



Séquence n°16

Transmission de l'information



Fiches de synthèse mobilisées :

- Fiche n°2 : les ondes progressives
- Fiche n°3 : les ondes périodiques
- Fiche n°16 : transmission de l'information



Sommaire des activités

ACTIVITÉ 1 :	comparaison de deux types de transmission	1
ACTIVITÉ 2 :	un avantage du câble coaxial sur la ligne bifilaire	3
ACTIVITÉ 3 :	l'un des intérêts du « passage au numérique »	4
ACTIVITÉ 4 :	la connexion par fibre optique est-elle « plus rapide » ?	6
ACTIVITÉ 5 :	propagation libre	7
ACTIVITÉ 6 :	comment sélectionner l'information à recevoir ?	8
ACTIVITÉ 7 :	transmission des informations par fibre optique	9

ACTIVITÉ 1 : comparaison de deux types de transmission

DOCUMENT 1 : atténuation des ondes électromagnétiques par différents milieux

Si une onde transporte une puissance P_e à l'entrée d'un milieu et une puissance P_s à sa sortie, l'atténuation, exprimée en décibels, est définie par :

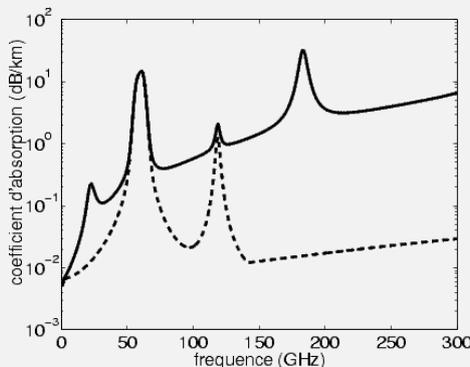
$$A = 10 \log \left(\frac{P_e}{P_s} \right)$$

Un milieu est caractérisé par son atténuation linéique : si L est la longueur du milieu traversé, elle vaut :

$$\alpha = \frac{A}{L}$$

α s'exprime alors en dB/m (unité SI) ou, plus souvent, en dB/km.

Atténuation linéique des micro-ondes dans l'atmosphère :



atténuation par une atmosphère humide (trait plein) ou sèche (pointillés)

Atténuation linéique dans un câble Ethernet : celle-ci dépend du câble utilisé et de la fréquence des ondes transportées. Dans tous les cas l'ordre de grandeur est de quelques dizaines de dB/km.

**DOCUMENT 2 : connexion par câble ou Wi-Fi**

La connexion par câble, souvent préférée pour les appareils fixes, utilise des câbles RJ45, aussi appelés « câbles Ethernet » :



Les appareils mobiles, eux, se connectent à Internet par Wi-Fi. Ce type de transmission utilise des ondes électromagnétiques de fréquence 2,4 GHz : celles-ci sont émises par une antenne présente dans les « box » des utilisateurs et peuvent être reçues par les appareils munis d'un récepteur dédié.

DOCUMENT 3 : intensité transportée par une onde sphérique

Une onde est dite sphérique si elle se propage en trois dimensions dans toutes les directions de l'espace. À une distance D de l'émetteur, la puissance transportée par l'onde est donc répartie sur une sphère de rayon R (d'où le nom donné à ces ondes).

L'intensité de l'onde à une distance D de l'émetteur vaut donc :

$$I = \frac{P}{S_{\text{sphère}}} = \frac{P}{4\pi R^2}$$

1. Parmi les deux types de connexion internet cités dans les documents, lequel utilise une propagation libre ? Lequel utilise une propagation guidée ?
2. Citer au moins un avantage de la propagation libre pour l'utilisateur.
3. Selon les données présentées dans les documents, l'atténuation est-elle plus importante dans les câbles ou dans les milieux traversés par les ondes lors d'une connexion Wi-Fi ?
4. Pourtant, pour des transmissions sur des longues distances, c'est la transmission par les câbles qui est privilégiée. Exploiter les documents pour justifier ce choix. Un petit paragraphe exploitant les relations des documents 2 et 3 est attendu.

