

Préparation aux TP Fibre Optique/Propagation câble coaxial/RFID

Fibre Optique

René Descartes au milieu du 17^{ième} siècle (1626) observe la réfraction et la réflexion des ondes lumineuses. Il va en déduire les premières lois de l'optique géométrique appelées lois de Snell-Descartes.

Observons ce phénomène que tout le monde a dû vivre au moins une fois dans sa vie : le bâton qui se casse dans le verre d'eau.



Figure 1. Phénomène de réfraction observé sur ce pinceau trempé dans un verre d'eau.

La figure 1 montre bien cet effet où l'on voit le trajet de la lumière qui n'est plus rectiligne à l'interface air/eau. Comment expliquer cette observation ? Tout simplement par le fait que la célérité de la lumière dans un milieu transparent autre que le vide, n'est pas égale à $c = 3 \times 10^8 m/s$. Ainsi, la célérité de la lumière dans l'eau, le verre ou le diamant est plus petite que c . Soit v cette vitesse. On définit alors le quotient

$$n = \frac{c}{v}$$

, comme étant l'indice de réfraction et représentant une propriété intrinsèque du milieu transparent.

Voici une liste non exhaustive d'indices de réfraction de quelques milieux transparents.

<u>Milieu transparent</u>	<u>Indice de réfraction</u>
Vide	1
Atmosphère terrestre	1.000293
Eau	1.33
Ethanol	1.36
Huile de silicone	1.52
Diamant	2.41
Ambre	1.55
Verre de quartz	1.45
Lentille optique	1.38-1.40

La Figure 2 montre d'une façon plus précise le phénomène de réfraction à l'interface air/verre.

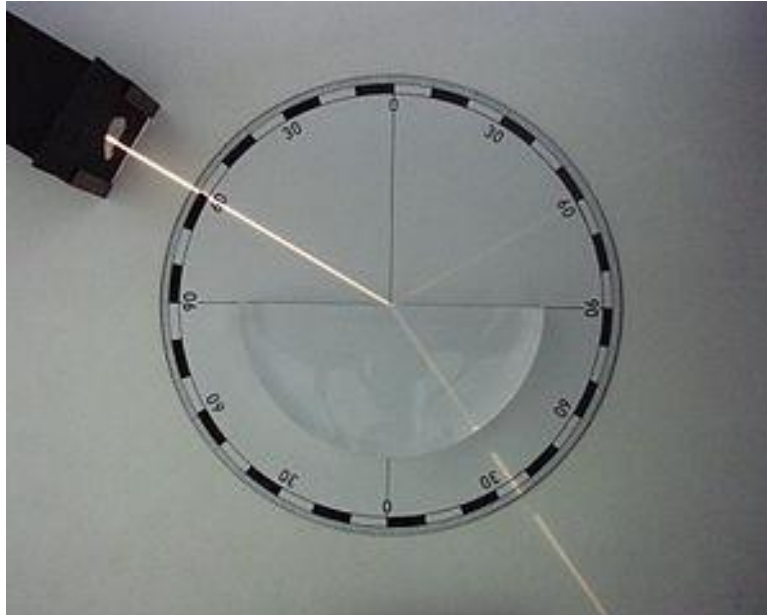


Figure 2. Réfraction et réflexion d'un rayon lumineux à l'interface air/verre.

Cette figure montre que le faisceau incident émis par la boîte noire arrive avec un angle d'incidence i_1 de 60° par rapport à la perpendiculaire (normale N) au demi-cylindre de verre. A l'interface, un faisceau pénètre dans ce cylindre (réfraction) d'indice 1.5. L'angle de réfraction i_2 avec la perpendiculaire est maintenant de 30° . Par ailleurs, un autre faisceau apparaît, c'est le rayon réfléchi, avec un angle de réflexion r identique à l'angle d'incidence.

Convention : les angles sont toujours considérés **positifs** lorsqu'ils seront orientés **de la normale N vers le rayon**.

- Loi n°1 de Snell-Descartes : réfraction

$$n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$$

- Loi n°2 de Snell-Descartes: réflexion

$$r = i_1$$

Réflexion totale

Considérons la situation suivante illustrée par la Figure 4 ci-dessous.

