

Thème : AGIR – Défis du XXI<sup>ème</sup> siècle

(Sous-thème : Procédés physiques de transmission).

Type de ressources :

Pistes d'activités illustrant des notions du programme et permettant un approfondissement.  
Références bibliographiques et sitographie.

Notions et contenus :

Propagation libre et guidée, transmission par câble, transmission par fibre optique : notion de mode, transmission hertzienne.

Compétences travaillées ou évaluées :

Exploiter des informations.

Nature de l'activité :

Activité documentaire.

Résumé :

Les élèves disposent de documents (textes, schémas, représentations graphiques, description d'une expérience). Ils doivent exploiter les informations données dans les documents pour comprendre et comparer trois procédés physiques de transmission de l'information.

Mots clefs : Propagation, libre, guidée, modulation, réflexion totale, mode propre, dispersion modale, mesure de célérité.

Académie où a été produite la ressource : Académie d'Orléans-Tours.

<http://physique.ac-orleans-tours.fr/>

# Propagation libre et guidée : Etudes de quelques procédés physiques de transmission de l'information

## Conditions de mise en œuvre :

- Une préparation de cette activité documentaire par les élèves eux-mêmes est fortement préconisée en amont de la séance, ce qui doit permettre de traiter l'intégralité de l'activité documentaire proposée en une durée raisonnable (1 h 30 min par exemple). Cette activité ne requiert pas nécessairement une séance à effectif réduit et peut quasiment constituer la conclusion du sous-thème *Transmettre et stocker de l'information* du thème *Agir* du programme de Physique-Chimie de terminale S.
- Pour traiter cette activité, les élèves disposent d'un porte-documents à partir duquel se travaille la compétence *Exploiter des informations* ; trois coups de pouces ont été également prévus. Le document n°1 peut servir de situation déclenchante. Dans cet esprit, la vidéo du document n°1 peut être visualisée et discutée avec les élèves, rapidement avant ladite séance. C'est l'occasion de faire émerger des questionnements sur l'origine du décalage entre le son et l'image constaté à la fin de la question de la journaliste et de préciser aux élèves les attentes pour la préparation de cette activité.
- La première partie est consacrée à la mise en exergue de quelques généralités sur le sujet traité et à la compréhension des termes "libre" et "guidée" affectés à la propagation des ondes. Dans une deuxième partie, les élèves étudient de manière qualitative la transmission de l'information par voie hertzienne : les modulations d'amplitude et de fréquence ainsi que le rôle de la couche ionosphérique sont abordés. Dans une troisième partie – la plus longue –, la transmission de l'information par fibre optique est traitée. Après quelques questions très classiques concernant la réflexion totale, les notions de "mode propre" et d'"atténuation" dans une fibre optique sont proposées. Cette partie permet aussi de mettre en évidence l'intérêt de la fibre optique monomode et propose d'aborder, si le professeur le souhaite, la technique du multiplexage actuellement utilisée. La transmission de l'information par câble coaxial est proposée dans une quatrième partie assez rapide : procédé physique et mesure de la célérité d'une onde électromagnétique à travers le diélectrique d'un tel câble constituent les deux temps forts de cette partie. La cinquième et dernière partie est une conclusion qui permet de comparer les différents types de transmission étudiés. Enfin, en complément, un exercice à caractère quantitatif sur la dispersion modale est proposé.
- Simultanément, il est intéressant de :
  - visualiser les animations [1] ou [2] proposées dans la sitographie dans un but d'explications renforcées et animées ;
  - de réaliser en "direct" l'expérience décrite dans le document n°6 (expérience réalisée avec un câble coaxial d'impédance caractéristique  $Z_C = 50 \Omega$ , la résistance en sortie étant ajustée aussi à  $50 \Omega$  pour ne pas avoir une réflexion en sortie du câble coaxial).

## Extrait du BO :

Notions et contenus	Compétences exigibles
<b>Procédés physiques de transmission</b> Propagation libre et propagation guidée. Transmission : <ul style="list-style-type: none"><li>- par câble ;</li><li>- par fibre optique : notion de mode ;</li><li>- hertzienne.</li></ul>	Exploiter des informations pour comparer les différents types de transmission.

## Compétences travaillées :

- Compétences du préambule du cycle terminal : Extraire et organiser l'information utile, mettre en œuvre un raisonnement, mobiliser ses connaissances, maîtriser les compétences mathématiques de base, communiquer à l'écrit.
- Compétences "extraire et exploiter" : Modélisation, exploitation qualitative, communication en tant que scientifique.

## Prérequis :

- Physique : loi quantitative de Snell-Descartes relative à la réfraction ; notions qualitatives sur la diffraction ; relation vitesse-distance-durée ;
- Mathématiques : trigonométrie de base.

# Propagation libre et guidée : Etudes de quelques procédés physiques de transmission de l'information

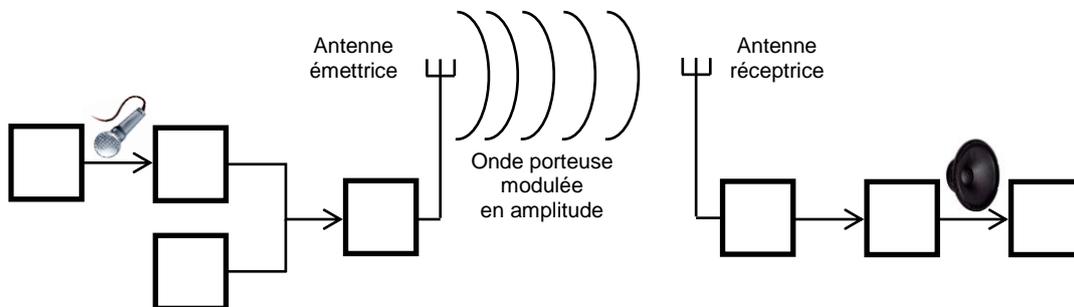
Répondre aux questions en extrayant des divers documents mis à disposition les informations les plus pertinentes.