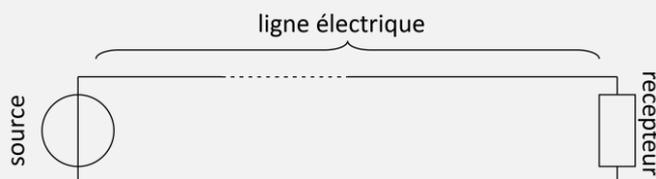
ACTIVITÉ 2 : un avantage du câble coaxial sur la ligne bifilaire

Un des moyens pour transporter des signaux est la ligne électrique. La plupart des lignes électriques sont des câbles coaxiaux (le câble RJ45 utilisé pour l'Internet en est un exemple).

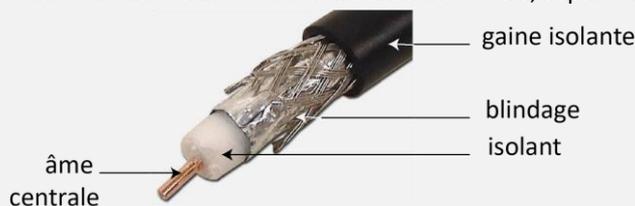
L'objectif de cette activité est de mettre en évidence un des avantages présentés par le câble coaxial par rapport aux lignes bi-filaires ordinaires.

DOCUMENT : le câble coaxial

Pour transporter un signal électrique entre une source et un récepteur, le schéma électrique est le suivant :



Cependant, pour assurer une bonne transmission sur une longue distance, la ligne n'est pas constituée de deux fils électriques côte à côte mais d'un câble coaxial. Le schéma électrique du câble coaxial est identique au précédent mais l'un des deux conducteurs entoure l'autre, séparé de lui par un isolant



Expérience :

- À l'entrée d'un oscilloscope, brancher deux fils de longueur 1m environ : l'un connecté à la borne + et l'autre à la masse. Ces deux fils ne sont connectés à aucun récepteur.
- Régler l'appareil afin que la sensibilité verticale soit maximale et la sensibilité horizontale voisine de 5ms/division.

Questions :

1. Décrire le signal observé à l'écran. Que vaut sa fréquence ?
2. 50 Hz est la fréquence de la tension électrique délivrée par le réseau EDF. Formuler une hypothèse sur l'origine du signal observé. Quel rôle jouent les fils que nous avons connectés ?
3. Remplacer les deux fils par un câble coaxial de même longueur sans modifier les réglages de l'oscilloscope. Noter ce que l'on observe à l'écran et en déduire l'avantage que présente le câble coaxial pour la transmission des signaux.



ACTIVITÉ 3 : l'un des intérêts du « passage au numérique »

Les signaux transportés par les lignes électriques sont aujourd'hui des signaux numériques et non plus analogiques. L'objectif de cette activité est de déterminer l'un des intérêts d'avoir remplacé les signaux analogiques par des signaux numériques.

DOCUMENT 1 : expression de l'atténuation en fonction de l'amplitude

Si une onde a une amplitude U_e à l'entrée d'un milieu et une amplitude U_s à sa sortie, l'atténuation, exprimée en décibels, vaut :

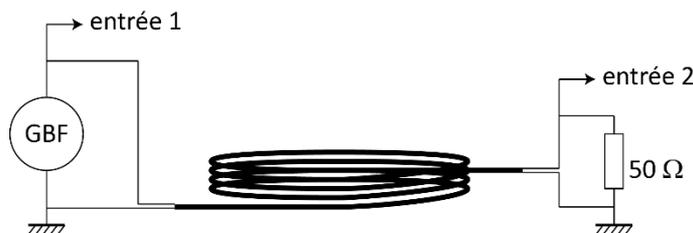
$$A = 20 \log \left(\frac{U_e}{U_s} \right)$$

1^{ère} partie : atténuation d'un signal analogique dans un câble coaxial

Expérience :

On souhaite étudier l'influence d'un câble coaxial de longueur élevée sur le signal qu'il transporte. On considère dans un premier temps un signal analogique sinusoïdal de fréquence 1 MHz environ et d'amplitude 5 V.

Réaliser le dispositif suivant et régler le GBF afin que le signal à l'entrée du câble soit ait bien les caractéristiques citées ci-dessus. Les deux entrées de l'oscilloscope doivent permettre de visualiser les signaux entrant et sortant du câble avec la même échelle verticale.