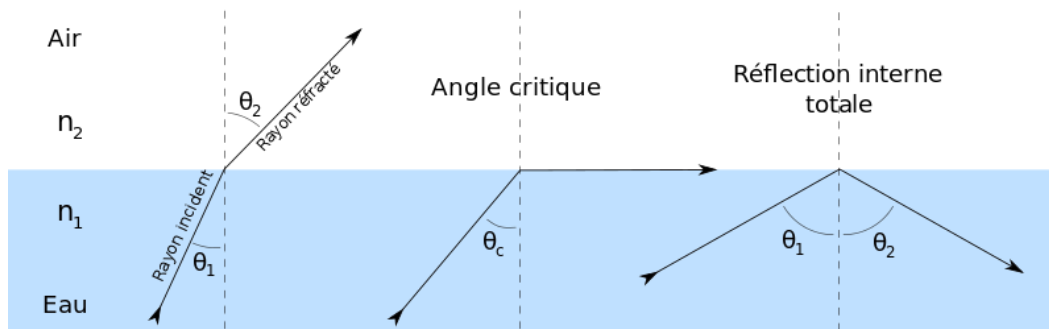


Figure 4. Phénomène de réflexion totale.

Le rayon incident est dans l'eau avec une incidence θ_1 . A l'interface, le rayon est réfracté et vérifie la loi n°1, avec un angle θ_2 . L'angle θ_1 augmente. A une certaine valeur, appelée angle critique θ_c , le rayon réfracté est sur l'interface avec un angle de 90° . Lorsque $\theta_1 > \theta_c$, le rayon est totalement réfléchi et la loi n°2 est vérifiée. Ce phénomène est appelée **réflexion totale**. Il est à la base de la transmission d'un rayon lumineux dans la fibre optique. L'angle θ_c est donné par

$$\theta_c = \text{Arcsin}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Le principe est de piéger la lumière entre deux diélectriques par réflexion totale, comme le montre la Figure 5.



Figure 5. Réflexions totales multiples dans une fibre optique.

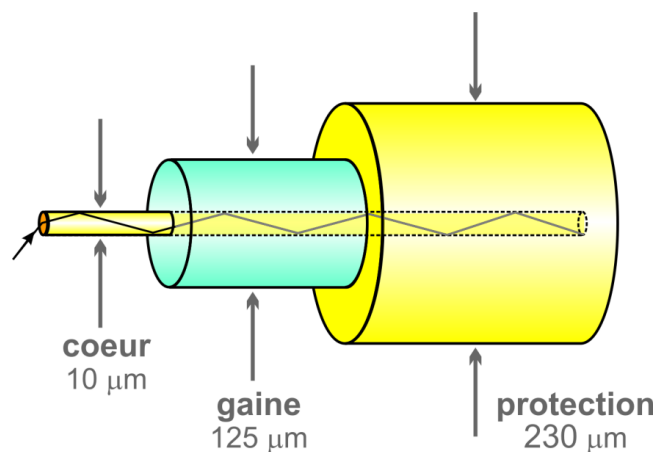


Figure 6. Constitution de la fibre optique : **cœur-gaine-protection**.

Même courbée (pas trop quand même !!), la fibre peut assurer la propagation du rayon lumineux, comme le montre la Figure 7 ci-dessous.

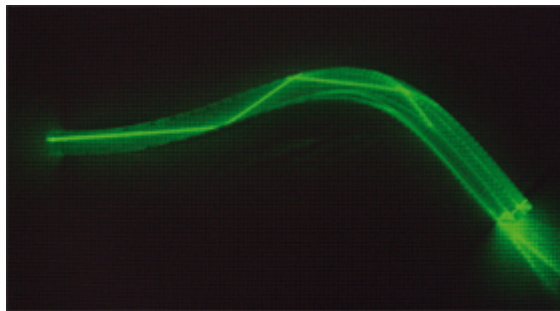


Figure 8. Image réelle dans une vraie fibre de la propagation d'un faisceau lumineux.

