensiblement une longueur d'onde  $\lambda = 200$  mètres, longueur bien supérieure à celle du câble. D'après les mesures prélevées sur des lignes réelles, la répartition du courant et de la tension sur le câble sera pratiquement constante sur toute sa longueur. Ainsi, la position du point de mesure sur le câble n'aura pas d'importance. Les valeurs mesurées sur le câble sont les mêmes quel que soit le point où la mesure est effectuée.

En revanche, utilisons le même câble pour transporter un signal électrique de fréquence 1 GHz à laquelle correspond une longueur d'onde  $\lambda$  de 20 centimètres. Dans ce cas, la répartition électrique le long du câble de 1 mètre n'est plus constante. Les valeurs mesurées dépendent de la position de la section dans laquelle on effectue la mesure. Le courant qui sort par l'extrémité du câble, à un instant donné, n'est pas identique à celui qui entre par l'autre extrémité. Ce phénomène est suffisamment important pour en justifier une étude particulière, souvent appelée théorie des lignes qui fera l'objet d'un rappel sur cette partie du mémoire.

Dans ce chapitre, on expose les caractéristiques essentielles d'une ligne de transmission, et par la suite on présente le modèle équivalent permettant de modéliser tout type de support de transmission. [9]

## 2. Caractéristiques des lignes de transmission :

Les lignes de transmission se caractérisent par leur impédance caractéristique et leur constante d'affaiblissement (qui déterminent les pertes dans les lignes), et la vitesse de propagation...etc. qui dépendent du diélectrique utilisé pour fabriquer les lignes. Ces paramètres adaptent les capacités de transmission en termes de vitesse et de distance qui peuvent être dépassées.

### 2.1. L'impédance caractéristique :

L'impédance caractéristique de la ligne de transmission est une représentation d'une forme de perméabilité moyenne. Elle joue un rôle similaire à celui observé avec les ondes électromagnétiques. [15]

Dans le cas d'une ligne de transmission idéale (c'est-à-dire sans perte  $R=0$  et  $G=0$ ), l'impédance caractéristique est déterminée par :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.1)$$

Où  $L$  et  $C$  respectivement inductance et condensateur par unité de longueur de ligne.

Valeur typique d'impédance distinctive :

- 50 ou 75  $\Omega$  du câble coaxial.
- 100  $\Omega$  pour paire torsadée.
- 200  $\Omega$  pour la ligne bifilaire.

Pour la ligne de transmission réelle (avec pertes), l'impédance caractéristique est un nombre complexe :

$$Z_c = \sqrt{\{(R + j\omega L)/(G + j\omega C)\}} \quad (2.2)$$

Où  $R$  et  $G$  sont respectivement la résistance et la conductance de pertes par unité de la longueur ( $\Omega/m$  et  $S/m$ ).

## 2.2. Affaiblissement :

Le canal de transmission (affaiblit) l'amplitude du signal qu'il traverse. Le phénomène d'atténuation correspond à la perte d'énergie du signal lorsqu'il se propage sur le canal et augmente en longueur. La quantité d'énergie perdue dépend très étroitement de la fréquence du signal et de la bande passante du système.

L'atténuation est mesurée par le rapport  $P_s/P_e$  où  $P_s$  est la puissance du signal à la sortie du canal et  $P_e$  la puissance du signal à l'émetteur du canal. Il est courant d'exprimer l'atténuation en décibels (dB) sous la forme :

$$A(\text{dB}) = 10 \log(P_s/P_e) \quad (2.3)$$

## 2.3. La vitesse de propagation :

La vitesse de propagation  $v$  des ondes dans la ligne de transmission, appelée vitesse, est toujours strictement inférieure à la vitesse de la lumière dans le vide  $c$ . Le coefficient de vitesse, défini comme le rapport  $\frac{v}{c} \ll 1$  ; par exemple, pour un câble coaxial typique, il est de 0.66. [8]

## 2.4. Déphasage :

Le déphasage, encore appelé distorsion de phase, implique un retard du signal reçu par rapport au signal émis dû au temps de propagation de ce signal de l'émetteur vers le récepteur.

Les phénomènes d'atténuation et de retardement subis par un signal sinusoïdal. (Voir figure 2.1)

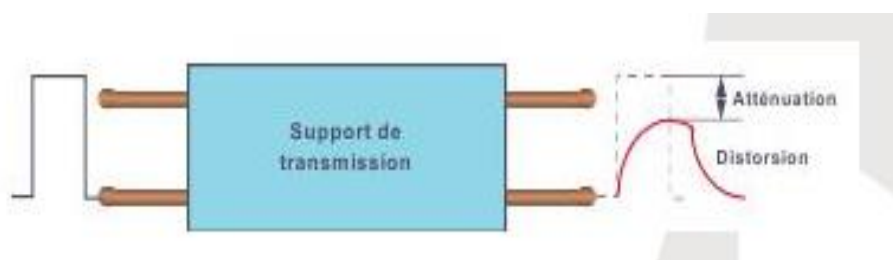


Figure 2.1 : Distorsion du signal par la ligne de transmission.

### 2.5. Bande passante :

La bande passante est la principale caractéristique de la ligne de transmission, qui se comporte généralement comme un filtre qui n'est autorisé qu'à travers une bande de fréquence limitée appelée bande passante. Toutes les fréquences en dehors de cette bande sont considérablement affaiblies.

Exemple : une ligne téléphonique normale ne fait passer des signaux qu'à des fréquences comprises entre 300Hz et 3400Hz. En dehors de cette plage, les signaux sont fortement atténués et ne sont plus compris, on dit que la bande passante de cette ligne est 3400-300 Hz ou 3100 Hz. En revanche, le câble coaxial utilisé dans les réseaux locaux a une bande passante beaucoup plus élevée qui est de l'ordre de centaines de MHz (300 à 400 MHz).

Il est important de noter que lorsque nous parlons de la bande passante  $W$  (en hertz), nous faisons référence à la longueur de l'intervalle de temps sans préciser les limites de cet intervalle de temps. Toute fréquence en dehors de cette bande est considérablement affaiblie.

### 2.6. Bruit :

Le bruit est un signal perturbateur provenant du canal lui-même ou de son environnement extérieur. Il est de comportement aléatoire et vient s'ajouter au signal véhiculant les informations et provoquer ainsi les erreurs de transmission.

Il existe deux types de bruit en général : le bruit blanc et le bruit impulsif.

#### 2.6.1. Bruit blanc :

Le bruit blanc est un bruit dont la puissance est uniformément répartie dans toute la bande passante du canal, il s'agit essentiellement d'un bruit provoqué par l'agitation thermique des électrons dans le conducteur électrique.

### 2.6.2. Bruit impulsif :

Comme son nom l'indique ce type de bruit est à caractère impulsif, il se présente sous forme de tensions perturbatrices de valeur élevée mais de durée brève. Ces bruits sont très perturbants pour la transmission de données, car le signal perturbateur modifie la forme du signal reçu à des instants quelconques (aléatoires) telles qu'il se produit des erreurs à la réception. Ils existent de nombreuses sources de bruit impulsif. On peut citer notamment :

- ❖ La diaphonie.
- ❖ Les brusque variations.
- ❖ Phénomènes atmosphériques, solaires, ou autres.

## 3. Modèle équivalent de la ligne de transmission :

### 3.1. Propagation électromagnétique :

La propagation des ondes le long d'une ligne de transmission est liée à une tension et un courant : un champ électrique est créé par l'application d'une tension entre les conducteurs métalliques alors qu'un champ magnétique est généré par le passage d'un courant dans ces conducteurs. L'orientation des composantes des champs électrique et magnétique, par rapport la direction de propagation, définit le mode de propagation des ondes dans les lignes de transmission. En tout point, le champ électrique et le champ magnétique sont toujours perpendiculaires entre eux, ainsi qu'à la direction de propagation pour un mode de propagation Transverse électromagnétique (TEM).

Le mode TEM est le mode de propagation électromagnétique considéré dans la plupart des lignes de transmission planaires, où ni le champ électrique ni le champ magnétique n'ont de composante dans la direction de la propagation. Les champs électrique  $E$  et magnétique  $H$  sont transverses et leurs composantes longitudinales sont nulles. Le rapport  $E/H$  est constant. Dans le cas où la propagation électromagnétique est considérée comme un mode Quasi (TEM), le champ électrique a une composante longitudinale non nulle.