Le conducteur ohmique de résistance 50Ω est un « bouchon » dont l'utilité sera explicitée à la fin de l'activité.

Questions :

1. On souhaite connaître l'atténuation du signal dans le câble utilisé. Réaliser les mesures nécessaires et en déduire la valeur de l'atténuation. En déduire la valeur de l'atténuation linéique et l'exprimer en dB/km.
2. Comment évolue cette atténuation en fonction de la fréquence du signal transporté ? Réaliser une expérience simple pour répondre et en rendre compte succinctement.
3. Si l'on augmente encore la longueur du câble, quelle conséquence cela aura-t-il sur la qualité de la transmission ? Justifier en utilisant les résultats précédents.

2^{ème} partie : signal numérique dans un câble coaxial

► Lire le document 2 avant de traiter cette partie.

Expérience :

On va maintenant modifier le réglage du GBF afin que le signal transporté dans le câble coaxial simule un signal numérique : les « 1 » seront représentés par des impulsions électriques de valeur 5V.

Régler le GBF afin qu'il délivre les impulsions les plus courtes possibles avec la fréquence la plus élevée possible.

Questions :

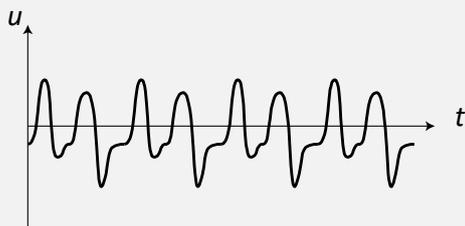
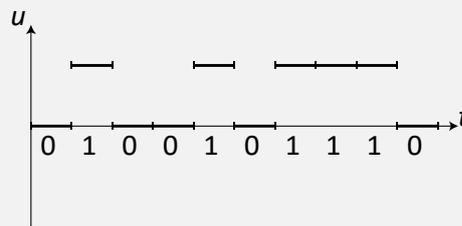
4. Représenter aussi fidèlement que possible l'oscillogramme obtenu.
5. L'atténuation observée pour le signal analogique de la première partie affecte-t-elle aussi le signal numérique ? À quoi le voit-on ?
6. Cette atténuation dégrade-t-elle la qualité du signal sortant du câble ? Justifier à l'aide d'informations extraites du document 2. Conclure en expliquant quel avantage des signaux numérique nous venons de mettre en évidence.



7. Si la longueur du câble est augmentée, quelle conséquence cela finit-il par avoir sur l'information transmise ? Existe-il des solutions pour y remédier ?

DOCUMENT 2 : analogique et numérique

- ▶ Un **signal analogique** est continu. Par exemple, le signal analogique permettant de transporter de la musique est une tension électrique continue, de valeur proportionnelle au signal sonore à transmettre.
- ▶ Un **signal numérique** est une succession de 0 et de 1 qui « codent » le signal à transmettre lors de sa transmission. Un « 0 » est matérialisé par une tension électrique nulle, un « 1 » est matérialisé par une tension de valeur non nulle (généralement voisine de 5V). Le récepteur peut « décoder » le signal reçu (c'est-à-dire reconstituer le signal analogique) à tant que les « 1 » peuvent être distingués des « 0 ».

Signal analogique :**Signal numérique :****3^{ème} partie : le rôle du « bouchon »**

Dans cette dernière partie, on va étudier le rôle joué par le « bouchon » : c'est le nom souvent donné au conducteur ohmique placé en bout de ligne dans les expériences précédentes.

Expérience :

Dans le dispositif de la partie précédente :

- désactiver la voie 2 de l'oscilloscope afin de n'observer que le signal entrant dans le câble ;
- retirer le conducteur ohmique de résistance 50Ω (le « bouchon »).

Questions :

8. Reproduire le signal observé à l'entrée du câble aussi fidèlement que possible.
9. À quel phénomène peut être due la modification observée ?
10. À la place du bouchon précédent, brancher un conducteur ohmique de résistance variable. Faire varier la résistance de celui-ci entre 0 et 100Ω . Décrire les effets produits sur le signal d'entrée et conclure sur l'utilité du « bouchon » de résistance 50Ω pour assurer une bonne transmission.