## 1. Généralités.

- 1.A. Citer plusieurs "familles" d'ondes électromagnétiques.  
 1.B. Quelle est la différence entre une propagation libre et une propagation guidée ?

## 2. Transmission de l'information par voie hertzienne.

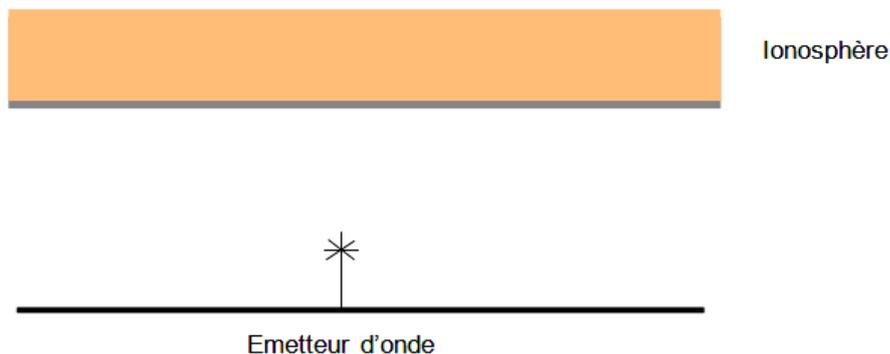
- 2.A. Indiquer comment générer très simplement une onde hertzienne à partir d'une tension et comment générer très simplement une tension à partir d'une onde hertzienne.  
 2.B. Placer sur l'organigramme ci-dessous du principe de la modulation d'amplitude les numéros des éléments constitutifs suivants : ① information transmise, ② tension basse fréquence (signal modulant ou signal informatif), ③ sélecteur d'ondes électromagnétiques, ④ modulateur, ⑤ démodulateur, ⑥ information à transmettre, ⑦ tension haute fréquence.



- 2.C. Comparer la modulation d'amplitude et la modulation de fréquence (avantages / inconvénients).  
 2.D. Déterminer l'ordre de grandeur de la taille d'une antenne réceptrice d'ondes hertziennes de fréquence  $f = 1.10^2$  MHz.

*Donnée : Célérité de l'onde hertzienne dans l'air :  $c = 3,0.10^8$  m.s<sup>-1</sup>.*

- 2.E. Sur le schéma ci-dessous, représenter de manière simple :  
 - En bleu la façon dont se propagerait depuis l'émetteur une onde porteuse hertzienne modulée en amplitude de fréquence typique  $f = 2.10^2$  kHz ;  
 - En rouge la façon dont se propagerait depuis l'émetteur une onde porteuse hertzienne modulée en fréquence de fréquence typique  $f = 1.10^2$  MHz

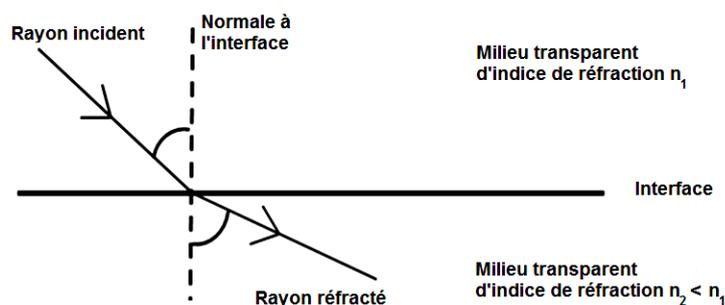


- 2.F. Quel(s) phénomène(s) physique(s) peut-on associer à l'extrait souligné suivant : "*Plus généralement, plus la fréquence de l'onde émise est élevée, plus l'onde est directive, plus le signal est stable mais moins l'onde peut se propager loin car très sensible à l'environnement (maison, immeuble, météo, ...). Dans le cas des téléphones portables, la fréquence typique est de 1 000 MHz, ces ondes ne possèdent pas une capacité à franchir les obstacles, ce qui donne l'impression que leur portée est faible en milieu encombré, comme la ville par exemple ...*" ? Justifier brièvement.

### 3. Transmission de l'information par fibre optique et notion de modes propres de propagation.

#### 3.A. De la réfraction à la réflexion totale.

On rappelle le schéma classique pour illustrer ce phénomène de réfraction de la lumière à l'interface entre deux milieux transparents d'indices de réfraction  $n_1$  et  $n_2$ . On se place dans le cas où  $n_2 < n_1$ .



3.A.a. Indiquer sur le schéma l'angle d'incidence  $i_1$  et l'angle de réfraction  $i_2$ . Rappeler la loi de Snell-Descartes unissant ces angles puis justifier l'inégalité  $i_1 < i_2$ .

3.A.b. Quelle valeur maximale peut prendre l'angle de réfraction  $i_2$  ? Montrer que si  $i_2 = 90^\circ$  alors  $i_{1\text{LIM}} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$  (Cette valeur particulière  $i_{1\text{LIM}}$  de l'angle  $i_1$  est appelée "angle de réfraction limite").

3.A.c. Quel phénomène physique a lieu si  $i_1 > i_{1\text{LIM}}$  ? Expliquer alors le principe physique de propagation d'un rayon lumineux dans une fibre à saut d'indice.

#### 3.B. Différentes fibres optiques.

Que signifie "à saut d'indice" par rapport "à gradient d'indice" pour une fibre optique ?

#### 3.C. Notion de modes propres de propagation, dispersion modale et émergence d'un premier avantage de la fibre monomode.

3.C.a. Que représentent les modes propres de propagation ? Les fibres n°1 et n°2 du document n°3 sont-elles monomodes ou multimodes ? Justifier brièvement votre choix.

3.C.b. Expliquer en quoi la dispersion modale est gênante dans la propagation des ondes dans les fibres optiques à saut d'indice. Faire émerger alors l'intérêt d'une fibre monomode.

#### 3.D. Atténuation dans les différentes fibres optiques et émergence d'un deuxième avantage de la fibre monomode.

3.D.a. Dégager un avantage de la fibre monomode en termes d'atténuation du signal.