Nous pouvons classer les modes de propagation des ondes électromagnétiques pour une onde se propageant suivant la direction de transmission  $ox$ , en trois catégories principales voir la figure (2.2).

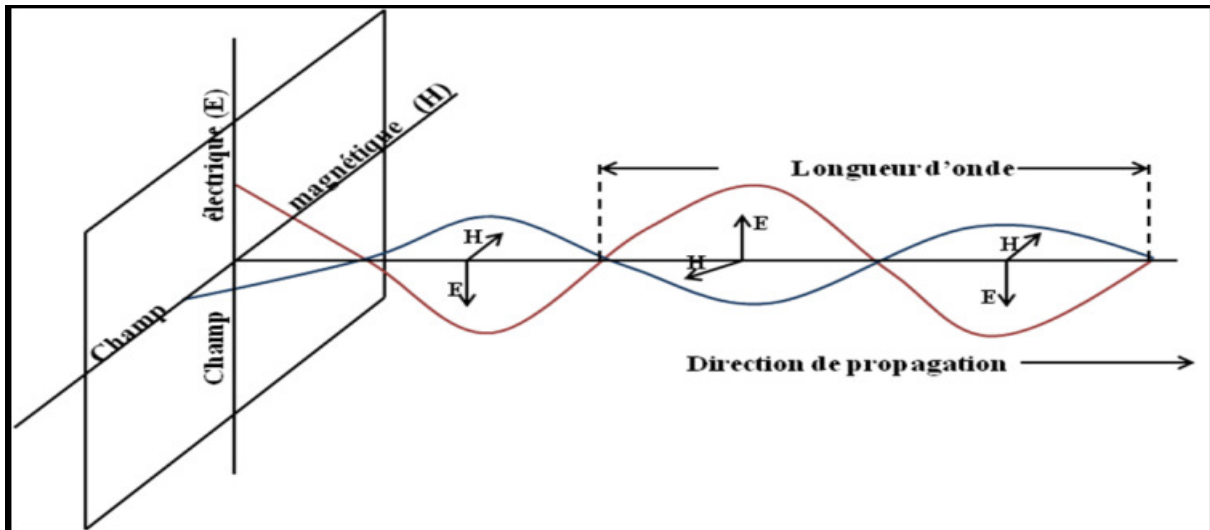


Figure 2.2 : Structure d'une onde TEM plane

- ❖ Transverse électromagnétique (TEM) : Nous appelons mode transverse électromagnétique (TEM) un mode de propagation tel que  $Zx = 0, Hx = 0$  c'est-à-dire tels que les champs électrique et magnétique sont tous les deux orthogonaux à la direction de propagation.
- ❖ Transverse électrique (TE) : Nous appelons mode transverse électrique (TE) un mode de propagation tel que  $Zx = 0$  et  $Hx \neq 0$ , c'est-à-dire tel que le champ électrique est orthogonal à la direction de propagation.
- ❖ Transverse magnétique (TM) : Nous appelons mode transverse magnétique (TM) un mode de propagation tel que  $Zx \neq 0$  et  $Hx = 0$ , c'est-à-dire tel que le champ magnétique est orthogonal à la direction de propagation. Les deux modes TE et TM sont des modes de propagation se trouvant généralement dans les guides d'ondes qui ne supportent pas le mode TEM, alors que le mode de propagation TEM se trouve souvent dans les lignes de transmission constitués au minimum des deux couches (rubans) métalliques.

### 3.2. La modélisation :

Dans une ligne de transmission, l'énergie est véhiculée par différents modes qui sont caractérisées par leur fréquence de coupure et leur constante de propagation. Un mode particulier est très utilisé dans les lignes à deux conducteurs ; c'est le mode TEM dont la fréquence de coupure est nulle. [15]

#### 3.2.1. Modèle à constante réparties :

Une ligne de transmission de longueur élémentaire  $dz$  est représentée schématiquement comme une ligne à deux fils parce que les lignes de transmission ont toujours au moins deux conducteurs qui sont une condition nécessaire pour la propagation des ondes TEM.  $V$  et  $I$  désignent la tension et le courant respectivement à l'entrée de cette ligne, (voir figure 2.3). La tension  $V$  et le courant  $I$  varient en fonction du temps et en fonction de la distance  $z$ .

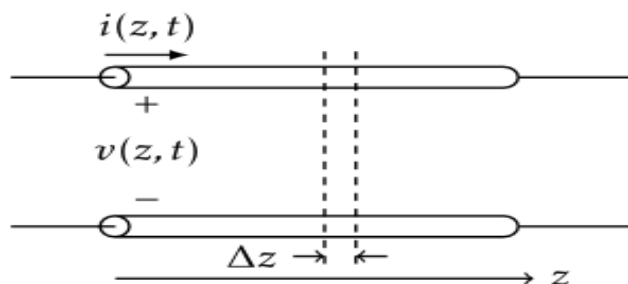
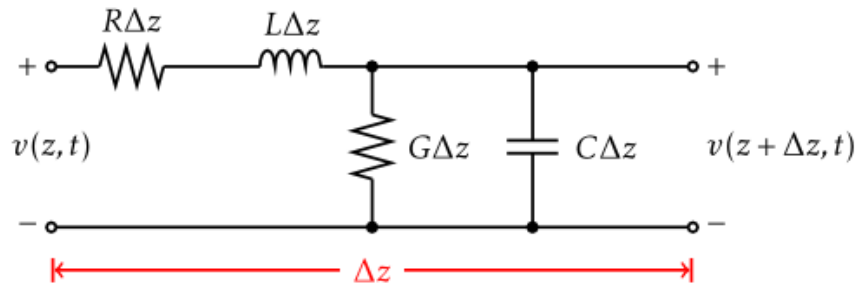


Figure 2.3 : Schéma d'une ligne de transmission. [15]

Les éléments idéaux représentent tous des caractéristiques réelles de la ligne :

- **R** représente la résistance en série des conducteurs, En  $\Omega/m$ .
- **L** représente l'inductance série de la ligne, en  $H/m$ .
- **G** représente les pertes dans le diélectrique qui sépare les conducteurs, en  $s/m$ .
- **C** représente la capacitance parasite. Puisque les deux conducteurs sont séparés par un diélectrique, en  $F/m$ .



**Figure 2.4 :** Modèle équivalent de la ligne de transmission uniforme de longueur élémentaire.

[15]

L'inductance en série  $L$  représente la self-inductance des deux conducteurs, et la capacité  $C$  est due à la proximité entre les deux conducteurs.  $R$  représente la résistance due à la conductivité des conducteurs, et la conductance  $G$  est due aux pertes diélectriques dans le matériau séparant les conducteurs,  $R$  et  $G$  représentent donc les pertes [3].

Une longueur finie d'une ligne de transmission peut être regardée comme la cascade de sections de la forme représentée sur la figure 2.2. Le domaine de validité de ce modèle est limité aux supports de transmissions qui favorisent la propagation des modes TEM (câble coaxial) purs ou quasi TEM (lignes coplanaire et micro ruban).

La tension et le courant dans une ligne de transmission sont des fonctions de deux variables, la position  $z$  et le temps  $t$ . En appliquant les lois de Kirchhoff, et en prenant la limite  $\Delta z \rightarrow 0$ . On obtient :

$$\frac{dV(z)}{dz} = -(R + j\omega L) \cdot I(z) \quad V(z) : \text{tension en } z \quad (2.4)$$

$$\frac{dI(z)}{dz} = -(G + j\omega C) \cdot V(z) \quad I(z) : \text{courant en } z \quad (2.5)$$

En dérivant l'équation (2.4), on obtient :

$$\frac{d^2 V(z)}{dz^2} = (R + j\omega L)(G + j\omega C)V(z) \quad (2.6)$$

De même pour l'équation (2.5) :

$$\frac{d^2 I_{(z)}}{dz} = (R + j\omega L)(G + j\omega C) I_{(z)} \quad (2.7)$$

On solutionne ces deux équations pour obtenir :

$$\frac{d^2 V_{(z)}}{dz} - \gamma^2 V_{(z)} = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{d^2 I_{(z)}}{dz} - \gamma^2 I_{(z)} = 0 \quad (2.9)$$

Où  $\gamma$  est la constante de propagation donné par :

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L).(G + j\omega C)} \quad (2.10)$$

C'est le temps de propagation et la fréquence. La partie réelle  $\alpha$  représente l'atténuation de la ligne.