ACTIVITÉ 4 : la connexion par fibre optique est-elle « plus rapide » ?

La plupart des connexions par câbles sont aujourd'hui progressivement remplacés par des connexions par fibre optique. Une publicité pour l'un des opérateurs français annonce à ses clients :

« Internet à la vitesse de la lumière ! »

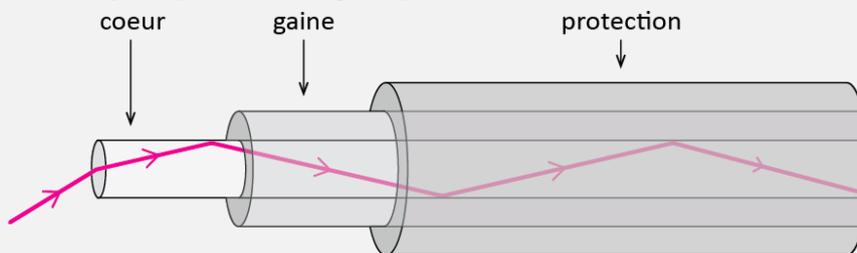
Cette activité propose de comparer la vitesse de propagation des signaux dans les fibres optiques et dans les câbles coaxiaux, afin de vérifier l'annonce faite par cette publicité.

1. Reprendre le dispositif de l'activité précédente, dans la situation représentant un signal numérique. Effectuer les mesures nécessaires pour calculer la célérité des ondes électromagnétiques dans ce câble. Les mesures effectuées et les calculs réalisés seront soigneusement présentés.
2. En exploitant les informations du document ci-après, calculer la célérité des ondes qui se propagent dans les fibres optiques.
3. Vu les résultats obtenus aux questions 1 et 2, commenter la publicité citée en préambule.
4. Quels sont les véritables avantages de la connexion internet par fibre optique ? On pourra effectuer une recherche sur Internet pour répondre.

DOCUMENT : la fibre optique

Dans une fibre optique, les « 1 » et les « 0 » sont matérialisés par des impulsions lumineuses et non pas électriques.

Une fibre optique est constituée d'un cœur, dont l'indice de réfraction est généralement voisin de 1,4, recouvert d'une gaine d'indice plus faible. La lumière qui se propage dans le cœur subit alors des réflexions totales, ce qui lui permet d'être guidé par la fibre :



On rappelle que la célérité d'une onde électromagnétique dans un milieu transparent vaut :

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

c désignant la célérité des ondes électromagnétiques dans le vide et n l'indice de réfraction du milieu.



ACTIVITÉ 5 : transmission par les antennes : la propagation libre

DOCUMENT 1 : les antennes

En radioélectricité, une **antenne** est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou de capter (récepteur) les ondes électromagnétiques. L'antenne est un élément fondamental dans un système radioélectrique, et ses caractéristiques de rendement, gain, diagramme de rayonnement influencent directement les performances de qualité et de portée du système.

D'après wikipédia®

DOCUMENT 2 : comment réaliser simplement une antenne rudimentaire

On peut modéliser simplement une antenne (émettrice ou réceptrice) par un simple fil de longueur L . Au sein d'une antenne émettrice, le déplacement des électrons dans le fil permet d'émettre une onde électromagnétique. Inversement, dans une antenne réceptrice, les ondes électromagnétiques captées vont mettre en mouvement les électrons de l'antenne.

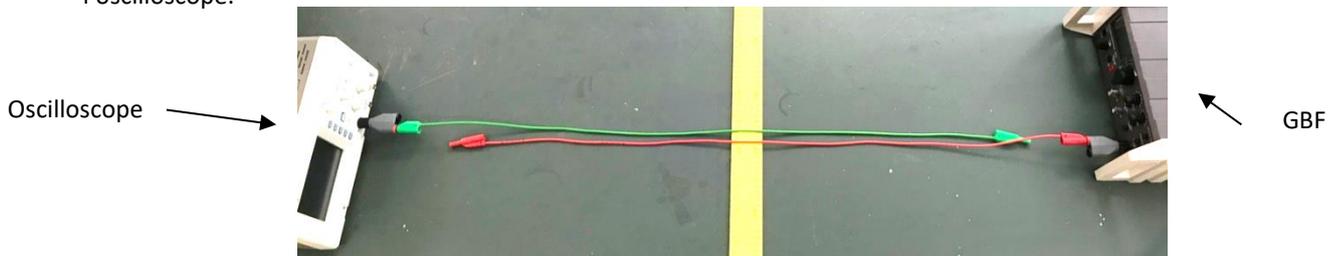
Nous allons étudier la propagation libre d'un signal électrique sinusoïdal de fréquence f produit par un GBF (Générateur basses fréquences).