La finalité est de permettre au rayon lumineux de se propager le plus vite possible. Pour cela, il faut éviter les multiples réflexions sur les parois du cœur de la fibre. Trois principes ressortent.

- **Fibre à saut d'indice**. Cela a été la première génération de fibres. Le cœur est très large et il y a de multiples réflexions.
- **Fibre à gradient d'indice**. C'est la deuxième génération. Le profil des indices de réfraction est différent. Le diamètre du cœur est plus petit.
- **Fibre monomode**. C'est à l'heure actuelle la fibre qui est installée. Son diamètre est petit, de l'ordre de la longueur d'onde de la lumière. Les réflexions sont limitées.

Voici les courbes d'atténuation en dB/km des trois types de fibres citées ci-dessus.

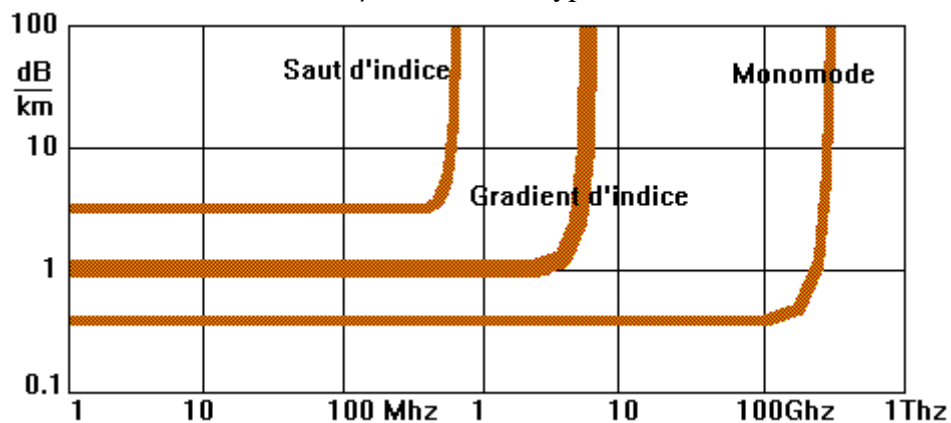


Figure 9. Atténuation en dB/km en fonction de la fréquence.

Nous voyons sur la Figure 9 que la dernière génération des fibres optiques atténue très faiblement l'amplitude du faisceau lumineux et augmente très sensiblement la bande passante qui théoriquement est de 100GHz.

La Figures 10 et 11 montrent le principe de base de la transmission par FO. L'émission se fait avec une DEL laser et la réception avec une photodiode ou un phototransistor.

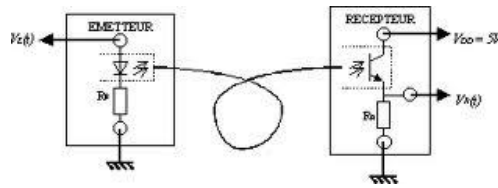


Figure 10.

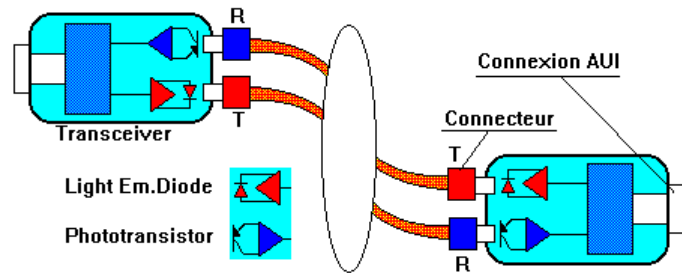


Figure 11.

Citons quelques avantages de la fibre optique

Avantages :

- Peu de pertes de signal.
- Vitesse de transmission élevée. $c > v \gg v_{\text{électron}}$.
- Faible poids.
- Immunité faces aux interférences magnétiques. Contrairement à l'électron qui est très sensible au champ magnétique, le photon ne l'ait pas.
- Faible coût.
- Pas d'échauffement.
- Large bande passante : $1GHz$ pour $1km$.
- Faible encombrement.

