

Systèmes optiques : Prisme et Fibre Optique

A/ PRISME

- I. Description du prisme**
- II. Application du prisme**
- III. Etude de la marche d'un rayon lumineux
Monochromatique**
- IV. Dispersion du prisme**

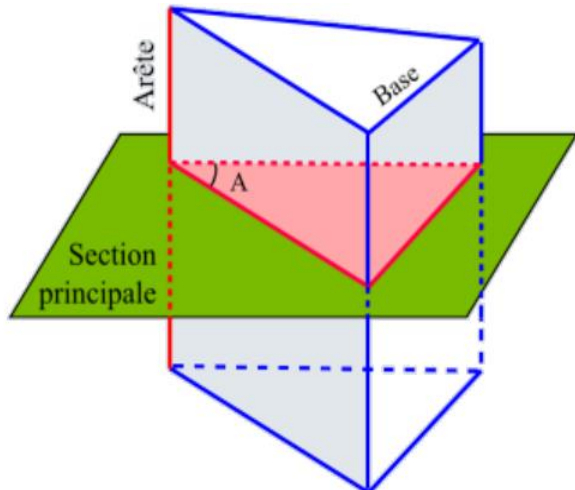


<https://www.youtube.com/watch?v=Ubj6Ksks5YI>

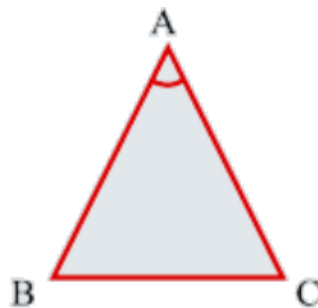
I. Description du prisme

- **D'une manière générale** : Un **prisme** est un **système optique** utilisé pour **réfracter** la lumière, **la réfléchir** ou la **dispenser** en ces constituants (les différents rayonnements de l'arc-en-ciel pour la lumière blanche par exemple).

- **En optique géométrique** : Un prisme est un milieu homogène transparent d'indice « n » (verre, plexiglas), limité par **deux dioptries plans non parallèles** qui constituent les faces du prisme ; celles-ci se coupent suivant une **droite** qui est **l'arête** du prisme.



- Tout **plan perpendiculaire** à l'arête est un plan de section principale ; son **intersection** avec les deux faces définit **l'angle « A » du prisme**.
- En pratique, seuls les rayons lumineux contenus dans un **plan d'incidence normal à l'arête** sont pris en considération. Et la représentation du prisme se limite à sa section principale, c'est à dire à un **triangle ABC**.



➤ **Un prisme est caractérisé par :**

- ✚ Son indice de réfraction : $n = c/v$
- ✚ Son angle au sommet : A

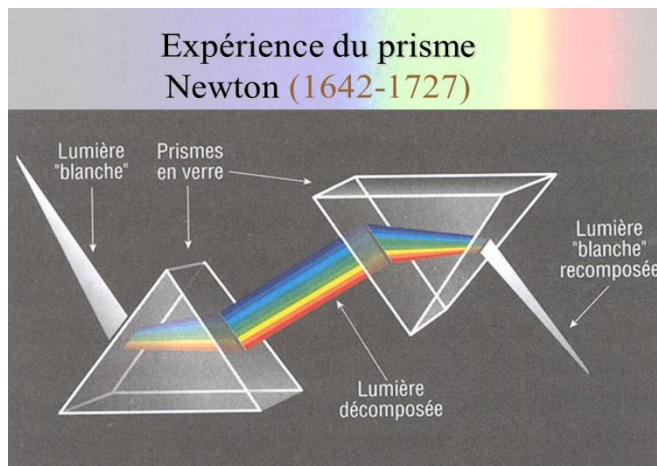
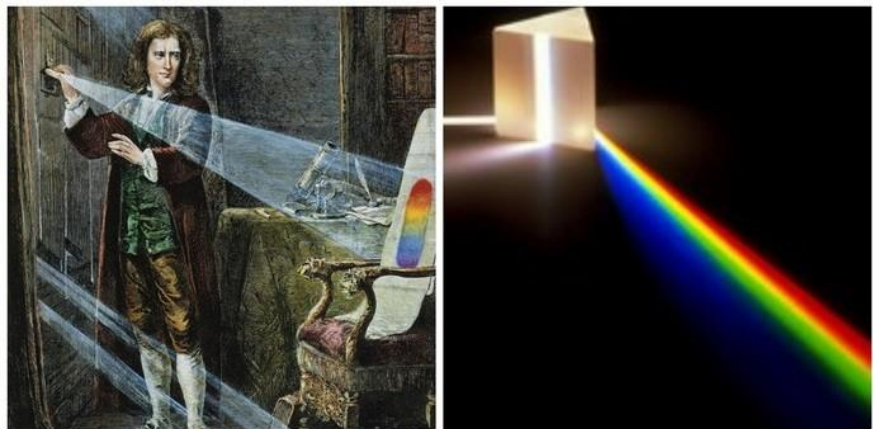
- Un prisme présente **un stigmatisme approché** dans les conditions de **GAUSS** : En regardant un objet à travers un prisme, celui-ci semble se trouver plus haut ou plus bas suivant notre point de vue. **Le prisme provoque une déviation du rayon lumineux**