1^{ère} partie : vérification du fonctionnement des antennes.

Matériel utilisé : oscilloscope ou système d'acquisition ; GBF ; deux longs fils ; une règle en bois ; du ruban adhésif.

Expérience 1 :

- Brancher un seul fil (borne rouge de la fiche BNC) au GBF et 1 seul fil (borne rouge de la fiche BNC) à l'oscilloscope.
- Régler le GBF sur une fréquence d'environ 2 kHz avec une amplitude d'environ 6 V.
- Placer les 2 fils côte à côte, très proche et horizontalement (voir photo) et visualiser la tension reçue à l'oscilloscope.



Questions :

1. Mesurer la fréquence de la tension reçue et la comparer à celle de la tension de l'émetteur.
2. Modifier la fréquence de l'émetteur ($f \approx 15$ kHz). Quelle est alors la fréquence de l'onde reçue ?

2^{ème} partie : facteurs influençant la propagation de l'onde

3. Proposer la liste des facteurs qui, à votre avis, influencent la qualité de la transmission.

4. Expérience 2 :

Tester chaque facteur qualitativement et identifier ceux qui ont une influence sur la transmission. Présenter vos résultats sous forme d'un tableau.



3^{ème} partie : étude de l'atténuation

DOCUMENT 3 : expression de l'atténuation en fonction de l'amplitude

Si une onde a une amplitude U_e à l'entrée d'un milieu et une amplitude U_s à sa sortie, l'atténuation, exprimée en décibels, vaut :

$$A = 20 \log \left(\frac{U_e}{U_s} \right)$$

Afin d'étudier la qualité de notre antenne, on va réaliser une étude qualitative de l'influence de la distance L entre les antennes sur l'atténuation A du signal.

5. Rédiger un protocole permettant de représenter graphiquement l'évolution de l'atténuation A en fonction de la distance L séparant les deux antennes. On précisera clairement quels facteurs on fera varier et ceux qui doivent rester constant.
6. Réaliser les mesures et le tracé de la courbe.
7. On peut distinguer deux portions d'évolution sur la courbe : les délimiter.
8. Décrire l'allure de la 2^{ème} partie de cette courbe et donner le modèle mathématique le plus approchant parmi les propositions suivantes :

Proposition 1 :

$$A = \frac{k}{L}$$

Proposition 2 :

$$A = kL^2$$

Proposition 3 :

$$A = kL + b$$

ACTIVITÉ 6 : comment sélectionner l'information à recevoir ?

1^{ère} partie : un inconvénient de l'antenne « sans filtre »

Expérience :

- Sur le modèle de l'activité précédente, réaliser 2 antennes émettrices à l'aide de 2 GBF et de 2 fils émettant aux fréquences $f_1 = 2$ kHz et $f_2 = 15$ kHz.
- L'antenne réceptrice est reliée à un oscilloscope.

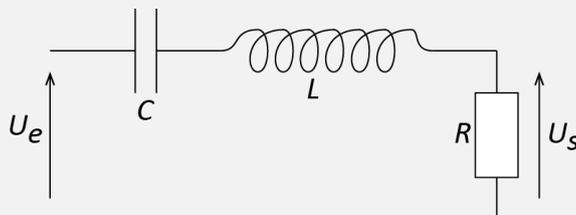
Questions :

1. Décrire le signal observé sur l'oscilloscope.
2. Quel élément manque à notre système pour bien représenter la réception d'un signal radio ? On pourra utiliser des mots de la vie quotidienne pour répondre.

2^{nde} partie : étude d'un filtre passe bande RLC

DOCUMENT : le filtre « passe-bande » RLC

Un filtre passe bande est constitué d'une association en série d'un condensateur de capacité C , d'une bobine d'inductance L et d'un conducteur ohmique de résistance R .