Propagation des ondes dans un câble coaxial

Ligne coaxiale

Un câble coaxial (rigide ou flexible) est formé de deux conducteurs cylindriques concentriques qui sont séparés par un isolant diélectrique, comme cela est montré sur la Figure 12.

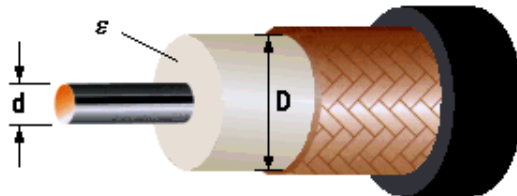


Figure 12. Constitution du câble coaxial.

Celui du centre est habituellement un fil plein (cuivre) alors que celui de l'extérieur (tresse) sert de bouclier. Le tout est recouvert par une gaine de protection.

- Diélectrique : maintient une capacité entre les deux conducteurs, très important en transmission radio
- Avantages :
 - Les champs électrique et magnétique restent confinés dans l'espace entre les deux conducteurs. La perte par radiation est donc théoriquement nulle.
 - Bande passante élevée. $B_{max} = 150\text{MHz}$.
 - Acheminement de plusieurs centaines de communications téléphoniques préalablement échelonnées en fréquence : **multiplexage**
- Inconvénients :
 - Vitesse de propagation lente car ce sont toujours des électrons qui circulent dans le fil de cuivre.
 - Bande passante pas encore assez grande pour acheminer des millions d'informations.
 - Coût.
 - Difficile à installer.
- Utilisations :
 - Informatique, téléphonie, télévision, radio-émetteur, récepteur, aéronautique, laboratoire de mesures physiques, etc...

Modélisation de la ligne coaxiale

Soit une ligne de transmission de longueur l chargée par $\underline{Z_L}$

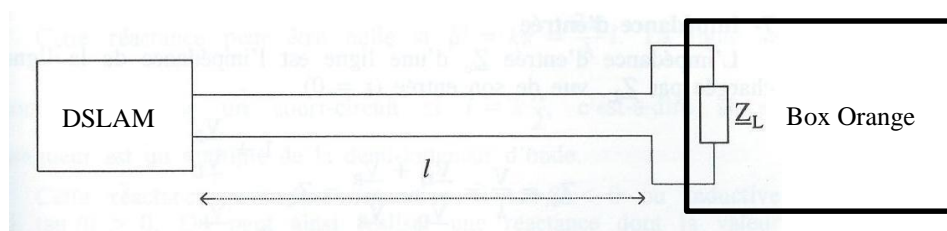


Figure 13. Ligne de transmission de longueur l avec son impédance de charge (load) $\underline{Z_L}$ (Box Orange) et son générateur (DSLAM).

Onde progressive

Appliquons à l'entrée d'une ligne, une tension sinusoïdale (DSLAM) de la forme $v = V \cos \omega t$

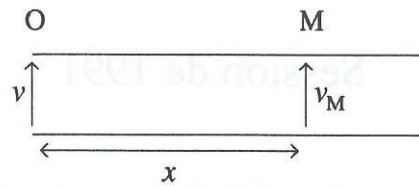


Figure 15. Propagation d'une onde le long d'une ligne de longueur x .

Cette onde de tension va se propager le long de la ligne avec une célérité c . Elle parvient en un point M situé à une distance x du début de la ligne avec un retard $\tau = \frac{x}{c}$.

L'expression de la tension v_M au point M est alors :

$$v_M = V_M \cos(\omega t - \omega \tau) = V_M \cos\left(\omega t - \omega \frac{x}{c}\right)$$

→ Si la ligne est sans pertes, l'amplitude de l'onde reste constante au cours de la propagation. On a alors $V_M = V$.