II. Applications du Prisme

➤ **Histoire du prisme :**

Avant **Isaac Newton**, on pensait que le prisme ajoutait des couleurs au faisceau de lumière blanche. Newton place alors un deuxième prisme de telle manière qu'il ne soit atteint que par une seule couleur et

Découvre que la couleur reste inchangée. Il utilise ensuite un deuxième prisme et réussit à recomposer un faisceau blanc à partir de l'arc-en-ciel généré par le



premier prisme : il démontre ainsi que c'est la lumière blanche est composée de plusieurs couleurs (c'était la première interprétation scientifique de l'arc en ciel).

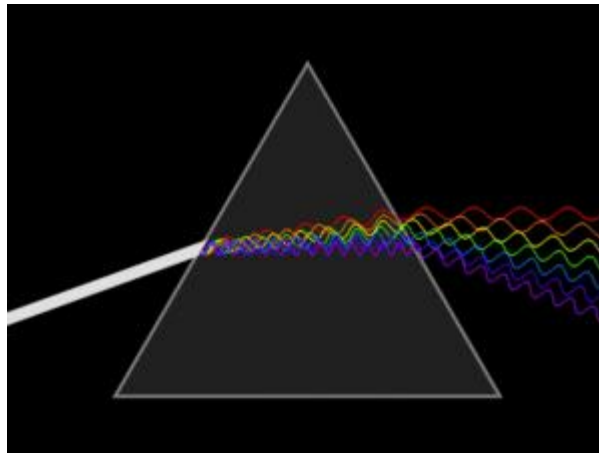
➤ **Effet du prisme sur la lumière :**

Un prisme a deux effets sur un faisceau incident :

- Un effet de **déviation**
- Un effet de **dispersion**

L'action d'un prisme sur la lumière dépend de la **composition spectrale** de la source lumineuse.

- 1) Si la lumière émise est **monochromatique** ; elle subit un phénomène de **déviation** qui a pour effet, en général, de rabattre vers la base du prisme le rayon lumineux émergent.
- 2) Lorsque la lumière est **polychromatique**, chaque famille d'ondes lumineuses qui la composent est déviée en fonction de la valeur de sa **longueur d'onde**, ce qui provoque une **dispersion** de la lumière suivant ses différentes radiations monochromatique



Le spectre de la lumière solaire est un spectre continu, tandis que le spectre de la lumière des émissions atomiques (lampe au mercure, au sodium...etc) est constitué de raies correspondant à des longueurs d'ondes précises.

- **Application :**

- Les prismes sont utilisés pour dévier ou réfléchir la lumière dans différents dispositifs optiques (les jumelles) ; ils sont une alternative aux miroirs.
- Réaliser une anamorphose.
- Spectroscopie : pour analyser un rayonnement visible polychromatique
- Déterminer l'indice de réfraction des substances transparentes.
- Séparer les radiations d'une lumière.
- Réflecteurs : pour Réfléchir la lumière.
- Les prismes sont aussi utilisés en lunetterie pour corriger les anomalies de convergence oculaire (**Phories**) pouvant éventuellement entraîner une diplopie (Vision dédoublée d'un même objet).