L'amplitude de la tension du signal de sortie (mesurée aux bornes du conducteur ohmique) dépend de la fréquence du signal d'entrée. Elle est maximale pour une fréquence de valeur :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Matériel disponible :

- GBF ;
- boîte conducteurs ohmiques de résistances variables ;
- boîte de condensateurs de capacités variables ;
- bobine d'inductance variable ;
- multimètre et fils.

Expérience : étude d'un filtre RLC

3. Réaliser un circuit RLC tel que :
 - $L = 1,4 \text{ H}$; $C = 50 \text{ nF}$ et $R = 150 \Omega$.
 - La tension U_e correspond à l'amplitude de la tension aux bornes du GBF (tension sinusoïdale). On prendra $U_e = 12 \text{ V}$.
 - La fréquence de la tension délivrée par le GBF sera réglée à 100 Hz .
 - La tension U_s sera mesurée à l'aide d'un voltmètre.
4. Faire varier la fréquence du signal délivré par le GBF afin de compléter le tableau de valeur suivant :

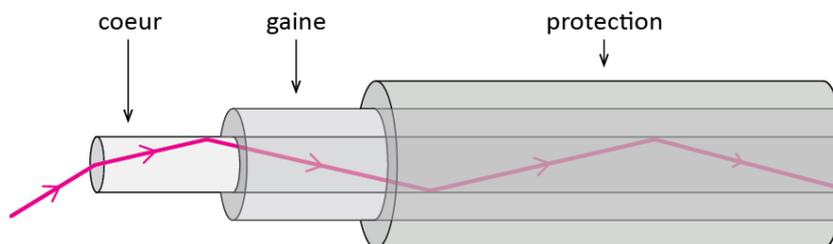
f en Hz	100	200	300	400	500	530	550	580	600	680	700	800	900	1000
U_s en V														

5. À l'aide d'un tableur, représenter graphiquement l'amplitude de sortie U_s en fonction de la fréquence de la tension d'entrée f .
6. Exploiter l'allure de la courbe obtenue pour déterminer l'intérêt de placer un tel circuit aux bornes de l'antenne réceptrice d'un récepteur radio.
7. Mesurer graphiquement la valeur de la fréquence de l'onde sélectionnée par ce circuit.
8. Le document ci-dessus donne l'expression théorique de f_0 . Calculer cette valeur et lui comparer la valeur mesurée à la question précédente. Citer les sources d'erreur qui peuvent justifier l'éventuel écart entre ces deux valeurs.
9. Comment doit-on modifier ce filtre si on veut « sélectionner » une autre fréquence ?
10. À l'aide des résultats obtenus dans cette activité, rédiger une explication argumentée sur la nécessité pour les émissions radios d'utiliser une « onde porteuse ».

ACTIVITÉ 7 : transmission des informations par fibre optique

1^{ère} partie : la fibre à saut d'indice, quelques rappels

Le schéma ci-dessous rappelle le principe de la propagation d'un faisceau de lumière dans une fibre optique à saut d'indice :



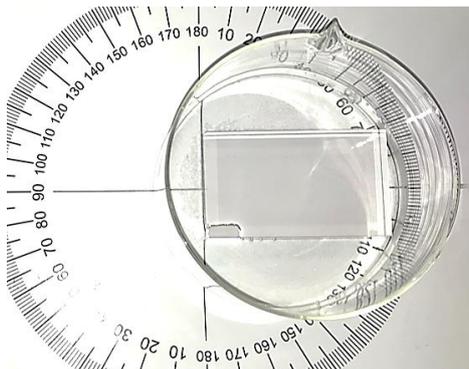
1. Quel phénomène physique garantit que le faisceau de lumière ne sorte pas du cœur de la fibre ?
2. À l'aide d vos connaissances, en déduire une comparaison entre les indices de réfraction respectifs du cœur et de la gaine n_{coeur} et n_{gaine} .

2^{ème} partie : mesure de l'ouverture numérique d'un modèle de fibre optique

Dans cette partie on va réaliser une maquette de fibre optique à l'aide d'un objet parallélépipédique en plexiglas et d'un cristallin contenant de l'eau.

