

# Support de transmission physique



Mr Ghazi Aziz  
Supmanagement



Mr Ghazi Aziz Supmanagement

1

## Support de transmission physique Programme

- Support de transmission Physique
- Caractéristiques des supports de transmission
- Bande passante et système de transmission
- Impédance caractéristique
- Coefficient de vélocité
- Les supports guidés
- La paire torsadée
- Le câble coaxial
- La fibre optique

Mr Ghazi Aziz Supmanagement

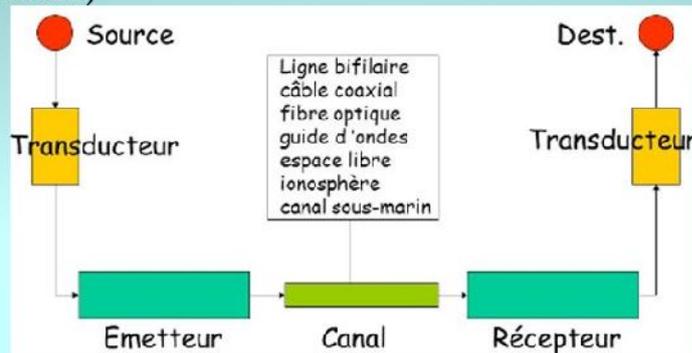
2

# GÉNÉRALITÉS



Généralement on classe les supports en deux catégories :

- ❑ **Les supports guidés** (supports cuivre et supports optiques) ;
- ❑ **Les supports libres** (faisceaux hertziens et liaisons satellites)



Mr Ghazi Aziz Supmangement

3

## Les caractéristiques des supports

- Différentes selon la nature physique du support et du mode de propagation choisi.
- Cependant, certaines caractéristiques sont communes à tous les types de support (bande passante...), d'autres sont spécifiques (impédance caractéristique...)
- Les supports sont à l'origine de la plupart des problèmes de transmission, aussi il est important de bien en connaître les caractéristiques pour en comprendre l'utilisation et anticiper les différents problèmes d'exploitation pouvant survenir.

Mr Ghazi Aziz Supmangement

4

# 1. La bande passante :

Lors de sa transmission sur un support, l'impulsion électrique représentative d'un élément binaire est affaiblie (**atténuation**) et déformée (**distorsion**) par le système de transmission



Mr Ghazi Aziz Supmangement

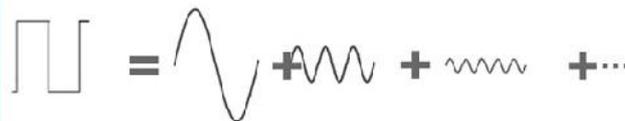
5

## Notion d'analyse spectrale

- On se référant aux travaux du physicien **Fourier** qui a montré que tout signal périodique non sinusoïdal (par assimilation une suite de bits 0101010...) peut être considéré comme la somme d'une composante continue ( $A_0$ ) et d'une infinité de signaux sinusoïdaux d'amplitude, de fréquence et de phase convenablement choisis. Le théorème de Fourier peut s'exprimer simplement par la relation :

$$u(t) = A_0 + \sum_{i=1}^{i=\infty} U_i \cos(i\omega t + \varphi_i)$$

- La composante de même fréquence ( $i = 1$ ) que le signal d'origine est appelé fondamental. Les autres composantes sont des multiples ( $i = 2, 3, \dots, \infty$ ) de la fréquence du signal fondamental, et sont appelées harmoniques.



$$u(t) = 4U/\pi (\sin \omega t + 1/3 \sin 3\omega t + 1/5 \sin 5\omega t + \dots)$$

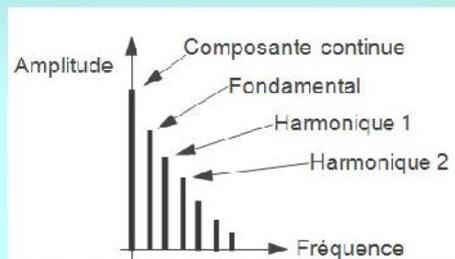
Mr Ghazi Aziz Supmangement

6

## Notion d'analyse spectrale

L'espace de fréquences occupé par toutes les composantes se nomme largeur de bande du signal. Chaque composante peut être représentée par l'énergie qu'elle contient.

L'ensemble des raies de fréquence constitue **le spectre du signal**

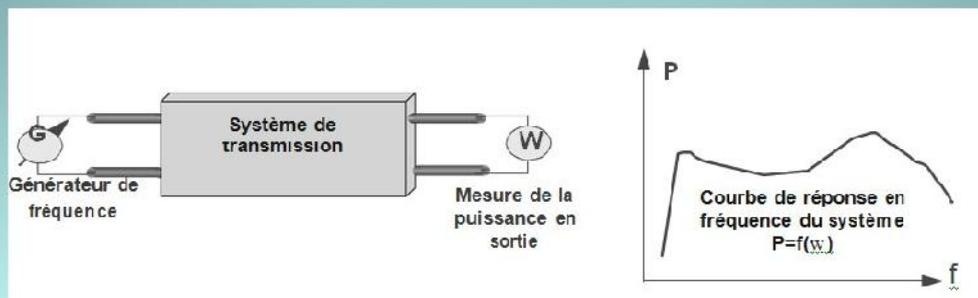


Mr Ghazi Aziz Supmangement

7

## Notion de bande passante

- Principe du relevé de la bande passante d'un système



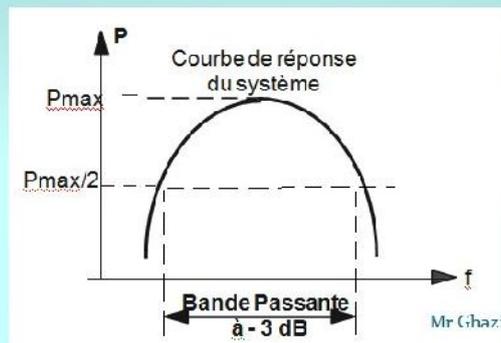
- Les signaux sont transmis avec une distorsion faible jusqu'à une certaine fréquence appelée fréquence de coupure. Au-delà de cette fréquence, toutes les composantes sont fortement atténuées

Mr Ghazi Aziz Supmangement

8

## Notion de bande passante

- On appelle bande passante l'espace de fréquences tel que tout signal appartenant à cet intervalle, ne subisse, au plus, qu'un affaiblissement déterminé.
- L'affaiblissement, exprimé en décibel (dB) est donné par la relation :
$$A = 10 \log_{10} (P_1 / P_0)$$
  - où  $P_1$  est la puissance du signal en sortie,
  - $P_0$  est la puissance du signal de référence
- La bande passante est définie pour une atténuation en puissance de moitié, ce qui correspond à -3 dB



## 2. L'impédance caractéristique

- Une ligne de transmission est constituée de deux conducteurs de cuivre séparés par un isolant.
- Elle présente au courant électrique un effet résistif ( $R$ ) responsable de l'atténuation du signal, des effets réactifs qui se décomposent en effet selfique ( $L$ ) et en effet capacitif ( $C$ ), et enfin la conductance ( $G$ ) qui exprime la perte par effet résistif entre les deux conducteurs (généralement négligeable).

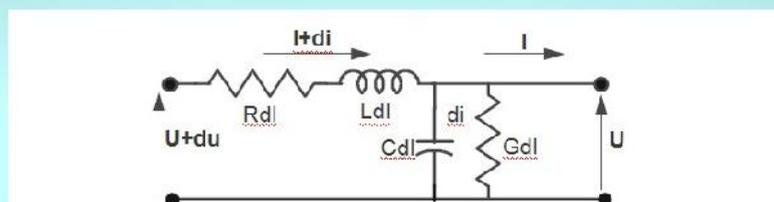


Schéma équivalent d'un élément ( $dl$ ) d'une ligne de transmission.

# L'impédance caractéristique

- **Définition:**

On appelle **impédance ( $Z$ )** de l'élément de ligne de longueur  $dl$ , le rapport  $du/di$ .

La notion d'impédance en courant alternatif recouvre une notion similaire à celle de résistance en courant continu, elle s'exprime en ohm ( $\Omega$ ).

Le rapport  $du/di$  pour une ligne supposée de longueur infinie s'appelle **impédance caractéristique notée  $Z_c$**  :

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + jL\omega}{G + jC\omega}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$$

- avec  $\omega = 2\pi \times f$ ,
- où  $\omega$  est la pulsation du courant exprimée en radian/s, et  $f$ , en hertz (Hz), la fréquence du signal.

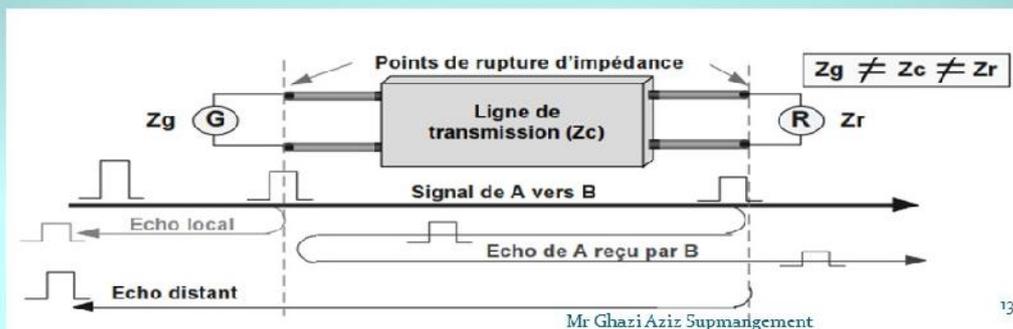
# Notion d'adaptation d'impédance

On montre qu'une ligne de longueur finie refermée sur un récepteur, dont l'impédance  $Z_r$  est telle que  **$Z_r = Z_c$** , se comporte comme une ligne de longueur infinie. Le transfert de puissance est alors maximal entre le générateur et le récepteur. **La ligne est dite adaptée** (adaptation d'impédance)



## Conséquence de la désadaptation d'impédance : l'écho

Lorsque deux systèmes d'impédances différentes sont mis en relation, le transfert de puissance n'est pas optimal, la puissance non absorbée par le système distant est réfléchiée vers la source, ce phénomène s'appelle **l'écho**.  
L'écho a pour conséquence de générer des « bits fantômes », introduisant ainsi des erreurs de transmission.