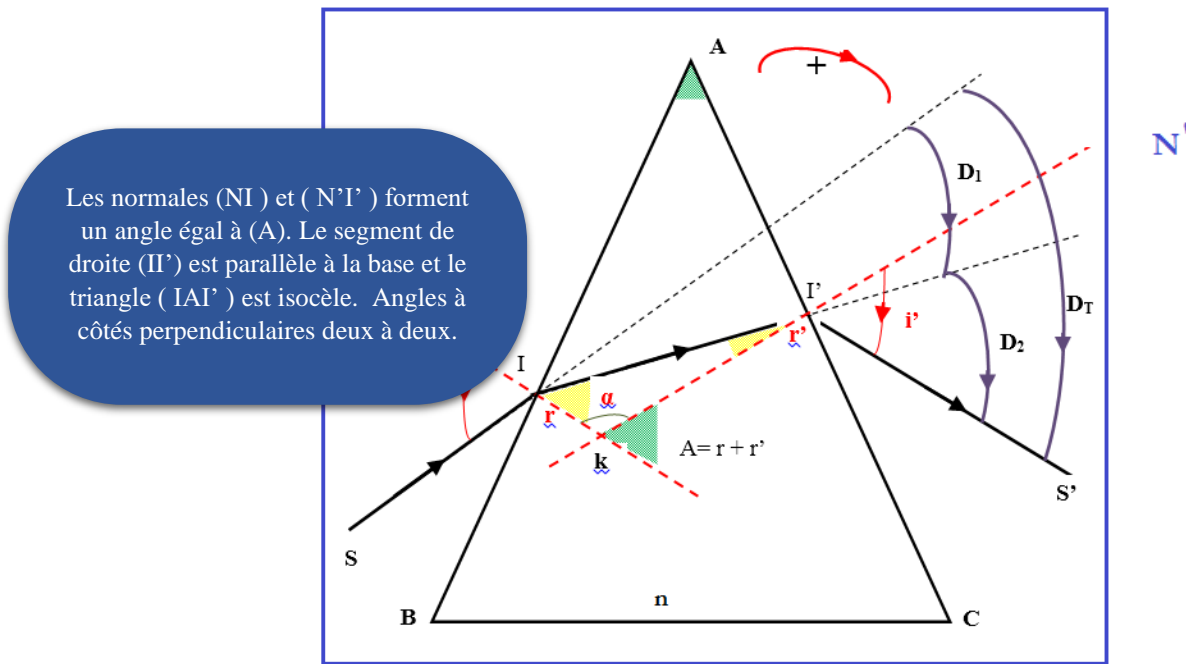
- **Un plus à connaître !**

III. La marche d'un rayon lumineux monochromatique

Considérons un prisme défini par son **angle A** et son indice relatif **$n > 1$** . Plongé dans un milieu d'indice « **$n' < n$** ».

Soit SI un rayon incident quelconque qui frappe en I la face d'entrée AB du prisme ; provenant d'un milieu moins réfringent que celui du prisme, ce rayon subit en I le phénomène de réfraction en respectant les deux lois de Descartes.

On a: $n'. \text{Sin} (i) = n. \text{Sin} (r)$ et $n. \text{Sin} (r') = n'. \text{Sin} (i')$



III.1 Condition d'émergence :

Le rayon lumineux (SI), aborde la face (AB) du prisme et subit une première réfraction en (I) et une deuxième en (I'). Pour qu'il y ait une seconde réfraction il y a **une condition dite « d'émergence »**. C'est-à-dire, il faut que **l'angle d'incidence (r')** soit inférieur à **l'angle limite de réfraction (λ)** :

$$r' \leq \lambda \quad \text{avec} \quad \sin(\lambda) = n' / n$$

Aussi, d'après la loi du retour inverse de la lumière, il faut aussi que le rayon d'incidence (r) soit inférieur à l'angle limite de réfraction (λ). **C'est le même angle limite car on est dans le même prisme.**

$$r \leq \lambda \quad \text{avec} \quad \sin(\lambda) = n' / n$$

$$\begin{array}{l} \text{Donc : } \alpha + r + r' = \pi \\ \text{et } \alpha + A = \pi \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Donc : } \alpha + r + r' = \pi \\ \text{et } \alpha + A = \pi \end{array}} \right\} \rightarrow A = r + r'$$

On détermine alors **la condition d'émergence** :

$$\left. \begin{array}{l} A = r + r' \\ r' \leq \lambda \\ r \leq \lambda \end{array} \right\} \rightarrow A \leq 2\lambda$$

III.2 Déviation

La déviation dans le prisme a pour effet dans le cas général, de rabattre vers la base BC du prisme le rayon lumineux.