Expérience : réalisation de la maquette

- Placer l'objet parallélépipédique en plexiglas dans un cristallin à demi rempli d'eau.
- Positionner sous le plexiglas un rapporteur afin que l'axe central du rapporteur soit parfaitement confondu avec le côté du parallélépipède (voir photo ci-dessous).
- Positionner le laser à la même hauteur que le plexiglas, perpendiculairement à sa surface d'entrée (sur la normale).



Question :

3. Dans notre maquette, quel milieu représente le cœur de la fibre ? Quel milieu représente la gaine ?

DOCUMENT : l'ouverture numérique de la fibre à saut d'indice

Le cône d'acceptance :

L'ouverture numérique (O.N.) d'une fibre optique caractérise le cône d'acceptance de la fibre : si un rayon lumineux tente de pénétrer la fibre en provenant de ce cône, alors le rayon sera guidé par réflexion totale interne (fig. 1) ; dans le cas contraire, le rayon ne sera pas guidé (fig. 2).

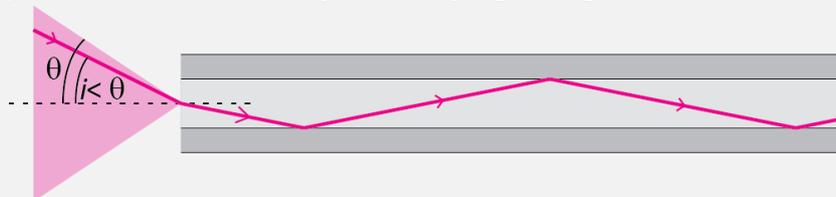


Fig 1 : le rayon de lumière provient du cône d'acceptance, il est donc guidé dans le cœur de la fibre

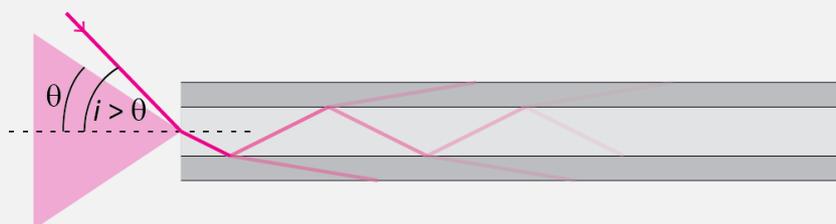


Fig 2 : le rayon de lumière ne provient pas du cône d'acceptance, les réflexions ne sont pas totales et une partie est alors réfractée dans la gaine : il est très vite atténué.

Ouverture numérique :

En posant $n_{\text{cœur}}$, n_{gaine} et θ respectivement les indices du cœur, de la gaine et l'angle d'ouverture du cône d'acceptance, alors l'ouverture numérique de la fibre s'exprime par les relations :

$$\begin{aligned} ON &= \sin(\theta) \\ &= \sqrt{n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2} \end{aligned}$$

**Mesure d'une ouverture numérique**

4. Exploiter la maquette pour mesurer l'angle d'ouverture θ du cône d'acceptance de notre « fibre ». En déduire la valeur de son ouverture numérique.
5. Comparer le résultat obtenu à la valeur théorique, sachant que $n_{\text{plexiglas}} = 1,44$ et $n_{\text{eau}} = 1,33$.

3^{ème} partie : estimation du retard temporel**Expérience :**

Placer le laser avec un angle d'incidence appartenant au cône d'acceptance de la fibre modélisée.

Énoncé 1 :

6. Estimer le retard temporel entre le chemin suivi par le rayon laser dans le plexiglas et le chemin de plus court.

Énoncé 2 :

7. Mesurer à la règle la distance parcourue par le rayon laser, puis la distance la plus courte qui lui permettrait de traverser le plexiglas.
8. En déduire l'écart temporel Δt entre les 2 chemins.

Donnée : célérité de la lumière dans le plexiglas :

$$v = \frac{c}{n_{\text{plexiglas}}} = 2,1 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Exploitation :

9. Quel serait l'écart temporel pour une fibre de 2 km de longueur construite sur le même modèle ?
10. Pour quelle raison cherche-t-on à diminuer cet écart temporel ?