### 3. Le coefficient de vélocité

- informe sur la vitesse de propagation du signal dans un support.
- Pour les câbles cuivre, le coefficient de vélocité vaut environ 0,7.
- Notons que la vitesse de propagation dans un support est  $V = \alpha c$ 
  - avec  $V$  vitesse de propagation réelle du courant en m/s,
  - $\alpha$  coefficient de vélocité,
  - $c$  célérité ou vitesse de la lumière

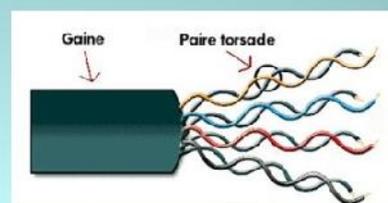
## Récapitulatif

1. Quelles sont les catégories d'un support de transmission ?  
Donnez des exemples ?
2. Donnez le schéma d'une chaîne de transmission filaire ?
3. Donnez la formule de calcul de l'affaiblissement ?
4. Donnez la définition de la bande passante ?
5. Donnez le schéma équivalent d'une ligne de transmission ?
6. Citez la définition de l'impédance caractéristique d'une ligne ?
7. Quand une ligne de transmission est dite adaptée ?
8. Quelle est la conséquence de la désadaptation d'impédance ?
9. Définir le coefficient de vélocité et donnez sa formule de calcul ?

## Ligne de transmission

Une ligne est un ensemble de deux conducteurs, chargés de transmettre un signal d'un point à un autre. Les types de lignes les plus employées sont :

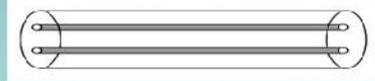
- La ligne bifilaire
- La ligne coaxiale
- La ligne imprimée



# La ligne bifilaire

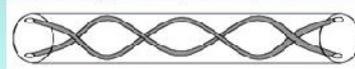
## a. Paires droite :

Deux conducteurs filaires parallèles et maintenus à distance constante l'un de l'autre par un isolant (ligne « twin lead »). Pertes importantes. Grande sensibilité au bruit. Bande passante faible.



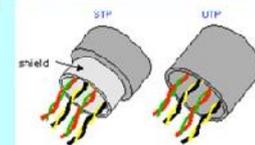
## b. Paires torsadées UTP (Unshielded Twisted Pair) :

Deux conducteurs filaires isolés torsadés. Là aussi une atténuation importante. Moins sensible au bruit. Très utilisé pour le câblage téléphonique et informatique au niveau local.



## c. Paires torsadées blindées STP (Shielded twisted pair) :

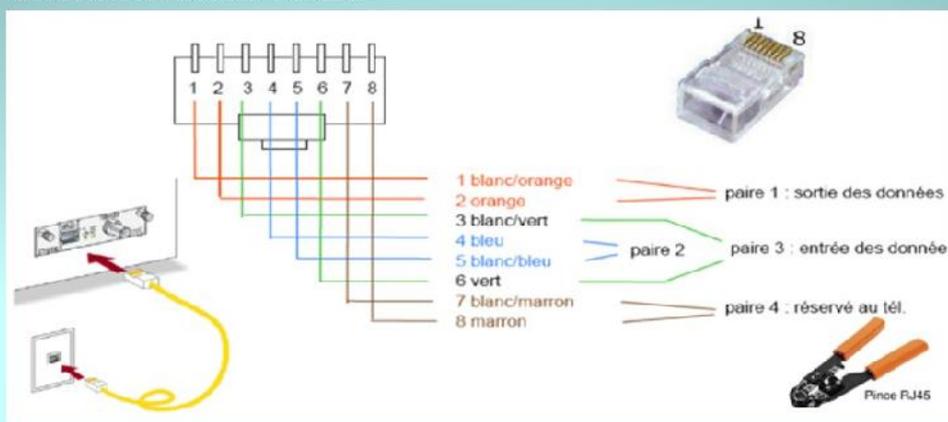
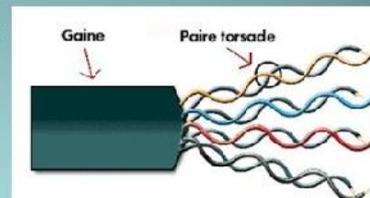
C'est le même câble que la paire torsadée mais entourée d'une feuille conductrice. Meilleure immunité au bruit que la paire torsadée simple. Elles sont très utilisées pour le câblage des réseaux à 10 et 100 Mbits.



Mr Ghazi Aziz Supmangement

# Paires torsadées

- L'utilisation la plus courante pour Les réseaux locaux informatiques, où les distances se limitent à quelques mètres, utilisent la norme RJ45 utilisant des câbles contenant 4 paires torsadées
- Le raccordement des câbles RJ45 se fait à travers les connecteurs RJ45 permettant de connecter les fils selon le schéma suivant :



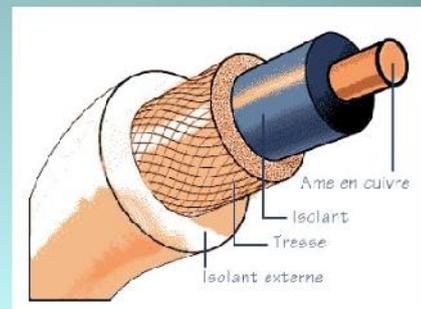
## Paires torsadées

Les câbles à paires torsadées sont normalisés en catégories de Cat1 à Cat7, Les plus utilisées actuellement sont :

- **Catégorie 3** : Bande passante 16MHz, utilisée pour la téléphonie.
- **Catégorie 5** : Bande passante 100MHz, Débit 100MB/s sur 100m utilisée pour la téléphonie et les réseaux
- **Catégorie 6** : Bande passante 250MHz, Débit 1 GB/s sur 100m utilisée pour les réseaux
- **Catégorie 6a** : Bande passante 500MHz, Débit 10GB/s sur 100m
- **Catégorie 7** : Bande passante 600Mhz, Débit 10GB/s

## Câble coaxial

- Le conducteur cylindrique extérieur sert de blindage.
- L'immunité au bruit est donc importante. Les pertes restent grandes et dépendent fortement de la qualité du diélectrique utilisé.
- La bande passante est importante. Ce type de ligne est utilisé dans le domaine du câblage vidéo, informatique, de l'électronique basse fréquence, mais aussi dans le domaine des hyperfréquences jusqu'à plusieurs dizaines de GigaHertz.
- Pour éviter une atténuation trop importante en hyperfréquence (par exemple à 40 GHz) on utilise des diélectriques spéciaux très onéreux.

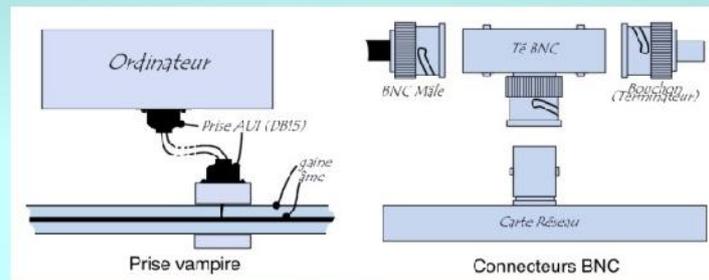


## Câble coaxial

Il existe deux types de câble coaxial :

- Le câble  $75 \Omega$ , dit "large bande" (broadband) utilisé pour la transmission analogique :  
c'est le câble de télévision !
- le câble  $50 \Omega$ , dit "bande de base" (baseband) généralement utilisé pour transmettre des signaux numériques. Il permet une bande passante de quelques centaines de MHz et des débits allant jusqu'à 2Gbit/s.

Le câble coaxial est raccordé par des prises vampire pour les gros câbles et les fiches BNC (British Naval Connector) pour les câbles fins.

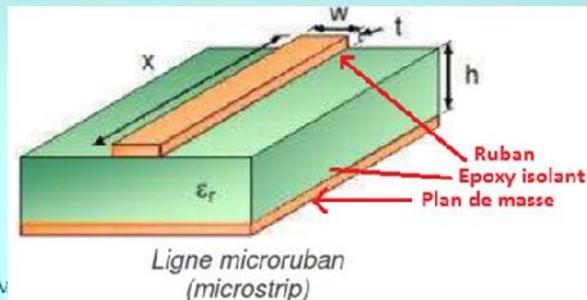


Mr Ghazi Aziz Supmangement

21

## La ligne imprimée

- Cette ligne est imprimée sur de l'époxy double face : Elle comprend, sur une face, un conducteur formé par une piste (ruban) et, sur l'autre face, un plan de masse.
- Ce type de ligne se rencontre notamment en hyperfréquences (des ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde est de l'ordre du centimètre, et que l'on utilise notamment en technique radar et en transmission hertzienne).



N

22

# Récapitulatif

1. Donnez la définition d'une ligne de transmission ?
2. Quels sont les types d'une ligne de transmission ?
3. Donnez la succession des couleurs pour le branchement du câble à paires torsadées RJ45 ?
4. Quelles sont les fréquences et les applications d'utilisation des câbles RJ45 catégories 5 et 6 ?
5. Donnez la structure physique du câble coaxiale ?
6. Quelles sont les types du câble coaxial et leurs applications ?
7. Donnez la structure physique d'une ligne MicroRuban ?