L'angle de déviation D est par définition l'angle dont il faut faire tourner le rayon incident SI pour l'amener dans la direction du rayon émergent I'R. Cette déviation est donc la somme de deux déviations successives qui ont lieu dans le même sens, l'une à l'entrée, l'autre à la sortie du prisme.

- **Déviation Totale** : soit D_T la déviation totale

$$\text{On a : } D_T = D_1 + D_2$$

$$D_T = (i - r) + (i' - r')$$

$$D_T = (i + i') - (r + r')$$

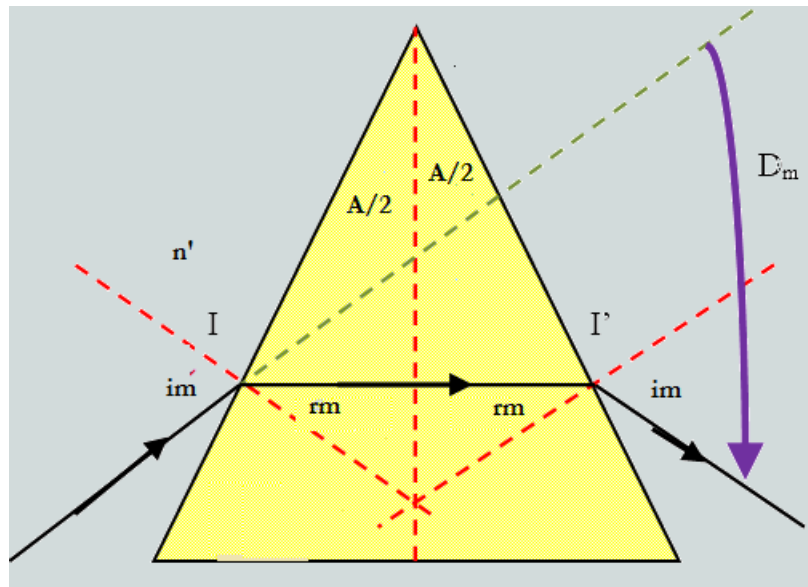
D'où :

$$D_T = (i + i') - A$$

La déviation est **comptée positivement** si, partant de la direction du rayon incident, on le décrit dans le sens rétrograde.

- **Déviation minimale :**

Quand i varie, D varie et passe par un minimum pour une valeur particulière de i , notée D_m .



On a : $i = i' = i_m$

$$D_m = i + i' - A = 2i_m - A \quad \text{et} \quad i_m = (D_m + A) / 2$$

Au minimum de la déviation on a :

$$n' \cdot \sin(i_m) = n \cdot \sin(r) \quad \text{et} \quad n \cdot \sin(r') = n' \cdot \sin(i_m)$$

$$\text{Donc : } n \cdot \sin(r) = n \cdot \sin(r') \quad \text{avec } (r = r' = r_m)$$

$$D_{\min} = 2i_m - A$$

A la déviation minimale (D_m), le trajet du rayon lumineux est **symétrique** par rapport à la **bissectrice** de l'angle (A) du prisme.

La connaissance de (D_m) et (A) permet de déterminer l'indice de réfraction (n) de la substance constituant le prisme, pour la radiation utilisée.

$$n_{\text{prisme}} = n' \cdot \frac{\sin [(D_m + A)/2]}{\sin (A / 2)}$$

On peut dire que le minimum de déviation dépend de l'indice. Celui-ci n'ayant pas la même valeur selon les composantes monochromatiques. On peut utiliser le prisme comme élément dispersif pour faire de la spectroscopie.

III.3 Relation du prisme

Les relations du prisme sont :

- 1) $n' \cdot \sin(i) = n \cdot \sin(r)$
- 2) $n \cdot \sin(r') = n' \cdot \sin(i')$
- 3) $A = r + r'$
- 4) $D_T = i + i' - A$
- 5) La condition d'émergence : $A \leq 2\lambda$

Les relations du prisme à la déviation minimale :

- 1) $i = i' = i_m$
- 2) $r = r' = r_m$
- 3) $r_m = A / 2$
- 4) $D_m = 2.i_m - A$ donc $i_m = (D_m + A) / 2$
- 5) $n = n' \cdot \sin [(D_m + A) / 2] / \sin (A / 2)$

IV Dispersion du prisme

L'indice de réfraction d'une substance transparente, dépend de la longueur d'onde (λ) de la radiation traversant la substance (le prisme). En général, (n) est donné par une loi empirique de la forme