3.D.b. Pourquoi utilise-t-on le plus souvent des ondes infrarouges de longueur d'onde 1 550 nm pour transmettre l'information dans une fibre optique ?

#### 3.E. FACULTATIF : Fibre optique et multiplexage.

Dégager l'intérêt du multiplexage W.D.M. par rapport au multiplexage T.D.M.

### 4. Transmission de l'information par câble coaxial.

4.A. Expliquer le principe physique de propagation de l'information à travers un câble coaxial.

4.B. Citer un avantage et un inconvénient du câble coaxial.

4.C. En exploitant le document n°6, déterminer un ordre de grandeur de la célérité des ondes électromagnétiques de fréquence  $f = 400$  kHz à travers le diélectrique du câble coaxial.

### 5. Conclusion.

Compléter le tableau synthétique ci-dessous.

	Voie hertzienne	Fibre optique	Câble coaxial
Type de propagation			
Support matériel			
Procédés physiques			
Avantage(s)			
Inconvénient(s)			

# Votre porte-documents

DOCUMENT N°1 : EXTRAIT DU JT DE 20 H DE TF1<sup>®</sup> DU 19 JANVIER 2010 (DUREE : 1 MIN 30 S).

<http://videos.tf1.fr/jt-20h/haiti-le-financement-de-l-aide-une-urgence-absolue-5646444.html>

Un décalage son/image est perceptible entre la dixième et la treizième seconde de l'extrait.

DOCUMENT N°2 : LA TRANSMISSION HERTZIENNE DE L'INFORMATION.

Trois élèves de 1<sup>o</sup>S (Julie, Vincent et Matthieu) préparent leur T.P.E. Leur sujet est consacré à la transmission de l'information par voie hertzienne. Ils ont obtenu un entretien avec un enseignant-chercheur du laboratoire G2PTI "Génie des Procédés Physiques de Transmission de l'Information" situé sur le campus universitaire.

**Julie :** Tout d'abord, pourriez-vous nous expliquer ce que l'on appelle la transmission hertzienne de l'information ?

Le chercheur : Que savez-vous vous des ondes hertziennes justement ?

**Vincent :** Ce sont des ondes électromagnétiques dans une gamme de longueurs d'onde.

Le chercheur : Effectivement, dans d'autres gammes, il existe aussi la lumière, les infrarouges, les ultraviolets, etc ... Ce que l'on appelle transmission hertzienne de l'information, c'est la propagation libre des ondes hertziennes qui vont elles-mêmes transporter l'information à transmettre. L'intérêt principal de la transmission hertzienne, pour la radio, la télévision ou le téléphone, est l'absence de support matériel et la possibilité de transmission à longue portée sans trop d'amortissement (satellites par exemple ...). On utilise pour cela des procédés comme la modulation d'amplitude – MA ou AM en anglais car *Amplitude Modulation* – ou encore la modulation de fréquence – MF ou FM en anglais car *Frequency Modulation* –.

**Matthieu :** Libre ? C'est-à-dire ?

Le chercheur : En fait il existe deux grands types de propagation : la propagation libre pour laquelle l'émetteur d'onde, à savoir une antenne soumise à une tension, émet de manière isotrope dans toutes les directions offertes de l'espace et la propagation guidée pour laquelle on impose à l'onde d'emprunter un "chemin", les "chemins" les plus connus sont les fibres optiques ou encore les câbles coaxiaux.

**Julie :** Vous avez cité deux procédés physiques de transmissions hertziennes, pourriez-vous nous expliquer le plus simple à comprendre.

Le chercheur : Le plus simple à comprendre est la modulation d'amplitude. Ce procédé est d'ailleurs utilisé dans le domaine d'ondes appelé "grandes ondes" par de célèbres stations de radios comme R.T.L.<sup>®</sup>, Europe 1<sup>®</sup> ou France Inter<sup>®</sup>. Quand un animateur parle dans un microphone, le microphone transforme le son de sa voix en une tension dont l'évolution temporelle est l'image du son. Cette tension est appelée le signal modulant ou signal informatif, c'est-à-dire le signal électrique basse fréquence qui est l'image de l'information à transmettre – son pour simplifier –. Ensuite on se sert de cette tension pour moduler l'amplitude d'une tension haute fréquence, cette tension haute fréquence s'appelle le signal porteur, c'est-à-dire le support qui transporte l'information. A partir de cette tension haute fréquence dont l'amplitude variera au rythme du signal informatif, on va générer, en appliquant cette tension à une antenne, une onde électromagnétique haute fréquence – qu'on appelle la porteuse – dont l'amplitude variera au rythme du signal informatif. Pour résumer, la modulation, quelle qu'elle soit, consiste à moduler, à faire varier une caractéristique – ici je vous ai parlé de l'amplitude – de la porteuse par le signal modulant : on obtient ainsi l'onde modulée à l'intérieur de laquelle est inscrite l'information à transmettre, si bien qu'au cours de sa propagation, l'onde modulée va transporter l'information.

**Vincent :** Et une fois que l'on reçoit cette onde porteuse modulée en amplitude sur notre poste de radio, il se passe l'inverse.

Le chercheur : Oui, chaque poste de radio est équipé d'un démodulateur qui consiste à extraire le signal informatif contenu dans l'onde porteuse sélectionnée grâce à un sélecteur ou filtre, ce signal informatif nous étant délivré par le poste de radio sous forme de son bien sûr. Pour terminer cette rapide explication, je vous signale que chaque station de radio possède une fréquence de porteuse bien définie : 234 kHz pour R.T.L.<sup>®</sup>, 183 kHz pour Europe 1<sup>®</sup>, 162 kHz pour France Inter<sup>®</sup> et ce sur toute la France car les ondes électromagnétiques de ces fréquences – typiquement inférieures à 3 MHz – se propagent très bien dans les basses couches de l'atmosphère avec des portées pouvant aller jusqu'à 1 000 km.

**Matthieu : Mais pourquoi ne pas générer alors une onde directement à partir du signal informatif ?**

Le chercheur : Je vous retourne la question, que se passerait-il si chaque station de radio émettait des ondes hertziennes directement à partir du signal informatif ?