→ Si les pertes dans la ligne ne sont pas négligeables, l'onde s'amortit et son amplitude décroît au fur et à mesure de sa progression le long de la ligne et on a $V_M < V$, la valeur de V_M étant fonction de x . En se servant de $\omega = \frac{2\pi}{T}$ et $\lambda = cT$, alors

$$v_M = V_M \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Onde directe et onde réfléchi sur une ligne sans pertes $V_M = V$

On montre que l'onde de tension se propageant dans la ligne est :

$$\underline{V} = \underline{V}_D e^{-\gamma x} + \underline{V}_R e^{\gamma x} = \underbrace{\underline{V}_D e^{-\alpha x} e^{-j\beta x}}_{\substack{\text{onde directe} \\ \text{Géné} \rightarrow \text{charge}}} + \underbrace{\underline{V}_R e^{\alpha x} e^{j\beta x}}_{\substack{\text{onde réfléchi} \\ \text{Charge} \rightarrow \text{géné}}}$$

Impédance caractéristique

L'impédance caractéristique d'une ligne de transmission est une représentation d'une forme de perméabilité du milieu. Dans une ligne de transmission, elle correspond à l'impédance qu'on pourrait mesurer à ses bornes si elle avait une longueur infinie. Si la ligne est de longueur infinie, l'onde réfléchi n'existe pas et $\underline{V}_R = 0$. Alors

$$\underline{V} = \underline{Z}_C \underline{I}$$

→ Ainsi, en tout point d'une ligne de longueur infinie, le quotient de la tension par l'intensité est constant.

→ Cette constante \underline{Z}_C est l'*impédance caractéristique* de la ligne.

→ En conséquence, une ligne fermée sur son impédance caractéristique \underline{Z}_C n'est parcourue que par l'onde directe : il n'y a aucune réflexion sur l'impédance \underline{Z}_C .

Coefficient de réflexion

Considérons une ligne d'impédance caractéristique \underline{Z}_C et de longueur l alimentée par un générateur d'impédance interne \underline{Z}_C et fermée par son impédance de charge \underline{Z}_L .

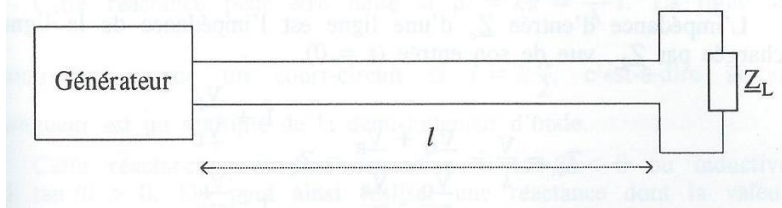


Figure 16. Ligne de longueur l fermée par sa charge \underline{Z}_L .

Par définition, le coefficient de réflexion ρ sur la charge est le rapport de l'onde réfléchie sur l'onde incidente à l'extrémité de la ligne ($x = l$) :

$$\rho = \frac{\underline{V}_R e^{\gamma x}}{\underline{V}_D e^{-\gamma x}} = \frac{\underline{V}_R}{\underline{V}_D} e^{2\gamma l}$$

Or, à l'extrémité de la ligne, c'est-à-dire sur la charge, on a $\underline{V} = \underline{Z}_L \underline{I}$. Nous obtenons ainsi

$$\underline{Z}_L = \frac{\underline{V}}{\underline{I}} = \frac{\underline{V}_D e^{-\gamma l} + \underline{V}_R e^{\gamma l}}{\frac{\underline{V}_D}{\underline{Z}_C} e^{-\gamma l} - \frac{\underline{V}_R}{\underline{Z}_C} e^{\gamma l}} = \underline{Z}_C \frac{1 + \frac{\underline{V}_R}{\underline{V}_D} e^{2\gamma l}}{1 - \frac{\underline{V}_R}{\underline{V}_D} e^{2\gamma l}} = \underline{Z}_C \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

On en déduit que le coefficient de réflexion est donné par

$$\rho = \frac{\underline{Z}_L - \underline{Z}_C}{\underline{Z}_L + \underline{Z}_C}$$

→ Si $\underline{Z}_L = \underline{Z}_C$ (**Box Orange adaptée**), le coefficient de réflexion est nul. On n'a donc pas de réflexion sur la charge et la ligne se comporte comme une ligne de longueur infinie. **On dit que la charge est adaptée à la ligne.**

→ Si $\underline{Z}_L \rightarrow \infty$ (**Box Orange absente**), ligne ouverte en son extrémité \Rightarrow pas d'opposition de phase.