Les solutions pour  $V(z)$  et  $I(z)$  sont :

$$V_{(z)} = V_0^+ e^{-\gamma z} + V_0^- e^{\gamma z} \quad (2.11)$$

$$I_{(z)} = I_0^+ e^{-\gamma z} + I_0^- e^{\gamma z} \quad (2.12)$$

Où

- Le terme  $e^{-\gamma z}$  représente la propagation de l'onde dans le sens  $+z$ , onde progressive.
- Le terme  $e^{\gamma z}$  représente la propagation de l'onde dans le sens  $-z$ , onde régressive.

Nous pouvons connecter la tension et le courant sur la ligne par relation :

$$Z_0 = \frac{V_0^+}{I_0^+} = - \left( \frac{V_0^-}{I_0^-} \right) = \frac{(R+j\omega L)}{\gamma} = \sqrt{((R + j\omega L) * (G + j\omega C))} \quad (2.13)$$

Ou  $Z_0$  est l'impédance caractéristique de la ligne de transmission.

### 3.2.2. Cas particulier : ligne sans pertes :

Pour les lignes de transmission réelles les pertes sont généralement très faibles, et cette simplification est valable. Pour une ligne sans pertes,  $R=G=0$ .

Les équations se simplifier :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (Z_0 \text{ est réel}) \quad (2.13)$$

$$\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{LC} \quad (2.14)$$

Nous obtenons également :

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \quad (2.15)$$

$$\gamma = \frac{2\pi}{\omega\sqrt{LC}} \quad (2.16)$$

$$vp = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ (Constant)} \quad (2.17)$$

Le coefficient  $\alpha$  est nul donc pas d'atténuation ( $\alpha=0$ ).

L'impédance caractéristique d'une ligne sans pertes est :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.18)$$

Ce qui fait que l'impédance caractéristique de la ligne est réelle.

### Effet de peau :

- Plus la surface est élevée, plus la circulation du courant à proximité de la surface du conducteur est importante.

- La densité de courant diminue à mesure que vous vous rapprochez du centre du conducteur.
- La profondeur avec laquelle la densité atteint 37% de sa valeur de surface :

$$\delta_s = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{(\pi f \mu \sigma)}} \quad (2.19)$$

#### 4. Les lignes de transmission et la puissance réfléchie :

Il est bien connu que le comportement d'une onde électromagnétique dans une ligne de transmission est différent en basses fréquences qu'en hautes fréquences, en effet, certains phénomènes sont négligeables à basse fréquence, mais deviennent très importants dans le spectre des fréquences hautes.

Les micro-ondes voyagent dans les lignes de transmission sous la forme de champ électrique et magnétique. Cette propriété soulève un problème lorsque l'onde arrive à une jonction avec une autre composante, car la configuration du champ électrique et magnétique à cette jonction peut être différente entre les 2 composantes qui sont connectées ensemble. Cette différence entre les champs a pour effet qu'une partie du signal est réfléchi. Il existe plusieurs façons de définir cette puissance réfléchi et il est primordial de la considérer dans la conception de circuits micro-onde, il va sans dire qu'il faut la diminuer au maximum. [10]

Il existe plusieurs façons d'exprimer ou de quantifier la puissance réfléchi, parmi elle, l'utilisation des paramètres S.

##### 4.1. Les paramètres S :

Les paramètres S ou aussi appelés paramètres de dispersion, définissent les paramètres de réflexion et de transmission entre l'onde réfléchi et incidente aux bornes d'une composante.

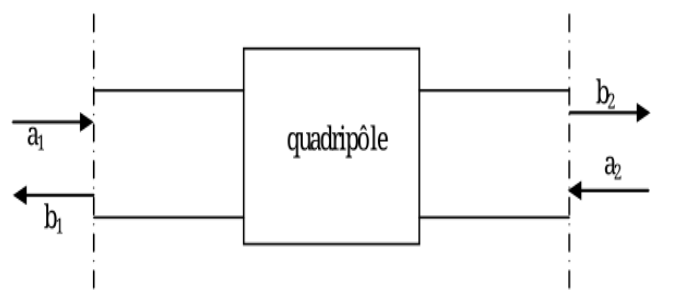


Figure 2.5 : Signaux aux bornes d'une composante de quadripôle. [10]

**a1** : Champs électriques de l'onde entrante à l'entrée de la composante.

**a2** : Champs électriques de l'onde entrante à la sortie de la composante.

**b1** : Champs électriques de l'onde sortante à l'entrée de la composante.

**b2** : Champs électriques de l'onde sortante à la sortie de la composante.

À partir de ces variables, on définit les paramètres S. L'entrée et la sortie sont adaptées à une impédance de  $Z_0$ . [1]

Pour obtenir les paramètres :

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1}|_{a_2=0} \quad (2.19)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2}|_{a_1=0} \quad (2.20)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1}|_{a_2=0} \quad (2.21)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2}|_{a_1=0} \quad (2.21)$$

***S<sub>11</sub>***= Coefficient de réflexion (dB) à l'entrée ;

***S<sub>12</sub>***= Isolation (dB) ;

***S<sub>21</sub>***= Gain (dB) ;

***S<sub>22</sub>***= Coefficient de réflexion en (dB) à la sortie.

## 5. Conclusion :

À ce stade de notre travail, nous sommes en mesure de révéler l'objectif du processus de modélisation des lignes de transmission, ses caractéristiques et ses composants approuvés, et son comportement en cas de sans perte et de perte, et de connaître le comportement des lignes de transmission par modélisation à l'aide de logiciel ADS, et c'est ce que nous verrons dans le chapitre suivant.

# Chapitre 3

Simulation d'une ligne de transmission par ADS

## 1. Introduction :

Dans ce chapitre on a procédé à la caractérisation d'une ligne de transmission, nous avons choisi une ligne micro ruban comme exemple. Une ligne de transmission est caractérisée par son impédance caractéristique, c'est pour cette raison qu'il est important de savoir quels sont les paramètres qui influent sur cette impédance.

En hautes fréquences, on rencontre un problème majeur qui caractérise aussi les lignes de transmission qui est le problème de désadaptation d'impédance. On détaillera dans cette partie une simulation effectuée par le simulateur ADS (Advanced Design System).

## 2. Partie I : Présentation d'une ligne micro-ruban :

La ligne micro-ruban est largement utilisée pour la fabrication de circuits hyperfréquences, principalement parce qu'elle se prête bien à la fabrication par procédé lithographique, et aussi parce qu'elle permet une simple incorporation de composants passifs et actifs par fixation en surface.

Dans la ligne micro-ruban, les lignes de champ sont principalement concentrées dans l'isolant entre la ligne métallique et le plan de masse, bien qu'il y ait également une petite partie dans l'air au-dessus du substrat. Cela signifie que le micro-ruban ne peut pas supporter le mode TEM pur, car la vitesse de phase des champs TEM dans le diélectrique est différente de celle de l'air.

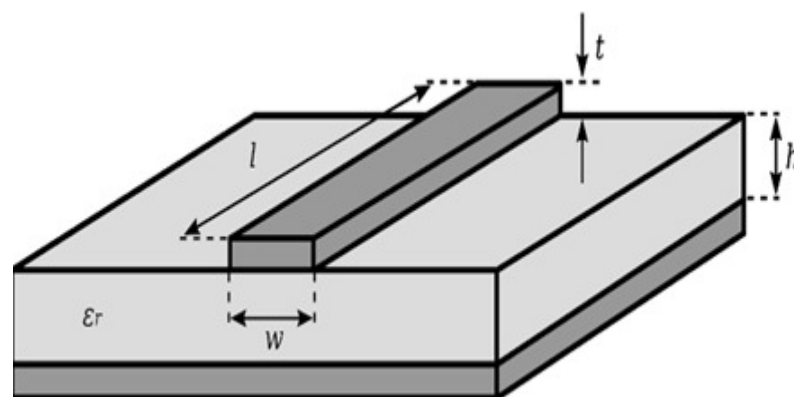


Figure 3.1 : Ligne micro-ruban

### 2.1. Structure de la ligne micro-ruban :

Une ligne micro-ruban (microstrip line en anglais) est une ligne de transmission hyperfréquences, Il s'agit d'un ensemble de deux conducteurs : une bande étroite (« micro-ruban »), séparée d'un grand niveau du sol par un substrat diélectrique. Ses dimensions varient en fonction de la fréquence de fonctionnement ; ses propriétés dépendront des matériaux utilisés (substrat et conducteur).