**Vincent : N'est-ce pas parce que toutes les informations reçues se chevaucheraient ?**

Le chercheur : Et oui, il serait impossible à l'auditeur de s'y retrouver puisque toutes les ondes auraient la même gamme de fréquences ! Et puis je rajoute ce point non négligeable : les antennes réceptrices, qui ont des dimensions de l'ordre du quart de la longueur d'onde de l'onde hertzienne émise, auraient des dimensions de l'ordre de la dizaine de kilomètre, ce qui est irréalisable bien-sûr !

**Matthieu : Le deuxième type de modulation citée, la modulation de fréquence, est basée sur le même principe sauf que l'on va moduler la fréquence de l'onde porteuse par le signal informatif et de la même façon notre poste de radio effectue une démodulation de fréquence.**

Le chercheur : C'est exactement cela. La FM présente des avantages : haute-fidélité du son reproduit et faible sensibilité aux parasites. D'autre part, les fréquences des porteuses en FM peuvent varier avec le lieu géographique, par exemple si vous écoutez France Inter<sup>®</sup> à Paris en FM la fréquence de la porteuse est de 87,8 MHz, si vous écoutez France Inter<sup>®</sup> à Fontainebleau, qui n'est qu'à 70 km de Paris, la fréquence de la porteuse est de 94,2 MHz alors qu'en AM, France Inter<sup>®</sup> c'est 162 kHz à Paris comme à Fontainebleau !

**Julie, Vincent et Matthieu : Et pourquoi cela ?**

Le chercheur : Les ondes hertziennes de fréquences typiquement inférieures à 40 MHz sont réfléchies par l'ionosphère – couche de l'atmosphère comprise entre 80 et 400 km d'altitude –. Les ondes de fréquences plus élevées traversent l'ionosphère. Ce phénomène a certaines conséquences : les ondes radio de la gamme "grandes ondes" se trouvent ainsi piégées entre l'ionosphère et la Terre sur lesquelles elles sont réfléchies alors que les ondes de fréquences supérieures à 40 MHz traversent l'ionosphère. Il est donc nécessaire d'installer des relais qui réceptionnent ces ondes, les amplifient et les réémettent en changeant souvent la fréquence de l'onde porteuse. D'ailleurs, ce même phénomène de réflexion est mis à profit pour les communications et la télévision. On envoie une onde directionnelle vers un satellite – géostationnaire de préférence – qui la réémet en "arrosant" une grande surface sur la Terre.

**Julie : Ce qui explique que les ondes de ma station FM locale ne peuvent pas voyager sur de longues distances.**

Le chercheur : Ces ondes radio sont normalement émises en ligne droite et ne peuvent donc pas voyager au-delà de l'horizon, en suivant la courbe de la terre. En outre, elles ne possèdent pas cette propriété unique qui leur permettrait, comme les ondes de plus basses fréquences, d'être réfléchies sur l'ionosphère. Plus généralement, plus la fréquence de l'onde émise est élevée, plus l'onde est directive, plus le signal est stable mais moins l'onde peut se propager loin car très sensible à l'environnement (maison, immeuble, météo, ...). Dans le cas des téléphones portables, la fréquence typique est de 1 000 MHz, ces ondes ne possèdent pas une capacité à franchir les obstacles, ce qui donne l'impression que leur portée est faible en milieu encombré, comme la ville par exemple ...

**DOCUMENT N°3 : LA TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE DE L'INFORMATION.**

Contrairement aux ondes hertziennes hautes fréquences, la lumière ne peut pas se propager dans l'atmosphère sur de longues distances sans que son énergie ne soit rapidement absorbée ou diffusée par les molécules de l'atmosphère. En revanche, si l'on dispose d'un milieu de propagation parfaitement transparent et dépourvu d'impuretés, la propagation est alors possible avec très peu de perte : c'est le cas des fibres optiques. A l'intérieur des fibres optiques, la lumière :

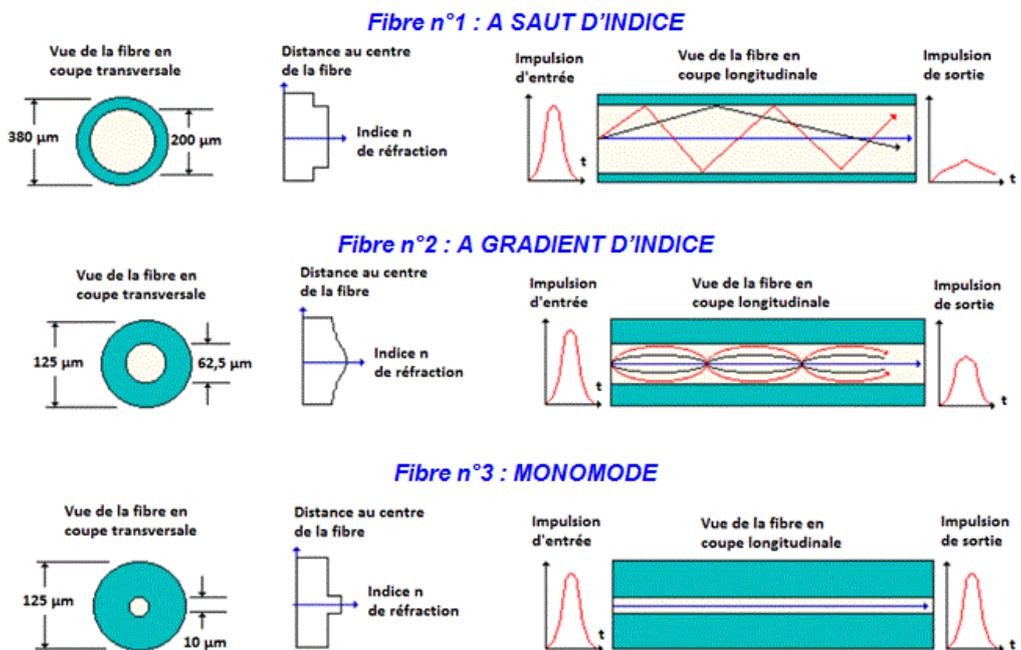
- est modulée par l'information à transmettre ;
- subit de multiples réflexions à l'interface entre le cœur et la gaine : c'est le phénomène de réflexion totale.