Mr Ghazi Aziz Supmangement

23

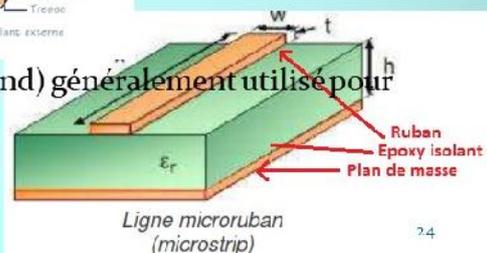
# Solution

1. Une ligne est un ensemble de deux conducteurs, chargés de transmettre un signal d'un point à un autre.
2. Les types de lignes les plus employées sont :
  - La ligne bifilaire-La ligne coaxiale-La ligne imprimée
3. Blanc/orange, orange, blanc/vert, bleu...
4. **Catégorie 5** : Bande passante 100MHz, Débit 100MB/s sur 100m utilisée pour la téléphonie et les réseaux - **Catégorie 6** : Bande passante 250MHz, Débit 1 GB/s sur 100m utilisés pour les réseaux
5. Structure du câble coaxiale :
6. **Le câble 75  $\Omega$** , dit "large bande" (broadband) utilisé pour la transmission analogique :

c'est le câble de télévision!

- **le câble 50  $\Omega$** , dit "bande de base" (baseband) généralement utilisé pour transmettre des signaux numériques

7.



Mr Ghazi Aziz Supmangement

24

# Description électrique d'une ligne

## 1 Résistance:

- Chacun des conducteurs de la ligne est caractérisé par une résistance, qui dépend essentiellement du métal dont il est fait, et de sa forme.
- Pour un fil métallique cylindrique, de section  $S$  et de longueur  $l$ , on rappelle la formule :  $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$
- $\rho$  désigne la *résistivité* (en  $\Omega\text{m}$ ) du métal.
- Quelques valeurs de résistivités :
 

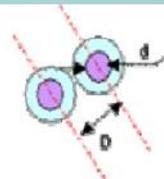
Argent	Cuivre	Aluminium	Fer	Plomb
$1,6 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$	$1,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$	$2,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$	$9,8 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$	$20 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

## 2. Capacité:

- Une ligne est formée de 2 conducteurs, séparés par un isolant. Ceci correspond à une capacité, *répartie tout au long de la ligne*.
- On appelle  $C$  la *capacité linéique* de la ligne (capacité par unité de longueur, exprimée en  $\text{pF/m}$ )  $C$  peut être calculée grâce au *Théorème de Gauss*

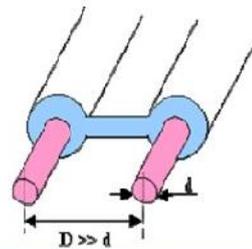
Pour une paire torsadée :

$$C = \frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\text{Ln} \left( \frac{D}{d} + \sqrt{\left( \frac{D}{d} \right)^2 - 1} \right)}$$



Pour une ligne twin lead :

$$C = \frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\text{Ln} \left( \frac{2D}{d} \right)}$$

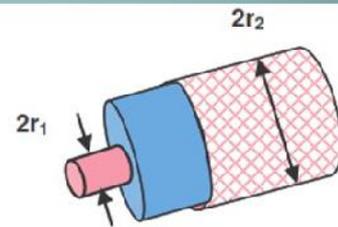


$\epsilon_0 \approx 8,84 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ , permittivité diélectrique du vide ;  $\epsilon_r$ , permittivité relative de l'isolant séparant les 2 conducteurs.

## 2. Capacité:

Pour un câble coaxial :

$$C = \frac{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\text{Ln}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$



Ordres de grandeur :

Pour les diélectriques courants (polyéthylène), on peut prendre  $\epsilon_r \approx 2$

Paire torsadée ( $d \approx 0,4\text{mm}$  ;  $D \approx 1,2\text{mm}$ )  $\rightarrow C \approx ?$

Ligne twin-lead ( $d \approx 0,4\text{mm}$  ;  $D \approx 9\text{mm}$ )  $\rightarrow C \approx ?$

Ligne coaxiale « 50Ω » ( $r_1 \approx 1,6\text{mm}$  ;  $r_2 \approx 5\text{mm}$ )  $\rightarrow C \approx ?$

## 3 Inductance:

- Lorsque les 2 conducteurs de la ligne sont parcourus par un courant *variable dans le temps*, ils s'influencent mutuellement par effet inductif.
- On appelle L l'inductance linéique de la ligne (inductance par unité de longueur, exprimée en  $\mu\text{H/m}$ ) L peut être calculée à l'aide du *théorème d'Ampère*.

$$\text{Pour une paire torsadée : } L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \cdot \text{Ln}\left(\frac{D}{d} + \sqrt{\left(\frac{D}{d}\right)^2 - 1}\right)$$

$$\text{Pour une ligne twin lead : } L \approx \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{\pi} \cdot \text{Ln}\left(\frac{2D}{d}\right)$$

$$\text{Pour une ligne coaxiale : } L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{2\pi} \cdot \text{Ln}\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

Ordres de grandeur. Pour les mêmes lignes que plus haut, on obtient :

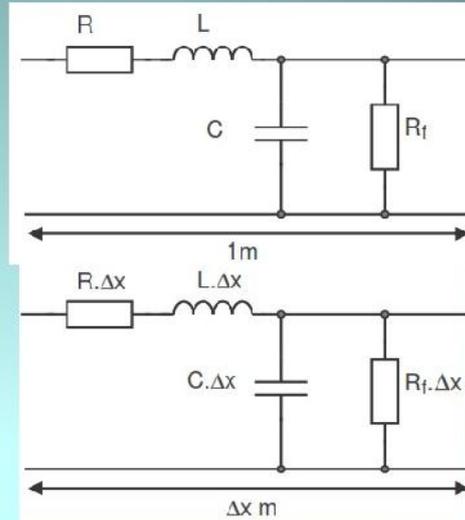
Paire torsadée :  $L \approx ?$

Ligne twin-lead :  $L \approx ?$

Ligne coaxiale :  $L \approx ?$

## Modèle électrique d'une ligne

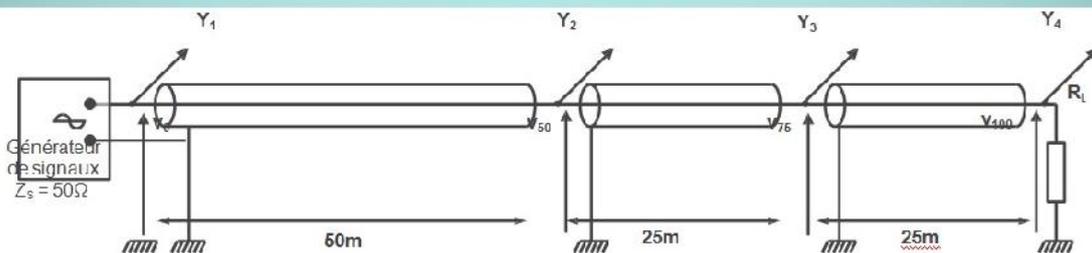
- Compte tenu de ce qui précède, une longueur unitaire (1m) de ligne peut être représenté par le modèle électrique de droite.
- La résistance  $R_f$  correspond aux fuites inévitables dans l'isolant entre les 2 conducteurs ; de très forte valeur ( $10^7$  à  $10^{10} \Omega/m$ )
- Pour une longueur  $\Delta x$  quelconque, ce modèle devient



NB: Il est important de noter que les paramètres de description (résistances, inductance et capacité) sont répartis tout au long de la ligne et ne sont pas localisés

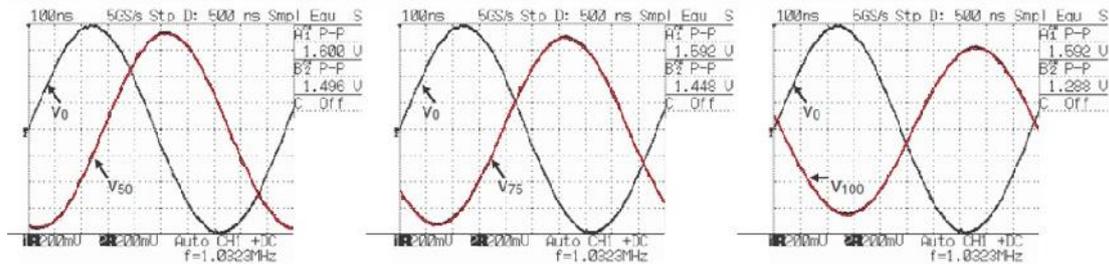
## Le phénomène de propagation

- Jusqu'à présent, nous avons considéré que 2 points quelconques d'un conducteur sont au même potentiel instantané. Ceci peut ne plus être vrai, si la longueur de ce conducteur est « grande », ou si la fréquence des signaux traités devient « trop » élevée.
- **1 Mise en évidence d'une propagation**
- Nous réalisons simplement l'expérience suivante : On dispose d'un câble coaxial de longueur totale 100m, formé par l'assemblage d'un tronçon de 50m et de 2 tronçons de 25m, comme représenté sur la figure ci-dessous :



# Le phénomène de propagation

- Il s'agit de câble coaxial « 50Ω » ; le générateur délivre une tension sinusoïdale, de fréquence 1MHz et d'amplitude 0,8V ; la ligne est fermée sur une résistance de 50Ω.
- On obtient les relevés suivants pour les tensions  $v_0$ ,  $v_{50}$ ,  $v_{75}$  et  $v_{100}$ .



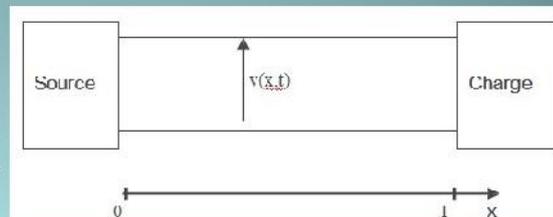
On peut constater un retard  $t$  croissant sur  $v_5$ , de  $v_{50}$  ( $\approx 290$ ns) à  $v_{75}$  ( $\approx 380$ ns) puis à  $v_{100}$  ( $\approx 520$ ns). Ces retards correspondent à une *vitesse de propagation du signal* sur la ligne proche de 200000km/s.