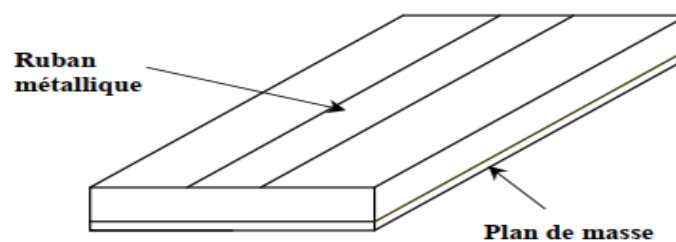


Figure 3.2: Structure de ligne micro-ruban. [11]

### 2.2. Caractéristiques d'une ligne micro ruban :

Une ligne micro ruban est caractérisée par :

- La vitesse de propagation le long de la ligne  $V_p$
- L'impédance caractéristique  $Z_c$  pour la ligne de transmission.
- le constant diélectrique effectif  $\epsilon_{eff}$ .

Elles dépendent des paramètres suivants :

- Une longueur  $l$
- Une largeur du ruban  $W$
- Un substrat diélectrique ( $\epsilon_r, \mu_r$ )
- L'épaisseur du substrat (hauteur)  $h$
- Un plan de masse

### 2.3. Les avantages et les inconvénients :

#### 2.3.1. Les avantages :

- La technologie micro-ruban permet une mise en œuvre facile des éléments séquentiels.
- Le processus technologique de production des circuits est simple et bien compris.
- Le transport d'objets actifs n'est pas un gros problème et les bibliothèques d'échantillons sont relativement étendues.

#### 2.3.2. Les inconvénients :

- Le problème principal auquel est confrontée cette technologie est de placer les éléments en parallèle et de déplacer la terre (court-circuit).
- Pour réaliser des courts circuits, il est nécessaire de recourir à des trous métalliques qui peuvent être irritants car ils créent des effets parasites préjudiciables aux performances électriques.
- La plage d'impédances caractéristiques réalisables est limitée une fois que les propriétés du substrat sont définies.

### 2.4. L'impédance caractéristique :

Dans la ligne de transmission de type TEM, l'impédance caractéristique  $Z_c$  en hautes fréquences peut être exprimée par :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.1)$$

**L** : le coefficient de self induction.

**C** : le coefficient de self capacité.

La vitesse de phase est exprimée par :

$$V_p = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (3.2)$$

La combinaison des équations (3.1) et (3.2) permet d'écrire :

$$Z_c = V_p L \quad (3.3)$$

$$Z_c = \frac{1}{V_p C} \quad (3.4)$$

Lors du retrait du substrat de la ligne micro-ruban, la ligne avec isolateur d'air. Par conséquent, son impédance caractéristique est donnée par :

$$Z_{c1} = \sqrt{\frac{L}{C1}} \quad (3.5)$$

Où

$$Z_{c1} = cL \quad (3.6)$$

D'où

$$Z_{c1} = \frac{1}{cC1} \quad (3.7)$$

Où

- L n'est pas modifier car le substrat a généralement une perméabilité égale à celle du vide ( $\mu_1$ ).
- C1 la capacité par unité de longueur de cette ligne.
- c la vitesse de la lumière ( $c = 3.10^8$  m/s<sup>2</sup>) .

La combinaison des relations (3.1), (3.6) et (3.7) permet d'écrire :

$$Z_c = \frac{1}{c\sqrt{CC1}} \quad (3.8)$$

### 2.5. Constante diélectrique effective $\epsilon_{eff}$ :

C'est le constant diélectrique effectif de la ligne micro-ruban. Il y a des lignes où le champ est en partie dans le diélectrique et en partie dans l'air, la constante diélectrique effectif prend une valeur intermédiaire entre 1 et la constante diélectrique du substrat  $\epsilon_r$ :  $1 < \epsilon_{eff} < \epsilon_r$

Pour une ligne micro-ruban à diélectrique l'air, la vitesse de phase est donnée par :

$$c = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.9)$$

La division de l'équation (3.2) par l'équation (3.9) et augmenter la carré, on obtient :

$$\frac{c}{c_1} = \left( \frac{c}{V_p} \right)^2 \quad (3.10)$$

$C/C_1$  est appelé la permittivité effective de la ligne micro-ruban, un paramètre important pour les micro-rubans. De l'équation (3.10)  $\epsilon_{eff}$  est donnée par :

$$\epsilon_{eff} = \left( \frac{c}{V_p} \right)^2 \quad (3.11)$$

La permittivité effective ( $\epsilon_{eff}$ ) dépend de l'épaisseur du substrat  $h$  et de la largeur  $w$ , peut être approximé par l'équation suivante :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 10 \frac{h}{w}}} \quad (3.12)$$

Le constant diélectrique effectif correspond à la constante électrique du milieu homogène, qui remplacerait les régions isolantes et aérées de la structure micro-ruban.

### 2.6. La longueur d'onde :

Pour l'onde de propagation, la vitesse est donnée par le produit de fréquence et longueur d'onde appropriée. Dans un vide, nous avons la relation  $c = f\lambda_0$ . En substituant ce produit à l'équation (3.8), nous obtenons, avec la vitesse  $V_p = f\lambda_g$  dans la ligne micro ruban :

$$\varepsilon_{eff} = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_g}\right)^2 \quad (3.13)$$

Où

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \quad (3.14)$$

$\lambda_0$  la longueur d'onde dans le vide.

### 2.7. Formules d'analyse :

Connaissant les propriétés de la ligne ( $\varepsilon_{eff}$  et le rapport  $W/h$ ), nous pouvons en déterminer l'impédance caractéristique à partir des formules suivantes :

➤ Pour ( $W/h < 3.3$ ) :

$$Z = \frac{119.9}{\sqrt{2(\varepsilon_r+1)}} \left[ \ln \left\{ 4 \frac{h}{\omega} + \sqrt{16 \left(\frac{h}{\omega}\right)^2 + 2} \right\} - \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_r-1}{\varepsilon_r+1}\right) \left( \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\varepsilon_r} \ln \frac{\pi}{4} \right) \right] \quad (3.15)$$

➤ Pour ( $W/h > 3.3$ ) :

$$Z = \frac{119.9\pi}{2\sqrt{\varepsilon_r}} \left[ \frac{\omega}{2h} + \frac{\ln 4}{\pi} + \frac{\ln(e\pi^2 + 16)}{2\pi} \left(\frac{\varepsilon_r-1}{\varepsilon_r^2}\right) + \frac{\varepsilon_r+1}{2\pi\varepsilon_r} \left\{ \ln \frac{\pi e}{2} + \ln \left(\frac{\omega}{2h} + 0.94\right) \right\} \right]^{-1} \quad (3.16)$$

### 2.8. Formules de synthèse d'une ligne micro ruban :

Ces équations permettent de calculer l'impédance caractéristique d'une ligne micro ruban de dimensions connus. Pour une meilleure précision, là encore on utilise deux équations différentes selon la valeur de  $W/h$ :

➤ Pour  $Z > (44-2\varepsilon_r)$

$$\frac{\omega}{h} = \left( \frac{e^A}{8} - \frac{1}{4e^A} \right)^{-1} \quad (3.17)$$

$$A = \frac{Z\sqrt{2((\varepsilon_r+1))}}{119.9} + \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_r-1}{\varepsilon_r+1}\right) \left( \ln \frac{\pi}{4} + \frac{1}{\varepsilon_r} \ln \frac{\pi}{4} \right) \quad (3.18)$$

➤ Pour  $Z < (44-2 \varepsilon_r)$

$$\frac{\omega}{h} = \frac{2}{\pi} \{(B - 1) - \ln(2B - 1)\} + \frac{\varepsilon_r - 1}{4\varepsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0.293 \frac{0.517}{\varepsilon_r} \right] \quad (3.19)$$

$$B = \frac{59.95\pi^2}{Z\sqrt{\varepsilon_r}}$$

La permittivité effective peut ensuite être calculée comme suit :

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{10 \cdot h}{\omega} \right)^{-0.555} \quad (3.20)$$

### 3. Partie II : Etude et simulation

On utilise le logiciel ADS, pour faire la simulation d'une ligne de transmission (micro ruban),

#### 3.1. Présentation de logiciel ADS :

##### 3.1.1. Généralité sur ADS :

ADS « Advanced Design System », est un logiciel développé par la société « Agilent Technologie », destiné au développement des systèmes électroniques mixtes analogiques hyperfréquences et numériques. Au travers d'une interface compacte, il dispose de nombreux modules permettant d'analyser les circuits de façon adaptée aux besoins classiques : en continu, en régime variable, en temporel, en bruit...