**Description :**

Une fibre optique comporte trois parties :

- Le cœur : il est constitué de verre très pur, il est transparent et son indice de réfraction est noté  $n_c$  ;
- La gaine optique : elle est constituée de verre très pur, est transparente et son indice de réfraction  $n_g$  très légèrement inférieur à celui du cœur ;
- La gaine externe : elle est destinée à assurer une certaine solidité à la fibre optique.

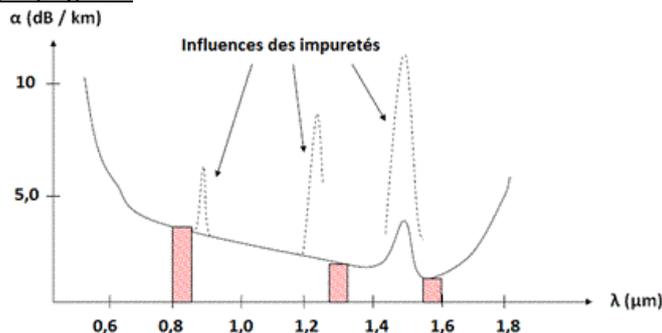
**Caractéristiques et propagation de la lumière dans les trois types de fibre optique :**



**La dispersion modale :**

Lorsque l'on utilise une fibre multimode, la lumière peut prendre plusieurs chemins (modes propres de propagation) lorsqu'elle se propage dans la fibre. La distance parcourue par certains modes propres est donc différente de la distance parcourue par d'autres modes propres. Lorsqu'une impulsion est envoyée dans la fibre, elle se décompose selon les différents modes propres. Certaines composantes arrivent donc avant d'autres et l'impulsion s'étale dans le temps : c'est la dispersion modale.

**Atténuation  $\alpha$ , en dB / km, dans une fibre à saut d'indice en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde électromagnétique s'y propageant :**

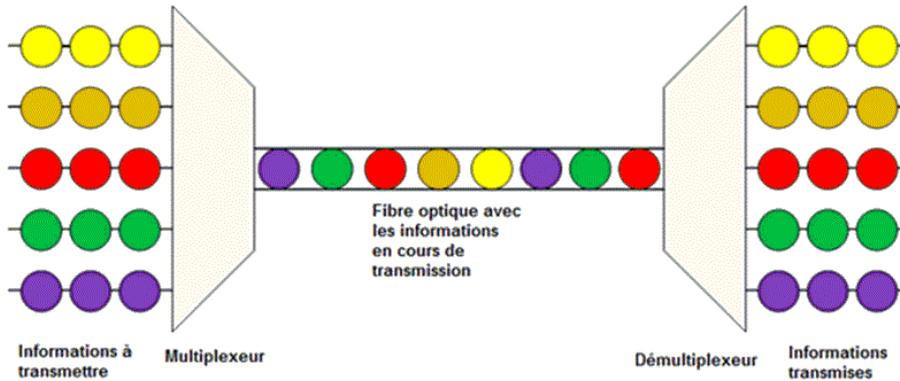


**DOCUMENT N°4 : LE MULTIPLEXAGE DANS LA TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE DE L'INFORMATION.**

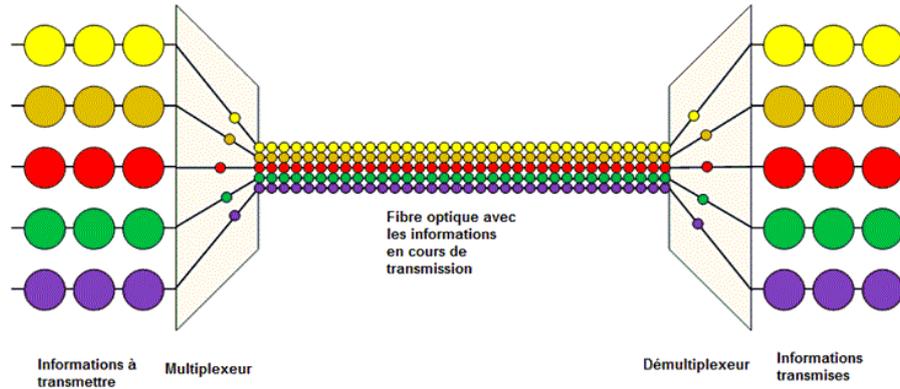
Intérêt : La notion de multiplexage s'explique par le fait de vouloir toujours transmettre plus d'informations sur une fibre optique. Le principe général est simple à comprendre : il consiste en fait à faire passer plusieurs informations sur un seul support de transmission. A l'aide de ce principe simple, 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). Deux types de multiplexage sont possibles :

- Le multiplexage en temps (ou *T.D.M. : Time Division Multiplexing*) ;
- Le multiplexage en longueur d'onde (ou *W.D.M. : Wavelength Division Multiplexing*).