Mr Ghazi Aziz Supmangement

31

## 2 Vitesse de propagation – Longueur d'onde.

- Considérons la tension  $v$ , transmise sur la ligne, de la source vers la charge  $R_T$ .
- Au niveau de la source ( $x = 0$ ), on écrit :  $v(0, t) = V \cos \omega t$



$v$  se propageant à la vitesse  $c$  sur la ligne, elle arrive à l'abscisse  $x$  avec un retard  $\delta t$  soit :

$$\delta t = \frac{x}{c}$$

$v(x, t) = V \times \cos \omega(t - \delta t) = V \times \cos(\omega t - \frac{\omega x}{c})$  (en admettant une conservation de l'amplitude)

La propagation sur une distance  $x$  entraîne un retard de phase  $\delta \phi = \frac{\omega x}{c}$   
 Si  $\delta \phi = 2\pi$ ,  $x$  correspond à la **longueur d'onde associée au signal**. (on rappelle la relation  $\lambda = cT = c/f$ ) La longueur d'onde est la distance parcourue à la vitesse  $c$  par un signal de fréquence  $f$  durant la période  $T$ .

Mr Ghazi Aziz Supmangement

32

## Expression de la vitesse de propagation

- Pour une ligne de constantes réparties L et C, supposée sans pertes, la résolution de l'équation de propagation amène à :

$$c = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- En reprenant les expressions trouvées pour l'inductance et la capacité linéiques de diverses lignes, on arrive à :

$$c = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}}$$

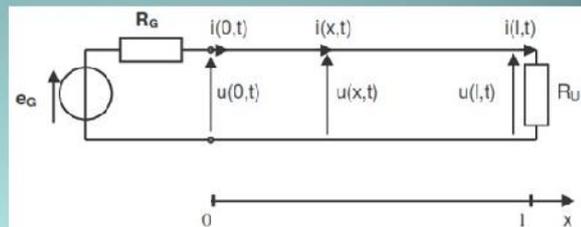
- Or,  $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \approx 300000 \text{ km/s} = c_0$ , vitesse de la lumière dans le vide ; pour la plupart des lignes,  $\mu_r = 1$  ; dans ces conditions, la vitesse d'un signal sur une ligne sans pertes peut s'écrire

$$c = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Pour les lignes habituelles, à isolant plastique,  $2 < \epsilon_r < 3$ , d'où  $200000 \text{ km/s} > c > 175000 \text{ km/s}$ .

## La ligne désadaptée. Coefficient de réflexion

- Considérons toujours une ligne, dont on néglige les pertes, de longueur l, d'impédance caractéristique  $Z_c$  (résistive).
- Cette ligne est attaquée par un générateur de résistance de sortie  $R_G$ , et fermée à l'autre extrémité sur une résistance  $R_U \neq R_C$



- On aura cette fois l'existence simultanée d'un signal incident et d'un signal réfléchi :

$$u(x, t) = \hat{U}_1 \cdot \cos \omega \left( t - \frac{x}{c} \right) + \hat{U}_2 \cdot \cos \omega \left( t + \frac{x}{c} \right)$$

$$i(x, t) = \hat{I}_1 \cdot \cos \omega \left( t - \frac{x}{c} \right) + \hat{I}_2 \cdot \cos \omega \left( t + \frac{x}{c} \right)$$

- Une partie de la puissance injectée par le générateur sur cette ligne lui revient donc en retour.

On définit un coefficient de réflexion qui mesure l'importance de l'onde réfléchie  $\rho = \frac{\hat{U}_2}{\hat{U}_1}$

Si  $R_C$  est la résistance caractéristique de la ligne et  $R_U$  la résistance terminale, on peut montrer :

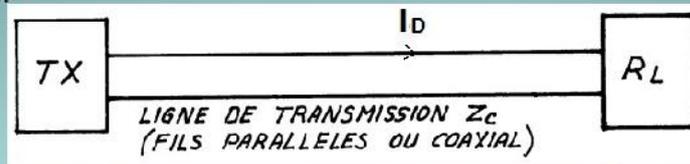
$$\rho = \frac{R_U - R_C}{R_U + R_C}$$

$\rho = 1$  si  $R_U$  est infinie (ligne ouverte)

$\rho = 0$  si  $R_U = R_C$  (ligne adaptée)

## Coefficient de réflexion-ROS-TOS

Le but de la ligne de transmission est de transmettre la puissance de sortie  $P_{\text{out}}$  du transmetteur TX vers la charge  $R_L$  avec un minimum de pertes.

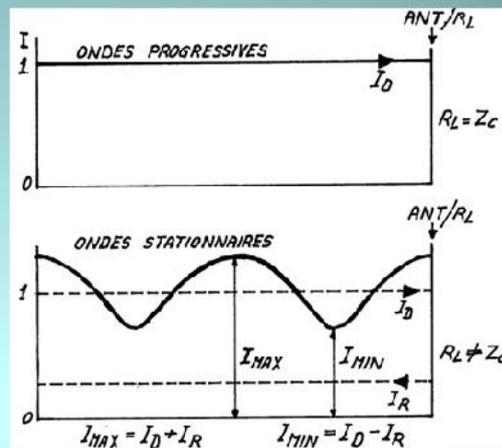


Si  $R_L = Z_c$ , toute la puissance sera absorbée par la charge  $R_L$ , et l'amplitude du courant  $I_D$  sera constante sur toute la longueur de la ligne, d'où le nom d'**ONDES PROGRESSIVES**.

Si  $R_L \neq Z_c$ , seule une partie de la puissance est absorbée par la charge  $R_L$ . L'autre partie est réfléchi de la charge  $R_L$  vers le TX et crée dans la ligne un courant réfléchi ( $I_R$ ).

## Coefficient de réflexion-ROS-TOS

La somme vectorielle de  $I_D$  +  $I_R$  montre qu'il y a sur la ligne un courant variable en amplitude, d'où le nom "**ONDES STATIONNAIRES**"



## Coefficient de réflexion ( $\rho$ )

- (1)  $\rho = I_R / I_D = U_R / U_D = (Z_L - Z_C) / (Z_L + Z_C)$
- $\rho$  varie de 0 à 1.
  - Si  $\rho = 0$ , l'adaptation est parfaite.
  - Si  $\rho \neq 0$ , l'adaptation est imparfaite
- On montre également que :

$$(2) \quad \rho = \sqrt{\frac{P_R}{P_D}}$$

$$(3) \quad \rho = \frac{ROS - 1}{ROS + 1}$$

## Rapport d'Ondes Stationnaires (ROS)

- $ROS = I_{MAX} / I_{MIN} = (I_D + I_R) / (I_D - I_R)$  (SWR Standing Wave Ratio).
- varie de 1 à l'infini
- Si le ROS = 1, l'adaptation est parfaite et un régime uniquement d'ondes progressives existe dans la ligne.
- Si le ROS  $\neq 1$ , l'adaptation est imparfaite et un régime d'ondes stationnaires existe dans la ligne.
- On montre également que :
- La valeur de la ROS évolue entre 1 et  $\infty$

$$ROS = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_R}{P_D}}}{1 - \sqrt{\frac{P_R}{P_D}}} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

NB: Le ROS est aussi la relation entre l'impédance de la charge (ou de l'antenne)  $Z_c$  et l'impédance caractéristique de la ligne  $Z_0$ . Mathématiquement, cela devient assez compliqué. Mais si la charge est résistive, **le ROS est le rapport  $Z_0/Z_c$  ou  $Z_c/Z_0$**  (prendre la valeur supérieure à 1).

## Intérêt du ROS

- En présence d'un ROS supérieur à 1, il y a donc de la puissance réfléchi par la charge (l'antenne) et qui de ce fait retourne vers le générateur; plus le ROS est élevé, plus la puissance réfléchi est grande. Ceci résulte de la désadaptation entre le générateur et la charge.
- Dans la réalité, un ROS jusqu'à 3 est acceptable: en effet 25 % de puissance correspondent à -1,25 dB environ, ce qui est négligeable sur un bilan de liaison; un ROS de 2 correspond à 11 % et à -0,5 dB.

## Taux d'ondes stationnaires (TOS)

- $TOS = \sqrt{P_R / P_D} \cdot 100$
- varie de 0 à 100 %.
- Si le TOS = 0, l'adaptation est parfaite et un régime uniquement d'ondes progressives existe dans la ligne.
- Si le TOS  $\neq$  0, l'adaptation est imparfaite et un régime d'ondes stationnaires existe dans la ligne.
- On montre également que :

$$TOS = \rho \times 100 = \left( \frac{ROS - 1}{ROS + 1} \right) \times 100$$

NB: Certaines littératures indiquent le TOS comme étant le carré de la part de tension ou courant réfléchi exprimé en % et est donc égal à :  $\rho^2 \cdot 100$

## Exercice

- 1- Calculer le ROS et le TOS sur une ligne coaxiale de 75 ( $Z_c$ ) associée à une antenne de 50 ( $Z_a$ ) ?
- 2- calculer le ROS et le TOS pour une puissance émise de 150W( $P_e$ ) et une puissance réfléchie de 25W( $P_r$ ) ?
- 3- Calculer le TOS en partant du ROS des deux questions précédentes ?