Il dispose aussi de méthodes d'analyse spécifiques aux hyperfréquences : analyse en paramètres S, analyse des non linéarités, analyse d'enveloppes complexes intégrant les non-linéarités, simulateur électromagnétique de circuits planaires multicouches multiconducteurs. Par ailleurs, différentes méthodes d'analyse « génériques », complémentaires dans la conception globale d'une chaîne de transmission, sont implémentées : analyse paramétrique multi-variables, de sensibilité, de rendement, de plan d'expérience et d'optimisation. [13]

### 3.1.2. Création d'un espace de travail dans ADS :

Pour créer un espace de travail (workspace), dans ADS on doit effectuer les étapes suivantes :

Sélectionnez File>New>Workspace dans la fenêtre principale de l'ADS. La boîte de dialogue NewWorkspace va être affichée.

Donner un nom de l'espace de travail (workspace) par exemple Microstrip1\_wrk.

Choisir un emplacement de l'espace de travail qui contient votre travail dans (New workspace); Cette dernière est créée par défaut dans C:\User\DELL. [12]

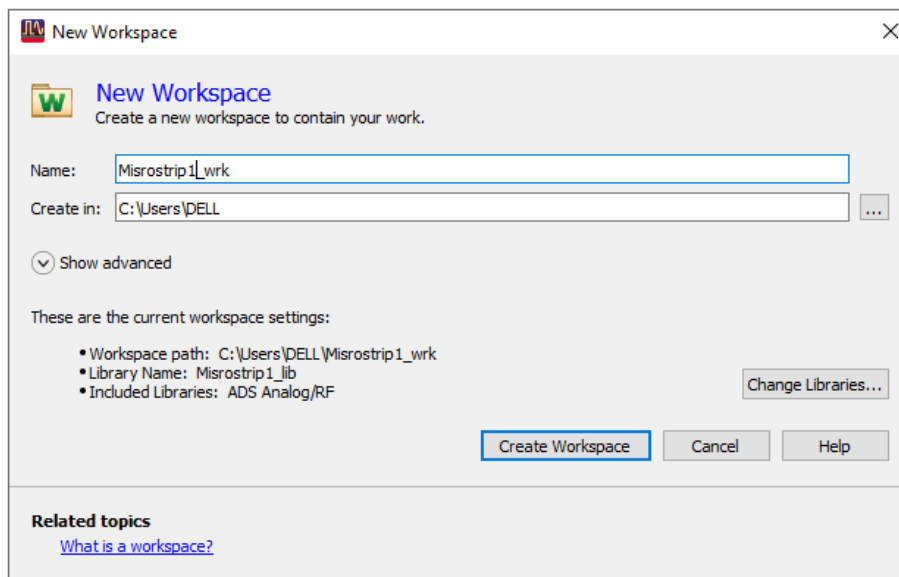


Figure 3.3: Création d'un nouveau projet. [12]

### 3.1.3. Les différentes fenêtres de logiciel :

Un projet inclut, le circuit, le layout, la simulation et les résultats d'un design créé à partir de la fenêtre principale **main** qui apparaît lors de l'ouverture d'ADS.

ADS stocke ses fichiers dans des « projets » : une structure hiérarchique de fichiers et de répertoires attribués à un nom unique. Pour implémenter le circuit proposé, on crée un nouveau schématique. On clique sur « **FILE>NEW>SCHEMATIC** », (voir figure 3.4) aussi, on peut cliquer sur l'icône dans la barre d'outils : [30]

- Les schémas (*design*)

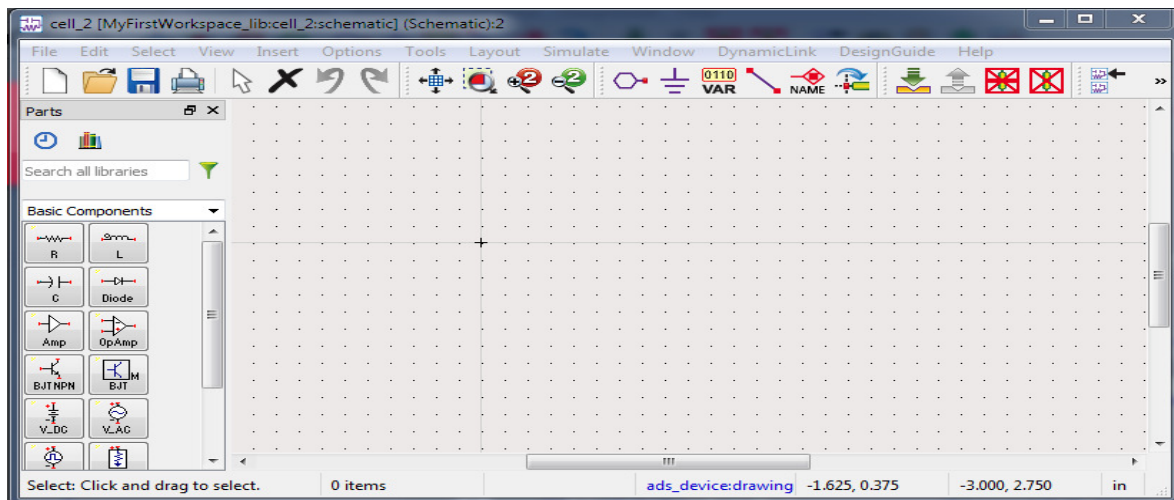


Figure 3.4: Fenêtre de schémas.

On commence à placer les éléments qui constituent notre système (par exemple la simulation d'un circuit électrique simple RLC) puis par la suite établir la simulation qui se fera en cliquant sur l'icône « S\_PARAM SIMULATION » de la palette et on le place sur le schématique. Ensuite, on clique sur l'icône « SIMULATE », une fenêtre s'ouvre qui représente l'outil de simulation :

- La fenêtre de simulation (*layout*).

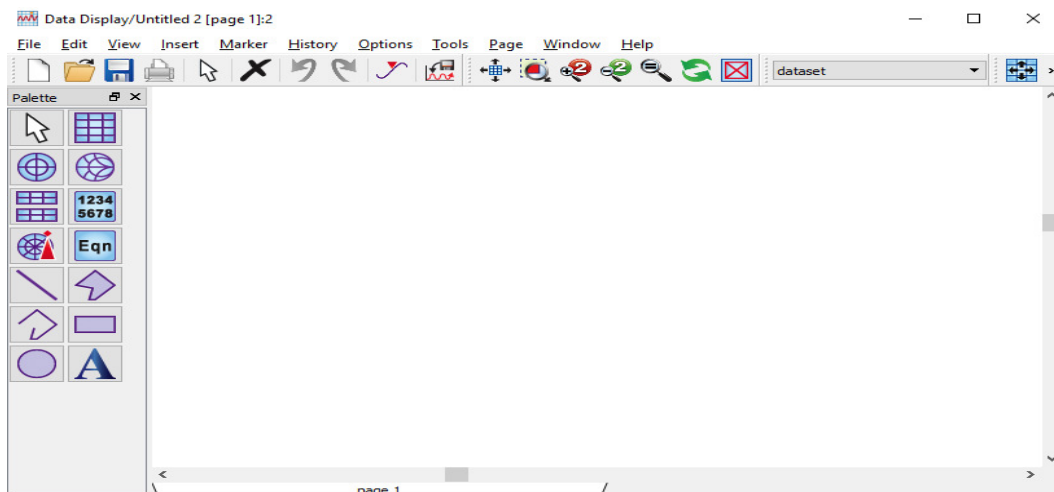


Figure 3.5 : Fenêtre de simulation.