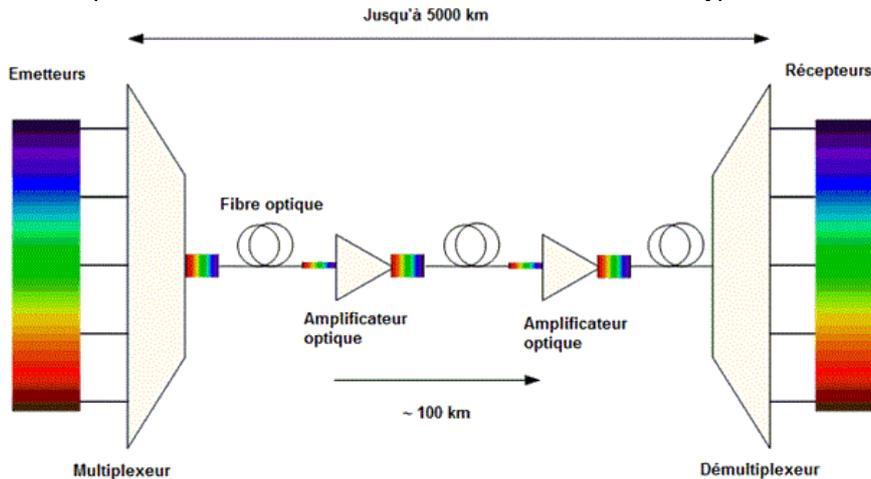
T.D.M. : Voici un schéma permettant d'illustrer le découpage en temps entre les différentes informations à transmettre représentées de différentes couleurs :



W.D.M. : Voici un schéma permettant d'illustrer le découpage en longueur d'onde entre les différentes informations à transmettre représentées de différentes couleurs (les signaux sont portés par des longueurs d'ondes différentes, et espacées assez largement afin de ne pas interférer les unes avec les autres) :



Par ailleurs, voici la représentation schématisée d'une liaison W.D.M. de type sous-marin :

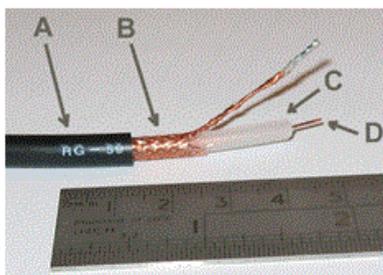


## DOCUMENT N°5 : TRANSMISSION PAR CÂBLE COAXIAL DE L'INFORMATION.

Voici quelques extraits de [Wikipédia](https://fr.wikipedia.org/), l'encyclopédie libre en ligne :

Extrait n°1 : " ... Le câble coaxial ou ligne coaxiale est une ligne de transmission ou liaison asymétrique, utilisée en hautes fréquences, composée d'un câble à deux conducteurs. L'âme centrale, qui peut être mono-brin ou multi-brins (en cuivre ou en cuivre argenté, voire en acier cuivré), est entourée d'un matériau diélectrique (isolant). Le diélectrique est entouré d'une tresse conductrice (ou feuille d'aluminium enroulée), appelée blindage, puis d'une gaine isolante et protectrice ... ".

Extrait n°2 : " ... A : Gaine isolante et protectrice ; B : Blindage (tresse) en cuivre ; C : Diélectrique ; D : Conducteur central (âme) en cuivre ... " (Note de l'auteur : le conducteur central sert à amener un courant électrique et le blindage en cuivre en assure le retour, jouant le rôle de masse).



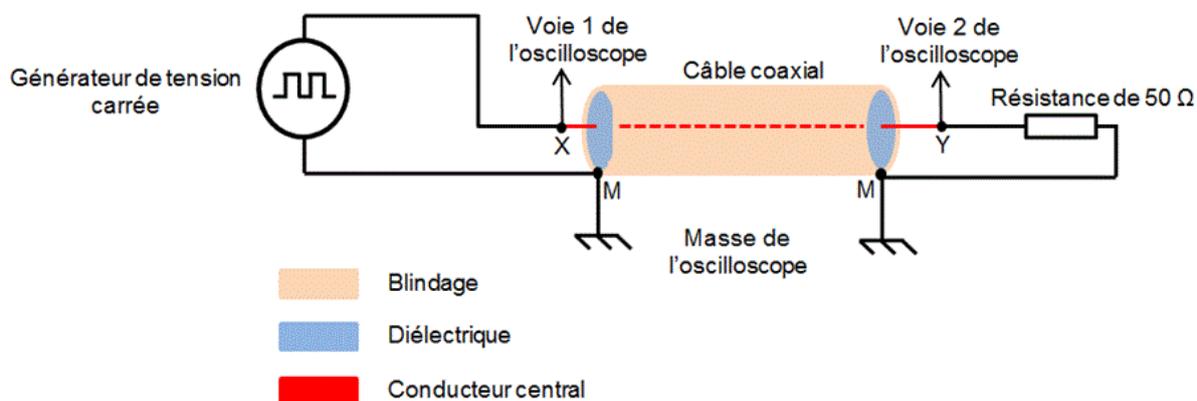
Extrait n°3 : " ... Le câble coaxial est maintenant remplacé par la fibre optique sur les longues distances (supérieures à quelques kilomètres) ... ".