## Corrigé:

- 1-  $Z_c$  étant plus grand que  $Z_a$  nous choisisons la formule :

$$ROS = \frac{Z_c}{Z_a} = \frac{75}{50} = 1,5$$
$$TOS = \frac{Z_c - Z_a}{Z_c + Z_a} \times 100 = \frac{75 - 50}{75 + 50} \times 100 = 20\%$$

- 2- Appliquons la formule:

$$ROS = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_e}}}{1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_e}}} = \frac{1 + \sqrt{\frac{25}{150}}}{1 - \sqrt{\frac{25}{150}}} = 2,38$$
$$TOS = \sqrt{\frac{P_r}{P_e}} \times 100 = \sqrt{\frac{25}{150}} \times 100 = 40,82\%$$

- 3- Pour la première question le ROS était de 1,5 donc:

$$TOS = \frac{ROS - 1}{ROS + 1} \times 100 = \frac{1,5 - 1}{1,5 + 1} \times 100 = 20\%$$

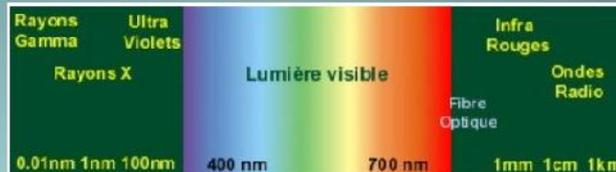
- Pour la deuxième question le ROS était de 2,38 donc:

$$TOS = \frac{ROS - 1}{ROS + 1} \times 100 = \frac{2,38 - 1}{2,38 + 1} \times 100 = 40,82\%$$

# Récapitulatif

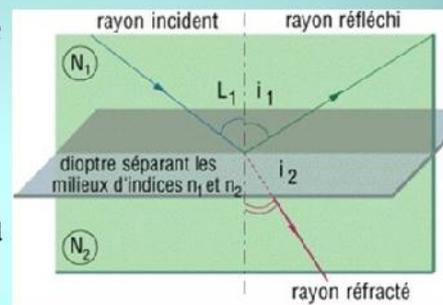
1. Donnez la formule de calcul de la résistance  $R$  d'une ligne métallique ? Calculer  $R$  pour un fil de cuivre de  $1\text{m}$  de long et de diamètre  $0,4\text{mm}$  ?  $R \approx 0,14\Omega$
2. Donnez la formule de calcul de la capacité  $C$  et l'inductance d'une ligne métallique à paire torsadée calculer  $C$  pour  $d=0,4\text{ mm}$  et  $D=1,2\text{mm}$  ( $\epsilon_r=2$   $\epsilon_0=8.84 \times 10^{-12}$ ) ?
3. Donnez la formule de calcul de la capacité  $C$  et l'inductance  $L$  d'une ligne métallique coaxial, calculer  $C$  pour  $r_1=1,6\text{ mm}$  et  $r_2=5\text{ mm}$  ?
4. Dessinez le modèle électrique d'une ligne métallique?
5. Donnez la vitesse de propagation dans une ligne métallique?
6. Montrez que  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}}$  pour les différentes lignes ?
7. Quelle est la formule de calcul du coefficient de réflexion dans une ligne ? Que signifie ce coefficient?
8. Donnez la définition du ROS et sa relation avec le coefficient de réflexion ?
9. Donnez la définition du TOS et sa relation avec le coefficient de réflexion ?

# Propagation de la lumière



- Lorsqu'un faisceau lumineux heurte obliquement la surface qui sépare deux milieux plus ou moins transparents, il se divise en deux : une partie est réfléchi tandis que l'autre est réfractée
- L'indice de réfraction est une grandeur caractéristique des propriétés optiques d'un matériau

$$n = C_0/v$$

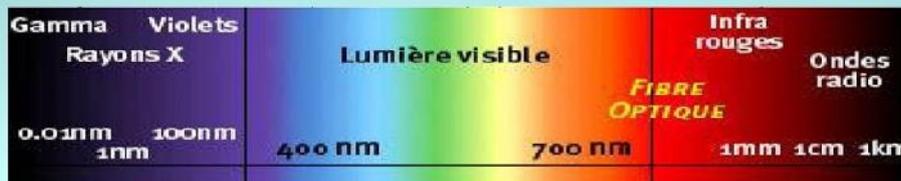


## La lumière

- Les ondes utilisées pour les fibres dépassent 750nm (rayons infrarouges).



- On utilise souvent le laser pour amplifier le rayon lumineux => réduire les pertes de la fibre optique.



## Historique

- 1970: Découverte de la première F.O à faible pertes (< 20dB/km) qui était en mesure de transporter 65 000 fois plus d'information qu'un simple câble de cuivre.
- 1971: Apparition du 1<sup>er</sup> Laser à semi-conducteur à température normale.
- 1972: fibre optique à silice à 4 dB/Km (0,85μ)
- 1975: Corning Inc. Développe le premier câble de fibre optique . Premiers essais de la part des compagnies de communications téléphoniques.
- 1986: La liaison à travers le Canal de la Manche est réalisée grâce à un câble sous-main
- 1993 : liaisons terrestres SDH de 100Km /2,5Gbits/s
- 2000: liaisons transatlantiques 'TA'-14 avec amplificateurs 5000Km / 160Gbits/s

## INTRODUCTION GENERALE

- Une nouvelle ère des télécommunications s'est sans doute ouverte avec l'apparition de la fibre optique à faible atténuation au début des années 70.
- Les 4dB d'atténuation au Km annoncés en 1972 apparaissaient déjà comme très intéressantes pour la conception de systèmes de transmission, même si la capacité en bande de fréquence demeurait alors modeste (une trentaine de MHz pour un Km).
- Les études menées depuis cette date ont permis de mettre au point des fibres nettement plus performantes puisque l'on parle aujourd'hui d'atténuation descendant aussi bas que 0,2dB/Km avec une bande de plusieurs dizaines de GHz pour un kilomètre.

## INTRODUCTION GENERALE

- Ces deux qualités essentielles des fibres disponibles aujourd'hui (**très faible atténuation et large bande passante**) font de ces minces fils de silice un support de premier choix pour les transmissions, et ceci d'autant plus qu'elles ne présentent pratiquement pas d'inconvénient en contre-partie, mises à part quelques difficultés liées à la nouveauté.
- Elles ont été retenues pour les liaisons numériques interurbaines où elles remplaceront à moyen ou à long terme, selon les pays, les traditionnels câbles métalliques. Mais, elles constituent aussi dès aujourd'hui un élément de base pour la construction des réseaux câblés.

## INTRODUCTION GENERALE

- A côté des deux qualités de base citées plus haut, la fibre optique présente certains **d'autres avantages** moins fondamentaux pour les télécommunications, mais par contre essentiels pour des domaines tels que l'aéronautique, l'informatique, le contrôle industriel etc....
- La fibre optique est **légère, peu encombrante, flexible**
- Le caractère diélectrique de la fibre fait qu'elle est parfaitement **isolée des sources de tension ou courant** qui peuvent l'environner.
- Le guidage de l'onde lumineuse dans un milieu bien fermé et protégé **évite des interférences du signal avec d'autres signaux extérieurs** et protège en particulier la transmission de tout parasite extérieur.

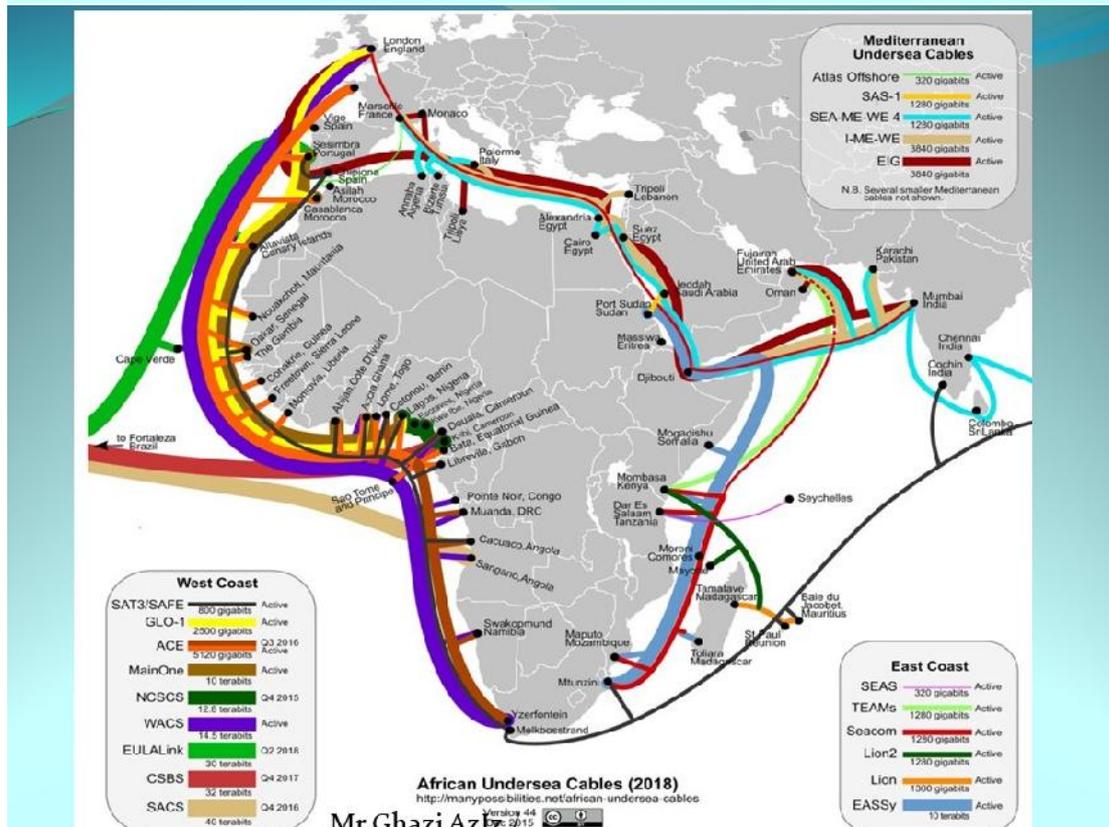
## INTRODUCTION GENERALE

- Donc, **immunité aux bruits électromagnétiques** et sécurité du réseau.
- De plus, il est **difficile de prélever l'information sur la fibre**, ou en tout cas l'opération peut être assez facilement détectée.
- Une liaison par fibre optique fonctionne de la lumière selon le protocole suivant:
  - Le signal électrique entrant subit d'abord une remise en forme et une éventuelle amplification.
  - Il est ensuite injecté dans la commande du courant d'alimentation de la diode émission, dont la puissance de sortie est linéaire par rapport à ce courant.