### 3.2. Caractérisation d'une ligne micro ruban :

On considère un montage qui représente une ligne micro ruban d'impédance caractéristique  $Z_c$ , placée entre 2 ports de mesure à impédance  $Z_0=50$ .

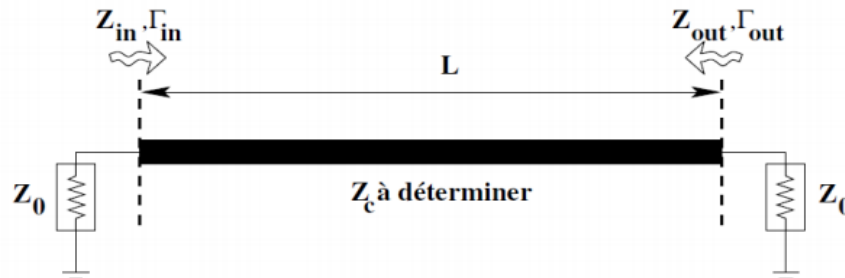


Figure 3.6 : Schéma de simulation d'une ligne micro ruban.

$Z_{in}$  l'impédance d'entrée au port 1, et  $z_{out}$  l'impédance de charge au port 2, sont données par les équations suivantes :

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{Az_{out}+B}{Cz_{out}+D} \Leftrightarrow Z_{in} = Z_c \frac{z_L + jz_c \tan \beta \ell}{z_c + jz_L \tan \beta \ell} \quad (3.21)$$

$V_1$ ,  $V_2$  représentent les tensions d'entrée et de sortie respectivement, et  $I_1$ ,  $I_2$  les courants d'entrée et de sortie.

$\Gamma_{in}$  Coefficient de réflexion d'entrée, coefficient de réflexion de sortie.

$$\Gamma_{in} = \frac{z_{in} - z_0}{z_{in} + z_0} \quad (3.22)$$

En se basant sur les caractéristiques fréquentielles de la ligne micro ruban, et à travers l'outil LineCalc (dans le menu « Tools »), on essaye de voir comment varient les paramètres physiques de cette ligne (notamment les dimensions du substrat exprimés par la largeur  $w$  et les longueurs  $L$ ), en fonction de son impédance  $Z_c$ .

On propose alors, les caractéristiques suivantes d'une ligne micro ruban au circuit imprimé classique en verre époxy :

- Épaisseur  $h=1.6\text{mm}$
- Permittivité  $\epsilon_r=4.8$
- Tangente de perte  $\text{tg}=0.01$
- Épaisseur de métallisation  $t=35\mu\text{m}$

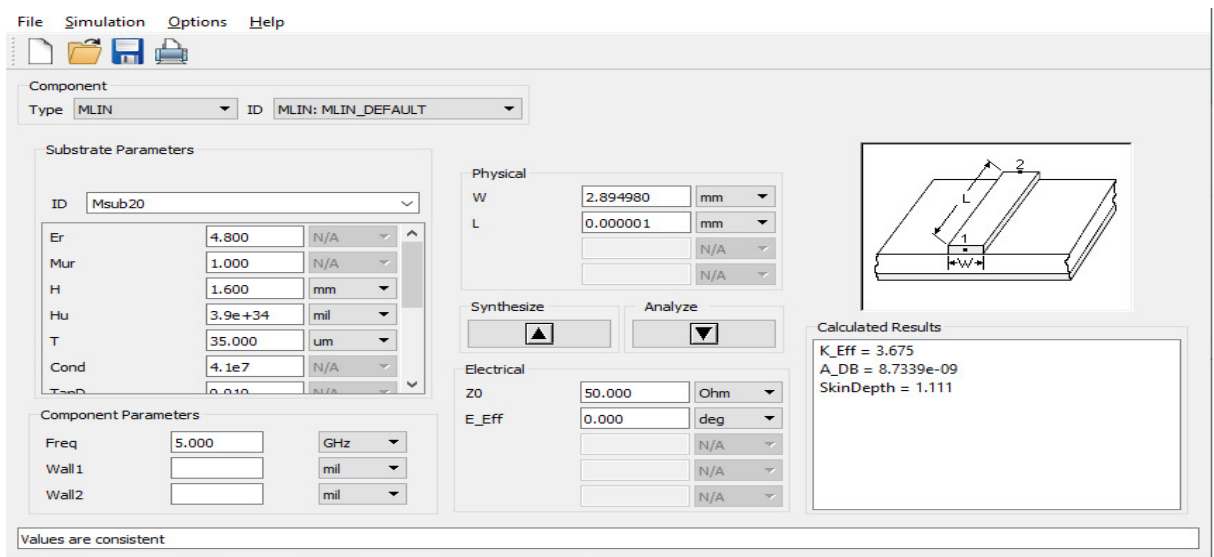


Figure 3.7 : Calcul de W par l'outil LineCalc.

Les résultats obtenus sont fournis dans le tableau (voir **Tableau 3.1**)

**Synthèse :**

Zc (ohm)	<b>35</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>65</b>	<b>75</b>
W (mm)	5.085530	3.452870	2.894980	2.446160	1.778090	1.307380

Zc (ohm)	<b>85</b>	<b>95</b>	<b>100</b>
W (mm)	0.964992	0.712673	0.612093

**Tableau 3.1 :** Variation de la largeur du substrat W en fonction de l'impédance Zc

Les valeurs de W calculées en utilisant LineCalc peuvent être retrouvées à partir des formules empiriques de synthèses exprimées dans la partie théorique :

Pour  $Z_c = 50 \Rightarrow w = 4.226$ .

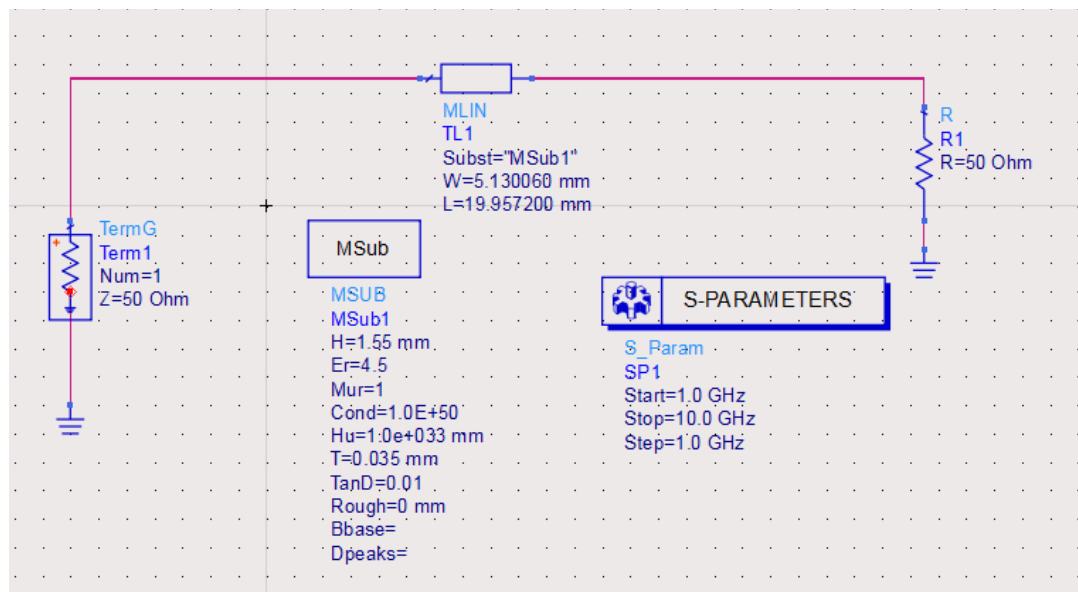
Pour  $Z_c = 65 \Rightarrow w = 1.008$ .