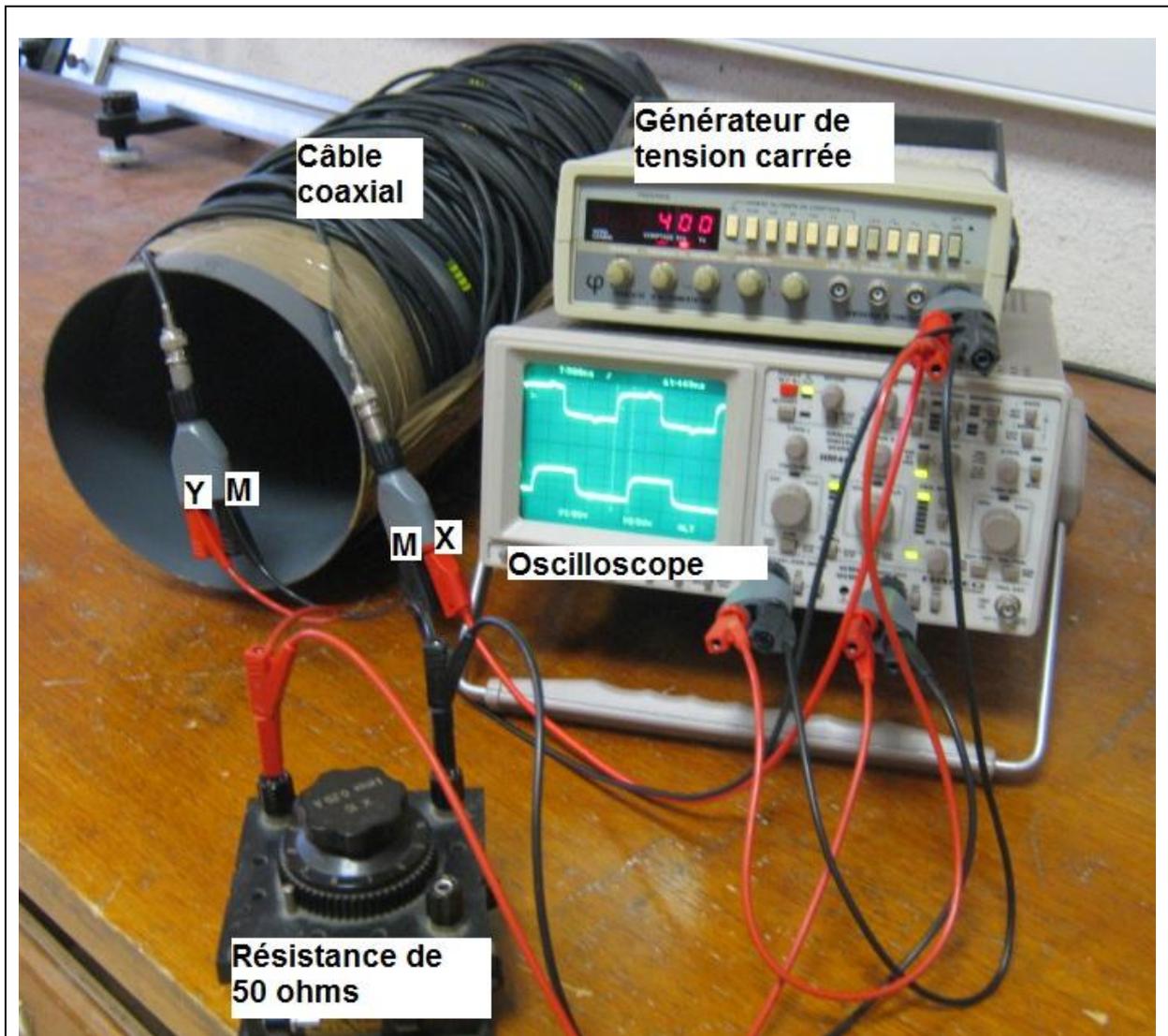
Extrait n°4 : " ... Un générateur relié à une charge à l'aide d'un câble coaxial va provoquer dans chacun des deux conducteurs du câble l'établissement d'un courant électrique et la formation d'une onde électromagnétique se déplaçant dans le diélectrique à une vitesse très grande ... ".

## DOCUMENT N°6 : MESURE DE LA CELERITE D'UNE ONDE ELECTROMAGNETIQUE SE PROPAGEANT DANS UN CÂBLE COAXIAL.

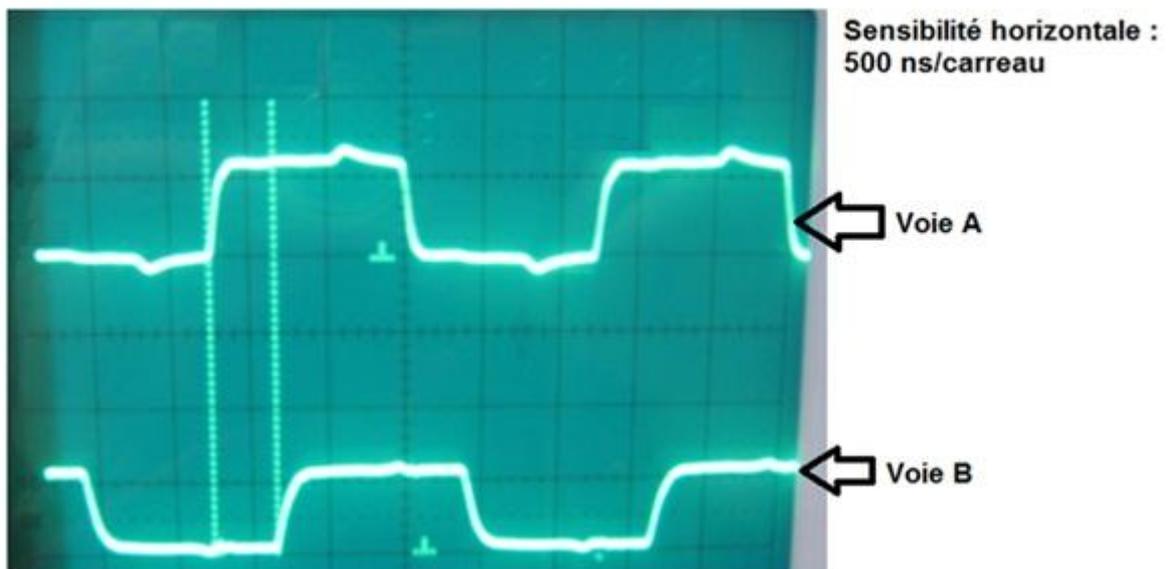
Un générateur délivre une tension carrée de fréquence  $f = 400 \text{ kHz}$ , tension appliquée entre X (X = point du conducteur central) et M (M = masse = point du blindage) d'un câble coaxial. A l'autre extrémité du câble coaxial est branchée entre Y (Y = point du conducteur central) et M (M = masse = point du blindage) une résistance de  $50 \Omega$ . La longueur L du câble, qui est aussi la distance XY, est de 75 m. Un oscilloscope permet d'observer les tensions  $u_{XM}(t)$  et  $u_{YM}(t)$  représentatives des ondes électromagnétiques émises en X et reçues en Y au cours du temps à travers le diélectrique.

Le schéma et la photo du montage sont présentés ci-dessous (pour des soucis de clarté, la gaine isolante et protectrice n'a pas été représentée) :





L'écran obtenu sur l'oscilloscope est le suivant :



## Coups de pouce à distribuer si besoin

### Coup de pouce n°1 : Je n'arrive pas à répondre à la question 2.F.

Quel phénomène physique se produit quand une onde rencontre une ouverture dont la taille est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de l'onde ? Quelle est l'influence de la taille de l'ouverture sur ce phénomène physique ?