# Les Dorsales Internet : (ou Backbones)

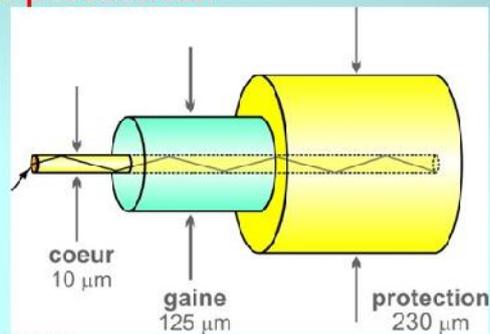
- Réseau grande distance permettant la connexion entre les pays du monde
- On utilise pour cela les câbles en fibres optiques (majoritairement : 99%) et les satellites géostationnaires

câble en  **fibre optique**  : sont sous marins ( $\approx 7\text{cm}$  dont de nombreuses couches de protection, durée de vie de 20-25 ans) et continentaux, le débit peut aller de plusieurs Gbps à plusieurs Tbps



## Fibre optique

- Une fibre optique est constituée d'un **fil de verre** très fin. Elle comprend un **cœur**, dans lequel se propage la lumière émise par une diode électroluminescente ou une source laser, et une **gaine optique** dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste dans la fibre, L'ensemble est généralement recouvert d'une **gaine plastique de protection**.



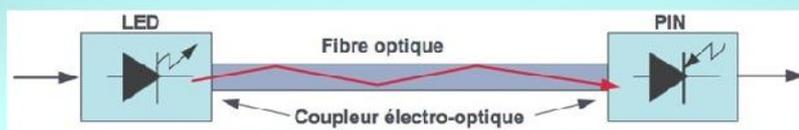
Mr Ghazi Aziz Supmangement

53

## Système de transmission par fibre optique

Un système de transmission par fibre optique met en œuvre :

- un **émetteur de lumière** (transmetteur), constitué d'une diode électroluminescente (LED, Light Emitting Diode) ou d'une diode LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), qui transforme les impulsions électriques en impulsions lumineuses ;
- un **récepteur de lumière**, constitué d'une photodiode de type PIN (Positive Intrinsic Negative) qui traduit les impulsions lumineuses en signaux électriques ;
- une **fibre optique**.



Mr Ghazi Aziz Supmangement

54

# Système de transmission par fibre optique

- C'est donc un **signal lumineux modulé en puissance** qui voyage dans la fibre optique. A la réception l'onde lumineuse qui arrive affaiblie par les pertes de propagation est encore suffisamment forte pour induire, à l'intérieur du matériau de la diode réceptrice. Un courant qui suit exactement les variations de la puissance optique.
- Après amplification de ce courant, on retrouve donc le signal électrique initial, à de légères déformations près.
- La liaison optique actuelle est donc extrêmement simple dans son principe, mais fait appel à des éléments de plus en plus performants;

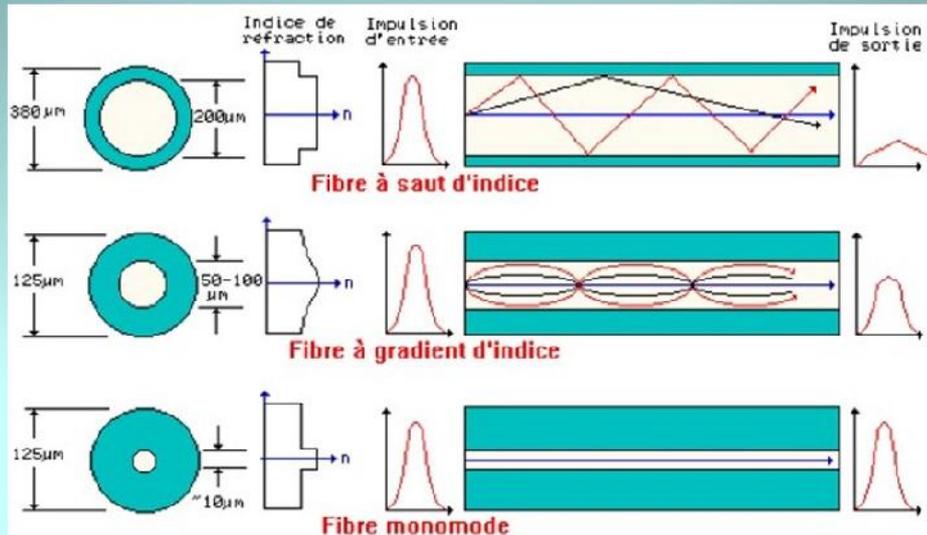
# Types de fibre optique

Il existe trois types de fibre optique :

1. **Fibre multimode à saut d'indice** : le cœur d'indice de réfraction  $n_1$  est entouré d'une gaine d'indice  $n_2$ . La variation d'indice entre le cœur et la gaine est brutale (saut d'indice). **Le diamètre du cœur est important** ce qui lui permet d'admettre plusieurs rayons qui se propagent sur des chemins différents. La portée des rayons étant de 10 km.
2. **Fibre multimode à gradient d'indice** : dans ce type, l'indice du cœur décroît de façon continue, depuis le centre du cœur jusqu'à l'interface cœur/gaine suivant une loi parabolique. Tous les rayons sont focalisés au centre de la fibre, ils ont une trajectoire proche de la sinusoïde. La dispersion étant réduite ce qui autorise des portées d'environ 50 km.

# Types de fibre optique

3. **Fibre monomode** : le diamètre du cœur est réduit à  $10\ \mu\text{m}$ . Cette réduction, peut être telle que, pour une longueur d'onde donnée, la fibre n'admette plus qu'un seul rayon. La fibre est alors dite monomode et la distance franchissable est de l'ordre de 100 km.



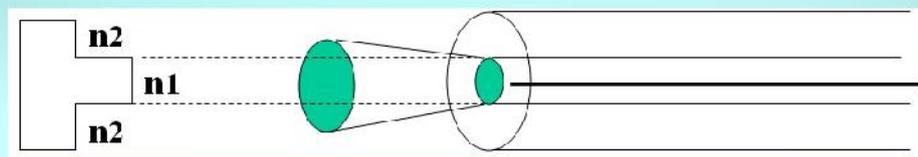
## Les fibres monomodes:

Les fibres monomodes ne propagent que le mode fondamental. Ceci est très intéressant, puisque :

- l'O.E.M n'a qu'un seul mode de propagation
- elle n'a qu'une seule vitesse de propagation
- son parcours par réflexions successives à l'intérieur du cœur de la fibre est unique et bien défini.

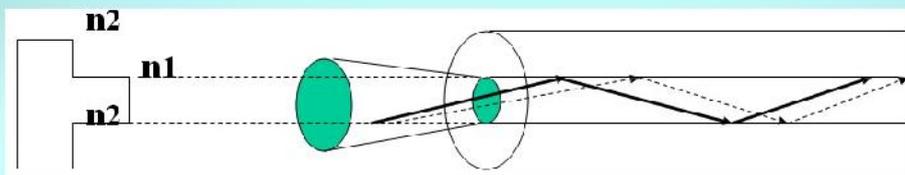
les signaux sont transmis sans déformation

- Largeur de bande: 50GHz sur des grandes distances (50 à 100Km)
- atténuation: 0,4dB/km à la longueur d'onde de 1,55m



## Les fibres multimodes à saut d'indice:

- Les fibres multi-modes propagent donc plusieurs modes qui ont des vitesses de phase différentes et des parcours différents
- distorsion de phase pour le signal transmis, Cet inconvénient est particulièrement sensible dans ces fibres à saut d'indice
- Largeur de bande: 50 MHz/km;
- atténuation: 3dB/km à la longueur d'onde de 0,85m;

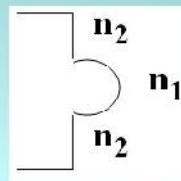


Mr Ghazi Aziz Supmangement

59

## Les fibres multimodes à gradient d'indice:

- Dans ces fibres l'indice du cœur diminue progressivement depuis l'axe de la fibre où il a une valeur  $n_1$  jusqu'à la périphérie du cœur où il a une valeur  $n_2$  égale à celle de la gaine.



- Largeur de bande: 1 GHz/km;
- atténuation: 0,7 dB/km à la longueur d'onde de 1,3m

Mr Ghazi Aziz Supmangement

60

## Normes UIT pour le Fibre Optique:

- **G.651**: fibres optiques multimodes
- **G.652**: fibres optiques monomodes ( $\lambda=1,3\mu\text{m}$ )
- **G.653**: fibres optiques monomodes à dispersion décalée ( $\lambda=1,55\mu\text{m}$ )
- **G.654**: fibres optiques monomodes avec affaiblissement réduit

## Exercice

### Exercice Bande passante d'une fibre optique

Une fibre optique multimode à saut d'indice a une ouverture numérique de 0,22 (l'ouverture numérique correspond au sinus de l'angle d'ouverture) et un indice de réfraction du cœur de  $n_1 = 1,465$ . Déterminer la bande passante en bit/s de cette fibre pour une longueur de 1 km (BP/km).

# Solution

## 4.3 Bande passante d'une fibre optique

Dans une fibre multimode, pour une impulsion émise,  $N$  impulsions sont reçues suivant les  $N$  trajets empruntés (figure 20.10). Pour distinguer deux bits successifs il faut que les  $N$  impulsions du bit précédent soient arrivées. Le temps séparant l'émission de 2 bits successifs doit donc être au minimum égal au temps s'écoulant entre la réception de l'impulsion ayant parcouru le plus faible trajet ( $I_1$ ) et celle ayant parcouru la plus grande distance ( $I_n$ ).