Pour calculer la permittivité effective  $\epsilon_{eff}$  on utilise la formule de Hammerstadt, dans notre cas la permittivité relative  $\epsilon_r = 4,8$ , on a eu par application de la formule  $\epsilon_{eff} = 3,6437$ . Sur LineCalc la valeur calculée est  $\epsilon_{reff} = 3,675$ .

D'après le **Tableau 3.1** on remarque que lorsque l'impédance caractéristique  $Z_c$  augmente, la largeur du substrat  $W$  diminue, on conclue alors que l'impédance caractéristique  $Z_c$  dépend de géométrie de la ligne de transmission (micro ruban)  $w$  et n'influence pas sur la valeur de permittivité effective.

### 3.3. Adaptation de l'impédance

On propose la simulation des paramètres S d'une ligne micro ruban, pour cela on insère les éléments du circuit représenté par une ligne micro ruban à une terminaison et fermé sur une charge de 50 Ohm: on visualise par la suite le coefficient de réflexion en module (dB) et sur l'abaque de Smith.

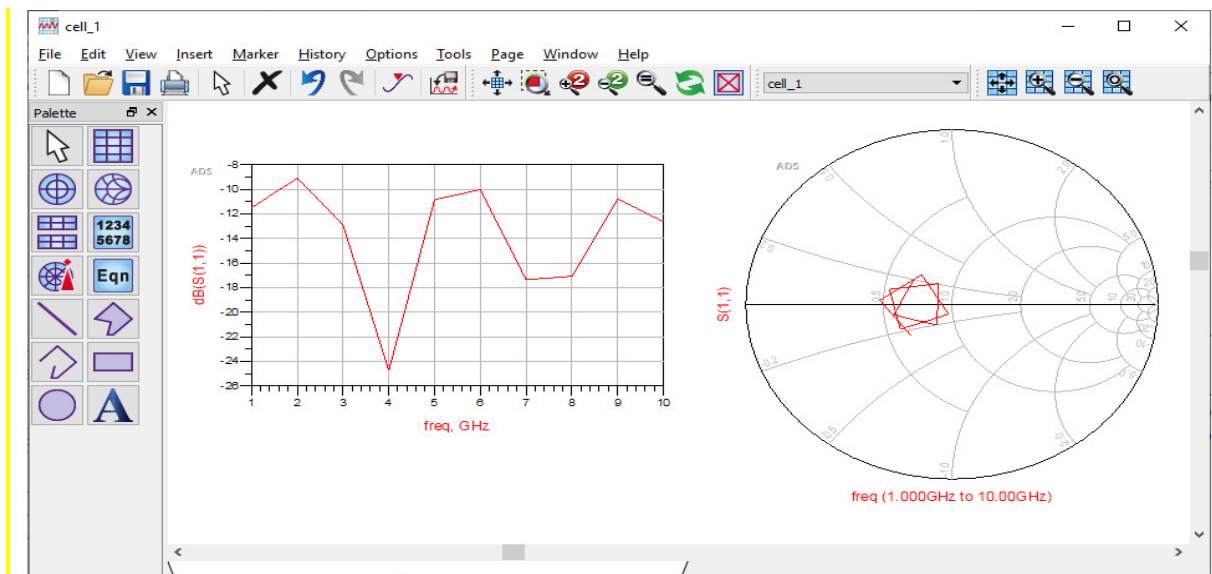


**Figure 3.8:** Schéma de simulation de la ligne micro ruban.

#### 3.3.1. Pour $Z_c = 35$ ohm.

La courbe à droite exprime l'évolution du coefficient de réflexion (paramètre S11) en fonction de la fréquence de la fréquence. Il est bien connu que l'adaptation est supposé

bonne lorsque le coefficient de réflexion prend au moins la valeur  $-10\text{dB}$ . On remarque que pour  $Z_c=35\text{ohm}$ , la ligne s'adapte bien pour la fréquence  $4\text{GHz}$  ( $S_{11}=-33\text{dB}$ ), moins bien pour la fréquence  $8\text{GHz}$  ( $S_{11}=-23\text{dB}$ ) ; En Contrepartie, on remarque que pour  $5\text{GHz}$ , la valeur du coefficient ( $S_{11}=-12\text{dB}$ ) est acceptable mais n'est pas très bonne. Pour l'abaque de Smith, on remarque que les valeurs du coefficient de réflexion sont tous autour ou plutôt proche la valeur  $R=1$  ce qui est en coïncidence avec les valeurs de  $S_{11}$  pour différentes valeurs de fréquences essentiellement entre  $m_1$  et  $m_2$ .

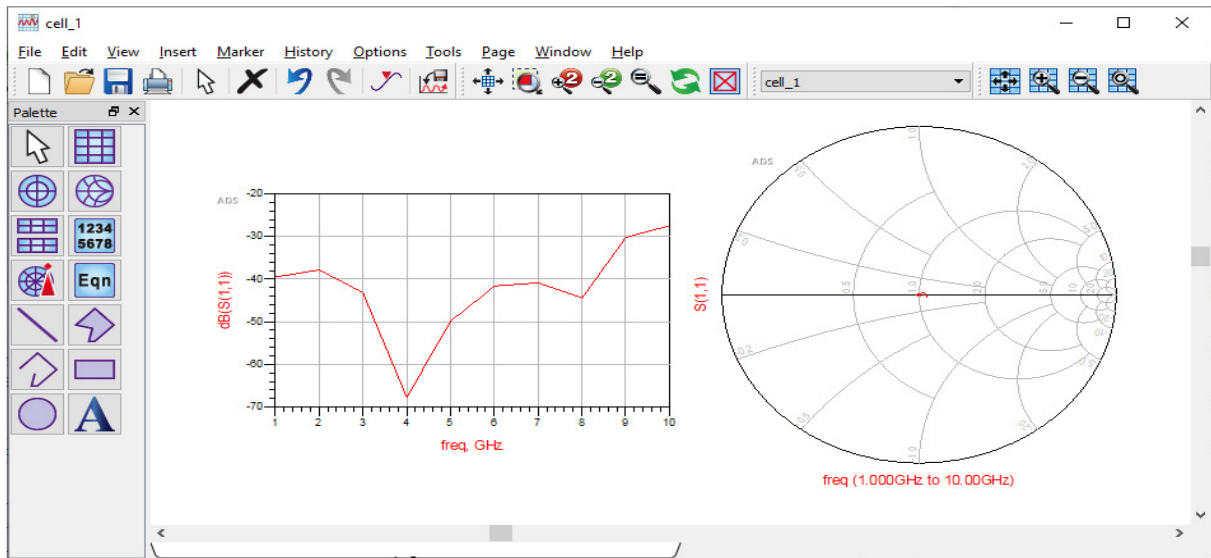


**Figure3.9:** Variation du coefficient de réflexion  $S_{11}$  en fonction de la fréquence pour  $Z_c= 35$  Ohm

### 3.3.2. Pour $Z_c= 50\text{ohm}$ .

Dans ce cas, la valeur du coefficient de réflexion relevée sur la courbe à gauche, pour  $f=5\text{GHz}$ , ou remarque que  $S_{11}=-50\text{dB}$  exprime une bonne adaptation d'impédance. Cette adaptation est optimale pour la fréquence  $f=4\text{GHz}$ .