$$\underline{Z}_L \rightarrow \infty : \begin{cases} \rho = 1 \\ v_D = v_R \\ i_D = -i_R \end{cases}$$

→ Si $\underline{Z}_L = 0$ (**Box Orange en court-circuit**), ligne en court-circuit en son extrémité \Rightarrow opposition de phase.

$$\underline{Z}_L = 0 : \begin{cases} \rho = -1 \\ v_D = -v_R \\ i_D = i_R \end{cases}$$

Radio Frequency Identification : RFID

C'est une méthode pour mémoriser et récupérer des données à distance en utilisant des marqueurs appelés « radio-étiquettes » (« **RFID** tag » ou « **RFID** transponder »).

Principe

Un système de radio-identification est composé de deux entités qui communiquent entre elles :

1. Un marqueur, nommé radio-étiquette, tag RFID, ou encore **transpondeur** (de l'anglais *transponder*, contraction des mots *transmitter* et *responder*), apposé sur l'élément à identifier et encodant des données numériques. Ces données peuvent être lues sans ligne de vue directe, contrairement aux code-barres, avec une détection automatique et avec des distances de lecture supérieures (de 10 à 200 m selon le type de puces).
2. Un ou plusieurs lecteurs RFID, appelés aussi interrogateurs, coupleurs, ou station de base.

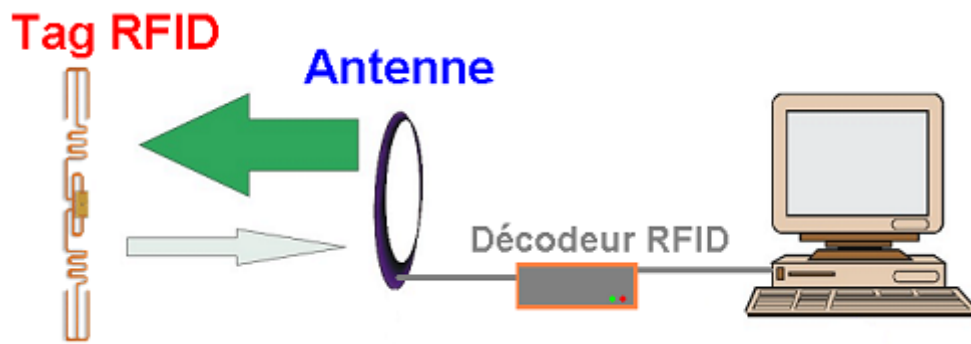


Figure 17. Principe du RFID.

Exemples d'utilisation du RFID



Figure 18. Sans-contacts et bornes



Figure 19. Technologies sans-contacts.



Figure 20. RFID tag.

Lecteur de données par RFID utilisé en TP avec une fréquence porteuse de 125kHz

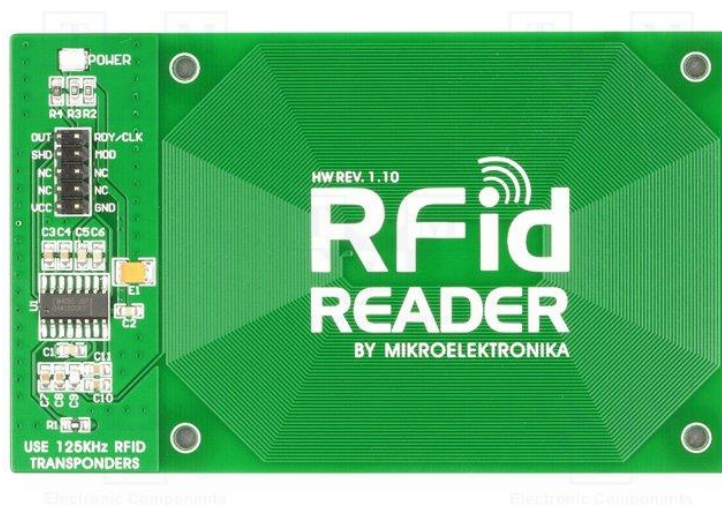


Figure 21. Lecteur de données par RFID.