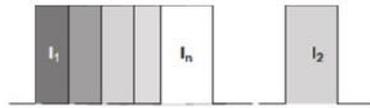


Figure 20.10 Impulsions successives dues aux multiples trajets.

Il faut donc calculer le temps qui sépare l'arrivée des deux impulsions extrêmes (multimode). Pour cela, déterminons la différence de trajet. L'ouverture numérique correspond à l'angle limite des rayons incidents ( $\theta_1$ ), elle permet de calculer le trajet le plus important (figure 20.11).

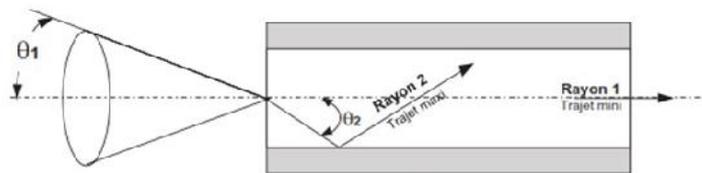


Figure 20.11 Trajets dans la fibre.

# Solution

### Calcul de l'angle de réfraction

L'angle maximal d'acceptance et l'ouverture numérique sont liés par la relation :

$$ON = \sin \theta_1 \quad \text{or} \quad n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$n_1$  indice de réfraction de l'air soit 1,  $n_2$  indice de réfraction du cœur de la fibre soit 1,465. Dans ces conditions on peut écrire :

$$\sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \text{soit} \quad \sin \theta_2 = \sin \theta_1 / n_2 = 0,22 / 1,465 = 0,150$$

Ce qui donne un angle de réfraction de  $8^\circ$ .

### Détermination du trajet maximal

Le trajet parcouru par les rayons  $R_1$  et  $R_2$  sont liés par la relation :

$$R_1 = R_2 \cos \theta_2 \quad \text{d'où} \quad R_2 = R_1 / \cos \theta_2$$

Soit, pour un trajet  $R_1$  de 1 km, un trajet  $R_2 = 1 / \cos \theta_2 = 1000 / 0,990 = 1010$  m soit une différence de trajet ( $\Delta D$ ) de 10 m.

La différence de temps de trajet ( $\Delta t$ ) est de  $\Delta t = \Delta D / v$  où  $v$  est la vitesse de la lumière dans la fibre optique,  $\Delta t = 10 / 2 \cdot 10^8 = 5 \cdot 10^{-8}$  s.

### Calcul de la bande passante

Le temps calculé précédemment représente l'écartement minimal nécessaire (cadence d'émission maximale) entre deux bits du trajet  $R_1$  soit une bande passante maximale de  $BP = 1 / 5 \cdot 10^{-8} = 20$  Mbit/s.

## Fréquence normalisée

- Le confinement de la lumière à l'intérieur de la fibre optique repose sur ce phénomène. Ainsi, le comportement de la lumière se propageant dans une fibre à saut d'indice dépend d'une série de caractéristique:
  - la longueur d'onde
  - le rayon du noyau
  - l'indice de celui-ci
  - la gaine optique.
- Il est toutefois possible de décrire ce comportement, pour une fibre quelconque, à l'aide de la fréquence normalisée  $V$  qui prend en compte toutes ces caractéristiques. La **fréquence normalisée** est donnée par:
$$V = (2\pi a / \lambda) [ (n_1)^2 - (n_2)^2 ]^{1/2}$$
 où  $a$  est le rayon du noyau
- si  $V < 2,405$  la fibre est monomode
- si  $V > 2,405$  la fibre est multimode

## Récapitulatif

- Quel est l'intervalle de longueur d'onde pour la lumière visible ?
- Quelles sont les qualités essentielles qui font de la F.O un support de premier choix pour les transmissions ?
- Dessinez le système de transmission par fibre ?
- Quels sont les trois types de fibre optique ?
- Quelles sont les normes UIT pour chaque mode du F.O ?
- Donnez la formule de calcul de la fréquence normalisée  $V$  ? Calculer  $V$  pour  $a = 10\mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.421$ ,  $n_2 = 1.262$ ,  $\lambda = 700\text{nm}$ . Conclure ?

## Longueur d'onde de coupure

- L'angle d'acceptance de la fibre est déterminée par son ouverture numérique définie par la relation suivante:

$$O.N = \sin(\theta) = \sqrt{(n_c^2 - n_g^2)}$$

(En posant  $n_c$ ,  $n_g$  et  $\theta$  respectivement les indices du cœur, de la gaine et l'angle d'incidence)

- L'ouverture numérique des fibres de silice destinée aux télécommunications optiques est de l'ordre de 0,15.
- La longueur d'onde de coupure est celle au-dessus de laquelle la fibre devient monomode :

$$\lambda_c = (2\pi a * O.N) / V$$

## Atténuation de la fibre optique

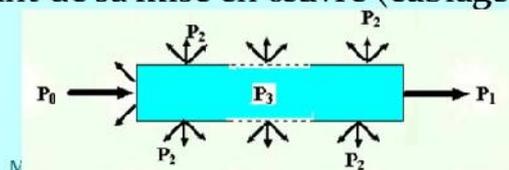
- L'atténuation  $A(\lambda)$  (voir annexe) pour une longueur d'onde  $\lambda$  entre deux plans de section droite d'une fibre optique séparés d'une distance  $L$  est par définition le rendement  $P_1/P_0$  exprimé en dB sous la forme :

$$A(L)_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_0} \right)$$

- On définira alors l'atténuation linéique pour une longueur d'onde donnée :
- Deux phénomènes, explicités ci dessous et dont les effets se cumulent, participent à l'atténuation de la lumière par la fibre : l'absorption  $P_3$ , la perte  $P_2$ , due à la diffusion de RAYLEIGH, aux imperfections de la fibre, au couplage des modes ou venant de sa mise en œuvre (câblage par exemple).

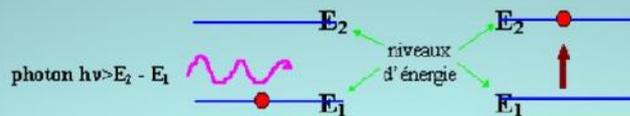
$$a(\lambda) \text{ (dB/km)} = 10 \log ( P_0 / P_L ) / L$$

13/01/2021



# 1. Absorption

- Sous l'influence d'un photon d'énergie suffisante, un électron peut être porté à un niveau d'énergie supérieur à celui où il se trouvait. Une partie de l'énergie du rayonnement incident est ainsi **absorbée** par le matériau



- Cette interaction rayonnement-matière s'applique au matériau constituant la fibre (absorption **intrinsèque**), mais aussi aux impuretés qu'elle contient et qui sont la conséquence du mode de fabrication (ion  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{OH}^-$ , etc...) (absorption **extrinsèque**). on comprend donc la nécessité de fabriquer des matériaux extrêmement purs.

# 2. Diffusion

- **Diffusion de RAYLEIGH:** Elle provient des variations de l'indice de réfraction du matériau sur des longueurs inférieures à la longueur d'onde de la lumière ; elle se traduit par une perte de puissance lumineuse inversement proportionnelle à  $\lambda^4$  (loi de Rayleigh).
- **Diffusion due aux défauts de la fibre et de son support.**
- Les variations **locales** du diamètre du cœur, microcourbes, vont faire qu'un certain nombre de rayons vont subir une réflexion dans la gaine, entraînant une perte d'énergie. Cette perte d'énergie est d'autant plus grande que les rayons sont plus inclinés par rapport à l'axe ; on définit l'**atténuation différentielle** comme la différence d'atténuation entre un rayon axial et un rayon incliné de  $q$  par rapport à l'axe.

## Connecteurs fibre optique

- Le raccordement de la fibre optique utilise des connecteurs de types SC (Subscriber Connector), ST (Straight Tip), FC (Fiber Connector), LC (Lucent Connector).



Mr Ghazi Aziz Supmangement

71

## Avantages de la fibre optique

Malgré que la fibre optique ne permet que les connexion en point à point, ses avantages sont nombreux :

- Débits allant jusqu'à 50 GBit/s (débit théorique 50 TBit/s),
- Transmission simultanée de très nombreux canaux de télévision, de téléphone,...
- Insensible aux parasites électromagnétiques,
- Diamètre extérieure est de l'ordre de 0,1 mm,
- Poids de quelques grammes au kilomètre.
- Difficile à pirater.

Mr Ghazi Aziz Supmangement

72

# Applications – performances

- Les applications sont nombreuses et les plus connues concernent :
  - les télécommunications, pour la réalisation des réseaux haut débit des opérateurs en technologie **WDM, SDH, ATM**.
  - l'audiovisuel, pour la réalisation des réseaux câblés de télévision en association avec le câble coaxial utilisé pour le raccordement de l'abonné

# Récapitulatif

1. Quels sont les phénomènes qui participent à l'affaiblissement du signal dans la F.O?
2. Donnez la formule de calcul de L'angle d'acceptance et de la longueur d'onde de coupure ? calculer la longueur d'onde pour  $\theta = 45^\circ$   $a = 10\mu\text{m}$  et  $V=3$
3. donnez la formule de l'atténuation et l'atténuation linéique sur la F.O ?
4. Quels sont les phénomènes qui participent à l'atténuation de la lumière par la fibre
5. Donnez les différents type de connecteurs de la F.O?
6. Définir la Diffusion de RAYLEIGH
7. Quelles sont les avantages de la F.O ?
8. Quelles sont les différentes applications de la F.O?