### Coups de pouce n°2 : Je n'arrive pas à répondre aux questions 3.A.

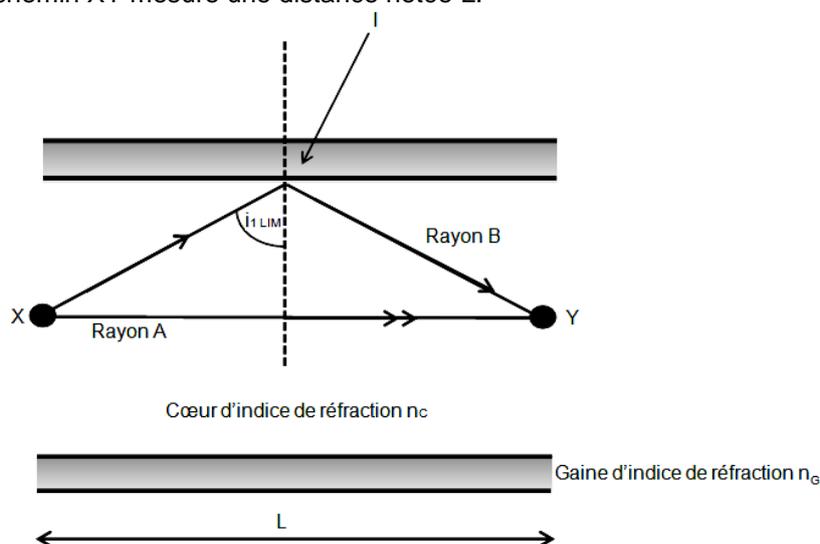
- La fonction sinus est une fonction croissante pour des angles contenus dans l'intervalle  $[0^\circ ; 90^\circ]$  : si  $i_1 < i_2$  alors  $\sin(i_1) < \sin(i_2)$  ;
- La fonction réciproque de la fonction "sinus" est la fonction "arc sinus" : si  $y = \sin(x)$  alors réciproquement  $x = \arcsin(y)$ .

### Coups de pouce n°3 : Je n'arrive pas à répondre à la question 4.B.

- Comment peut-on interpréter d'un point de vue économique, mais aussi d'un point de vue physique, l'extrait n°3 du document n°5 ? ;
- Pour quelle raison la gaine extérieure du câble coaxial est-elle qualifiée de "isolante et protectrice" ?

## Pour aller plus loin : Un exercice à caractère quantitatif sur la dispersion modale

On considère deux rayons extrêmes se propageant à la célérité  $v$  dans une fibre à saut d'indice : l'un noté A se propageant parallèlement à l'axe de la fibre selon le chemin XY, un autre noté B arrivant sur l'interface cœur-gaine avec l'angle d'incidence  $i_{1\text{LIM}}$  tel que  $\sin(i_{1\text{LIM}}) = \left(\frac{n_G}{n_C}\right)$  se propageant selon le chemin XIY. La chemin XY mesure une distance notée  $L$ .



1. Donner, en fonction de  $L$  et  $v$ , l'expression littérale de la durée  $t_A$  nécessaire au rayon A pour effectuer le chemin XY.
2. Montrer que l'expression littérale du chemin XIY est  $XIY = \frac{L}{\sin(i_{1\text{LIM}})}$ . En déduire l'expression littérale de la durée  $t_B$  nécessaire au rayon B pour effectuer le chemin XIY.
3. Déduire de 1. et 2. que  $\Delta t = t_B - t_A = \frac{n_C \cdot L}{c} \left( \frac{n_C - n_G}{n_G} \right)$  sachant que la célérité  $v$  du rayon dans le cœur vaut  $v = \frac{c}{n_C}$  où  $c$  représente la célérité des ondes électromagnétiques dans le vide.
4. Cette durée  $\Delta t$  caractérise la "dispersion modale". Expliquer ce terme.
5. Application numérique : Déterminer, en  $\text{s.km}^{-1}$ , le décalage temporel introduit par  $\text{km}$  de fibre pour  $n_C = 1,45$  ;  $n_G = 1,41$  ;  $c = 2,99.10^5 \text{ km.s}^{-1}$ . Commenter.

## Sitographie – Bibliographie

---

- [1]** ANIMATION SIMPLE SUR LA FIBRE OPTIQUE A SAUT D'INDICE  
<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optigeo/fibresaut.html>
- [2]** ANIMATION SOPHISTIQUEE SUR LES DIFFERENTS TYPES DE FIBRES OPTIQUES, MISE EN EVIDENCE DE LA DISPERSION MODALE  
[http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/optiqueGeo/dioptres/fibre\\_optique.html#](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/dioptres/fibre_optique.html#)
- [3]** DOCUMENTATIONS EN .PDF TRES VARIEES SUR LA FIBRE OPTIQUE  
[http://www.renater.fr/IMG/pdf/Partie1\\_-\\_Fibre\\_optique.pdf](http://www.renater.fr/IMG/pdf/Partie1_-_Fibre_optique.pdf)  
<http://perso.fundp.ac.be/~jllongue/syllabus/Eing2120-7.pdf>
- [4]** SITES INTERNET TRES COMPLETS SUR LA FIBRE OPTIQUE  
[http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission\\_sur\\_fibre\\_optique/index.html](http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Transmission_sur_fibre_optique/index.html)  
<http://chrichri.org/fibre/>
- [5]** WIKIPEDIA, L'ENCYCLOPEDIE LIBRE EN LIGNE  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A2ble\\_coaxial](http://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A2ble_coaxial)  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Propagation\\_des\\_ondes\\_radio](http://fr.wikipedia.org/wiki/Propagation_des_ondes_radio)
- [6]** SCIENCE & VIE N°1089 DE JUIN 2008, PAGES 132 A 135 CONSACREES A LA FIBRE OPTIQUE

Remarque : Certains schémas proposés dans cette activité sont issus de cette sitographie mais la très grande majorité du porte-documents a été conçu par l'auteur de l'activité.