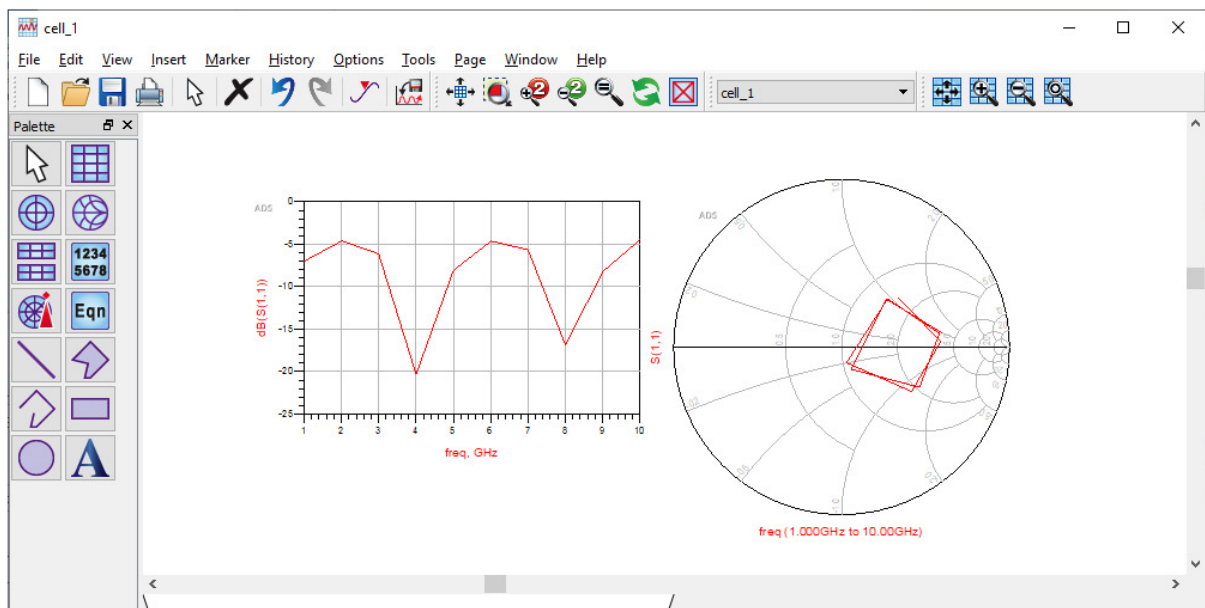
Pour l'abaque de Smith, il est clair que les valeurs de  $S_{11}$  relevées sur cette courbe sont tous très proches de 1, ce qui correspond à une bonne adaptation d'impédance.



**Figure 3.10 :** Variation du coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence pour  $Z_c = 50 \text{ Ohm}$

**3.3.3. Pour  $Z_c = 100 \text{ ohm}$ .**

Pour  $Z_c = 100 \text{ Ohm}$ , on remarque que le coefficient de réflexion est de l'ordre de -7dB pour la fréquence choisi qui est 5GHz, ce qui indique une très mauvaise adaptation, donc cette ligne micro ruban ne sera pas utilisée pour cette fréquence, mais peut par contre transmettre d'une manière optimal le signal parcourant cette ligne pour la fréquence 4GHz ou 8GHz puisque le S11 est largement au-dessus du -10dB.



**Figure 3.11 :** Variation du coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence pour  $Z_c = 50 \text{ Ohm}$

**Calcule l'impédance :**

Le calcul de l'impédance caractéristique à partir les graphes (l'abaque de Smith).

$$Z_c = Z_0 * \|\alpha \pm j\beta\| \quad (3.23)$$

Z0 (ohm)	<b>35</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
Zc (ohm)	34.50	50.05	102.71

**4. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons simulé une ligne micro ruban caractérisé par son impédance caractéristique  $Z_c$ . Il est bien connu que cette impédance qui caractérise la ligne de transmission est intimement liée à sa géométrie ici exprimé la largeur du substrat  $w$ .

Aussi dans le même contexte, on simula les paramètres S de la même ligne ce qui est visé en particulier c'est le paramètre S11 représentant le coefficient de réflexion qui permet à travers cette simulation d'étudier les cas (valeurs de l'impédance caractéristique  $Z_c$ ) qui permet d'assurer un transfert maximal de puissance dans la ligne micro ruban.

## **Conclusion général**

L'étude et simulation des lignes de transmission ne date pas d'aujourd'hui est a fait l'objet de plusieurs travaux, beaucoup d'entre elles s'est intéressé aux structures planaires comme par exemple les lignes microstrip ou miro ruban. Cet intérêt est dû principalement à l'étendu d'utilisation de ce type de ligne dans les applications micro-ondes ou hyperfréquences et aussi à l'amélioration récente des caractéristiques électriques des substrats et la parfaite maîtrise de la technologie des circuits imprimés ainsi que la miniaturisation des circuits de conceptions hautes fréquences.

Notre travail a porté sur les lignes micro ruban qu'on rencontre sous plusieurs formes comme le résonateur micro ruban, les antennes patch et les circuits imprimés. On s'est proposer alors d'aborder la caractérisation d'une ligne micro ruban à travers une étude théorique formulant des équations de synthèses et d'analyses afin d'exprimer la corrélation entre impédance et caractéristique de la ligne et le choix de ses dimension. Certes, ce résultat n'est pas nouveau mais reste un constat qui a contribué largement dans le choix de la géométrie du micro ruban.

Toujours dans l'étude des caractéristiques de la ligne micro ruban, on propose une simulation haute fréquence (ici 5Ghz) des paramètres S (particulièrement le paramètre S11) d'une ligne correspondant au circuit imprimé classique en verre époxy. Le coefficient de réflexion étant le plus petit possible signifiant ainsi une bonne adaptation de la ligne. Ce problème d'adaptation qui reste un problème majeur surtout en ce qui concerne les lignes de transmission, cela permet de maximiser le transfert d'énergie depuis la source vers la charge. la simulation en question est effectué sur logiciel ADS. En vue, utiliser les méthodes d'optimisations serait souhaitable.

Ce mémoire s'articule en trois chapitres :

Le premier chapitre, on propose une présentation générale des différentes lignes de transmission (câble coaxial, ligne bifilaire, fibre optique.....).

Dans le deuxième chapitre, nous introduisons les caractéristiques de base d'une ligne de transmission, puis nous présentons le modèle équivalent qui permet la modélisation de tout type de support de transmission.

Enfin dans le dernier chapitre, caractérisé et adapté une ligne de transmission micro ruban par logiciel ADS.

## **Bibliographiques**

- [1] MENAD Touati, Etude et caractérisation d'une antenne micro ruban rectangulaire par la méthode FDTD. Thèse de magistère, 2007
- [2] [fr.wikibooks.org/wiki/Les\\_réseaux\\_informatiques/Les\\_supports\\_de\\_transmission](http://fr.wikibooks.org/wiki/Les_réseaux_informatiques/Les_supports_de_transmission)
- [3] BENKHAOUA, Larbi. Contribution à l'élaboration d'un modèle électromagnétique de supports de transmission non uniformes. Thèse de Doctorat 3ème cycle LMD en Électronique. Hyperfréquences et Télécommunications, 2016.
- [4] [fr.wikipedia.org](http://fr.wikipedia.org)
- [5] [dspace.univ-tlemcen.dz](http://dspace.univ-tlemcen.dz)
- [6] Samia HADJI, Siham NEKMOUCHE. Installation et configuration du standard téléphonique PABX Alcatel-Lucent Omni PCX office. Master Académique : Réseaux et Télécommunications, 2015.
- [7] Jean-Pierre Arnaud, 2003-2006, Réseaux et Télécoms, 2ème édition, Paris : 962
- [8] Mostari Latifa. Cours : Support de transmission. Destiné aux étudiants 3èmes Licence en Télécommunication, Université Hassiba Benbouali Chlef, 2019.
- [9] Mostafa Kamel Smail. Développement d'une méthodologie dédiée à la réflectométrie en vue du diagnostic filaire. Thèse de Doctorat en physique, université Paris-SUD XI faculté des sciences d'Orsay, 2010.
- [10] Martin corriveau. Modélisation et conception d'une antenne micro-onde de type micro ruban avec radome. Université du Québec à trois Rivières, 2006.
- [11] Boukredine Salah Eddine. Etude d'un guide d'ondes multicouches avec substrat CHIRAL\_CHIFOFERRITE\_FERRITE ». Thèse Magister en communication, université Ferhat Abbas de Setif, 2009.
- [12] Zegaar Imane, Gherbi Aicha. Etude et conception d'un filtre passe bande à base de résonateur à saut d'impédance pour les systèmes de communication sans fil. Thèse Master en télécommunication, université Mohamed Boudiaf M'sila, 2019.
- [13] Ouggad Mohamed El Amine. Simulation d'une chaîne de transmission radio ». Thèse Master en télécommunication, université Aboubakr Belkaid Tlemcen, 2019.

## **Bibliographiques**

[14] Victoria A. Gomez-Guillamon Buendia. Caractérisation d'Equipes de Réception et Software de Simulation ». Université politécnica de Cartagena, 2019.

[15] Gabriel CORMIER. Cours : Propagation d'ondes, Université de Moncton, 2012.