## Protocoles de communication pour fibre optique:

- Les systèmes de transmission par fibre optique opèrent principalement selon deux protocoles ou normes:

*FDDI* et *SONET* :

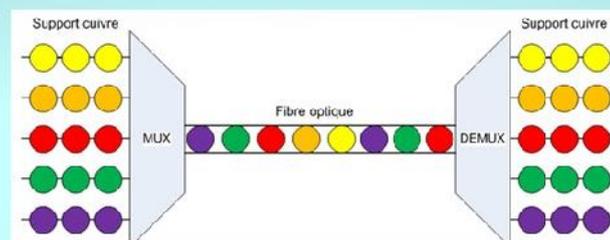
- FDDI** (*Fiber Distributed Data Interface*) est un protocole adapté aux réseaux locaux utilisant la fibre optique comme support de transmission. Il permet des débits binaires de l'ordre de 100Mbps et jusqu'à 500 postes de travail reliés par câble d'environ 100km de longueur.
- SONET** (*Synchronous Optical Network*) est un protocole de transmission numérique permettant de gérer la grande capacité de transmission de la fibre optique. Ses potentialités, nettement plus considérables que celles du FDDI et des autres normes existantes, permettent d'intégrer la vidéo aux communications téléphoniques et informatiques.

## Multiplexage en FO

Le principe général est simple à comprendre : il consiste en fait à faire passer plusieurs informations sur un seul support de transmission. A l'aide de ce principe simple, de larges économies sont possibles grâce à la réduction des coûts d'installation et/ou d'exploitation. (Moins de câbles pour faire passer la même quantité d'information).

- Le multiplexage en temps (TDM) *Time-division multiplexing*

Cela permet donc à un émetteur de transmettre plusieurs canaux numériques élémentaires à faible débit sur un même support de communication à plus haut débit. Les principes de ce type sont la Répartition du temps d'utilisation entre les communications, chaque signal est commuté à tour de rôle à grande fréquence.



# Multiplixage:

## Le multiplexage en Longueur d'onde (WDM)

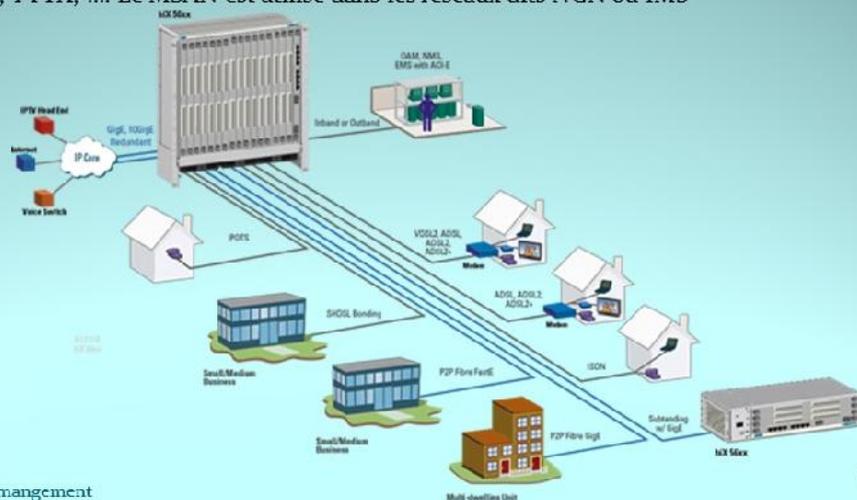
- la technologie WDM : On injecte simultanément dans la même fibre optique plusieurs trains de signaux numériques à la même vitesse de modulation, mais chacun à une longueur d'onde distincte.
- la technologie DWDM : La technologie WDM est dite dense lorsque l'espacement utilisé entre deux longueurs d'onde est égal ou inférieur à 100 GHz.
- la technologie CWDM : C'est une solution WDM mais plus économique. On ne dispose que de 8 ou 16 canaux par fibre.

	Coarse-WDM	Dense-WDM	Ultra-dense-WDM
Nombre de longueur d'onde	Jusqu'à 16	8 à 128	> 400
Espace des canaux	20nm à 25nm	0.4nm à 1.6nm	0.08nm
Fenêtre spectrale	1260 nm - 1620 nm	1500 nm - 1600 nm	1500 nm - 1600nm
Débit de longueur d'onde	1.25 - 2.5 Gbit/s	10 Gbit/s - 40Gbit/s	>40Gbit/s

## Principes de déploiement de la fibre optique

### Multiservice Access Node (MSAN)

MSAN est une technologie télécoms d'accès qui permet de rapprocher les équipements des clients y compris pour les services offerts à des débits plus élevés. Un MSAN est un équipement qui constitue un point d'entrée unique vers les réseaux d'accès des opérateurs. A la différence d'un DSLAM, dont le matériel ne peut supporter que des cartes permettant de proposer des services de type xDSL, un MSAN peut supporter des cartes POTS, RNIS, Ethernet, FTTH, .... Le MSAN est utilisé dans les réseaux dits NGN ou IMS



## Principes de déploiement de la fibre optique

- **Sous répartiteur optique (SRO)**

SRO est un point de concentration intermédiaire du réseau FTTH. Un Multi-SRO est un local

technique regroupant plusieurs SRO. Le choix des emplacements des SRO est soumis à des contraintes d'ingénierie définies par la Mission Très Haut Débit. Le SRO comporte en règle générale entre 300 et 800 lignes optiques.



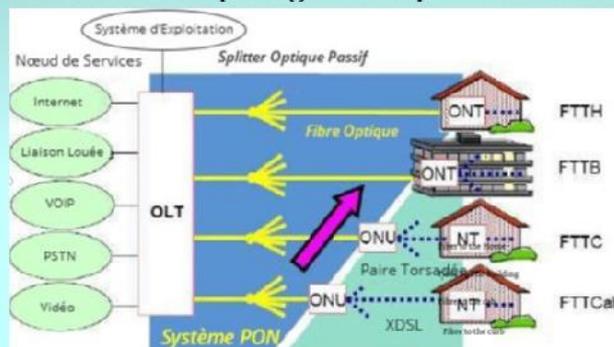
## Déploiement de la fibre optique FTTH :

FTTH : est une technologie de raccordement de l'abonné en fibre optique de bout en bout, c'est à dire que la fibre optique se termine au domicile de l'abonné.

### architectures des réseaux FTTx

#### PON (passive Optical network)

Architecture PON est un réseau qui utilise un système de couplage passif (splitter) grâce auquel une seule fibre partant du NRO (nœud de raccordement optique) peut relier plusieurs utilisateurs. Le trafic des abonnés est isolé par des multiplexage l'inconvénient est que la bande passante de la fibre est partagée entre plusieurs utilisateurs.



## Déploiement de la fibre optique FTTH :

- Il existe deux standards en matière de PON, l'EPON (Ethernet PON) et le GPON (Gigabit capable PON). Ces standards correspondent aux versions des équipements composant le réseau de desserte (OLT -optical line terminal- et Coupleur).

	EPON	GPON
Débit max. total par port	1,25 Gbit/s symétrique	2,4 Gbit/s symétrique
Abonnés par port OLT	Jusqu'à 32	Jusqu'à 64
Distance OLT-ONT	Jusqu'à 20km	Jusqu'à 60km
Maturité	Standard mature (2000)	Standard récent (2005)

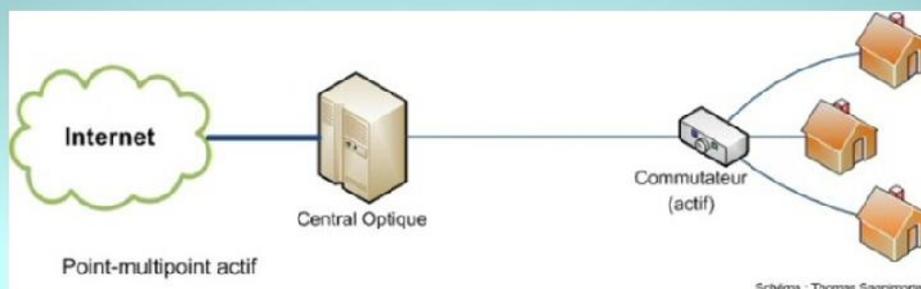
Mr Ghazi Aziz Supmangement

81

## Déploiement de la fibre optique FTTH :

### Le point-multipoint actif

À la différence du point multipoint passive, le splitter (hub) est remplacé par un commutateur (type Switch). Cet équipement électronique aiguille le signal en fonction de son destinataire. Cette solution permet de corriger l'aspect sécurité du point multipoint passive. En revanche la gestion et l'organisation de commutateur est assez complexe à grande échelle.



Mr Ghazi Aziz Supmangement

82

## Déploiement de la fibre optique FTTH :

### Le raccordement de la fibre optique

Le raccordement par soudure intègre toujours la préparation du câble afin d'accéder aux fibres optiques et de permettre leur câblage. Il a pour principe de permettre la connexion de deux fibres en les fusionnant grâce à un arc électrique. Le principal équipement nécessaire est une soudeuse fibre optique et la cliveuse associée. Cette dernière permet de couper la fibre avec un angle précis de 90°. Cet outil est indispensable pour que les deux fibres à connecter aient un angle de coupeur identique.

La soudeuse fibre optique se trouve selon deux types :

- alignement cœur à cœur
- alignement gain à gain



Mr Ghazi Aziz Supmangement

## Récapitulatif

1. Qu'est ce que le FDDI ?
2. Qu'est ce que le SONET ?
3. Qu'est ce que la technologie TDM ?
4. Qu'est ce que la technologie WDM ?
5. Qu'est ce que la technologie MSAN ?
6. Qu'est ce que la technologie SRO ?
7. Qu'est ce que la technologie FTTH ?
8. Qu'est ce que la technologie PON ?
9. Dessinez le schéma de connexion optique entre OLT et ONT

# Exposés

1. Abaques de Smith
2. Systèmes de télécommunications optiques
3. Boucle locale en FTTx
4. Boucle locale en xDSL
5. Réalisation de réseau WAN filaire sur Packet Tracer
6. Liaison Fibre Optique TransOcéanique
7. Etude pratique de câblage des lotissements en fibre optique : mise en place, raccordement...De l'analogique au numérique en télécommunications

30 DIAPOS