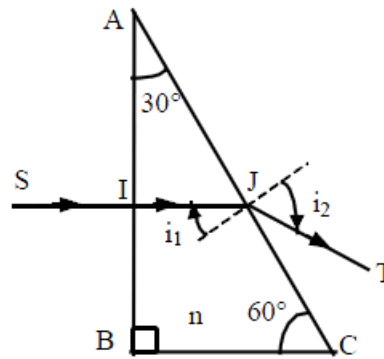
$$n = a + b/\lambda^2 + c/\lambda^4 + \dots$$

Donc, un rayon de lumière blanche qui aborde un prisme, par une face, se disperse en les différentes radiations composant la lumière blanche à sa sortie du fait que la déviation totale (D_m) dépend de la longueur d'onde (λ).

Exercices d'application :

Exercice N°01: un rayon incident normal sur la face AB puis BC d'un prisme droit

a)- Rayon incident normal à la face AB :



En I, on a une incidence normale, le rayon n'est pas réfracté.

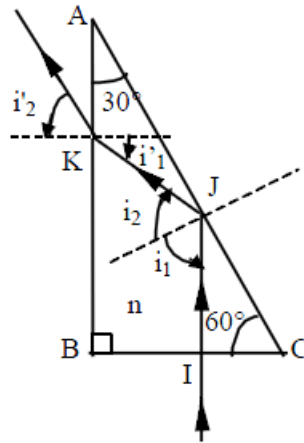
En J : angle d'incidence $i_1 = 30^\circ$

$$\text{d'où : } \sin i_2 = n \sin i_1 = 1,5 \times \frac{1}{2} = 0,75$$

Le rayon émerge par la face AC avec un angle :

$$i_2 = 48,6^\circ$$

b)- Rayon incident normal à la face BC :



En I : incidence normale : le rayon n'est donc pas réfracté.
 En J : angle d'incidence $i_1 = 60^\circ$

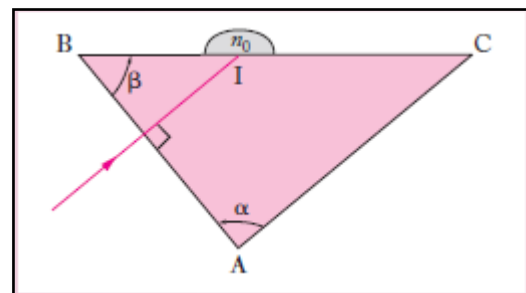
La trajectoire du rayon est indépendante de la face d'attaque même si l'angle est identique

EXERCICE 2 : PRISME ET GOUTTE D'EAU

On considère un prisme en verre ABC d'indice $n = 1,5$ d'angles $\alpha = 90^\circ$ et $\beta = 60^\circ$. Un rayon entre dans le prisme par la face AB en incidence normale et rencontre la face BC en I, où l'on place une goutte d'un liquide transparent d'indice n_0 .

- 1) Trouver la limite de l'indice n_0 du liquide pour qu'il y ait réflexion totale en I.
- 2) Dans ce cas, suivre la marche du rayon qui sort par la face AC et trouver la déviation totale du rayon.

CONSEIL : on peut se laisser guider par les questions.
 On doit d'abord déterminer la condition de réflexion



Solution N°02 :

1. Au point I, il y a réflexion totale du milieu n vers le milieu n_0 :

Snell-Descartes au point I : $n \sin i = n_0 \sin 90^\circ$

Si $i > i_{\text{limite}} \rightarrow (n \sin i) > n_0$. Donc i dans le triangle INB.

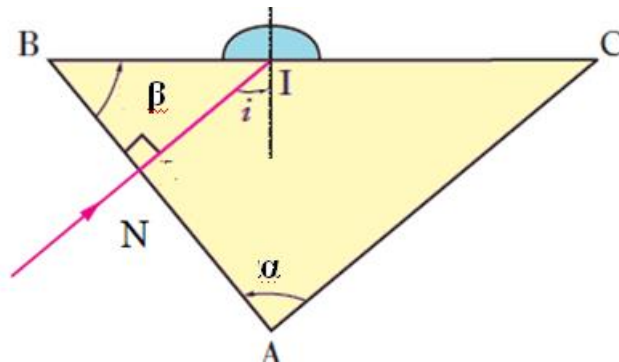
La somme des angles du triangle est égale à π :

$$(\text{NBI}) + (\text{BIN}) + (\text{INB}) = \pi$$

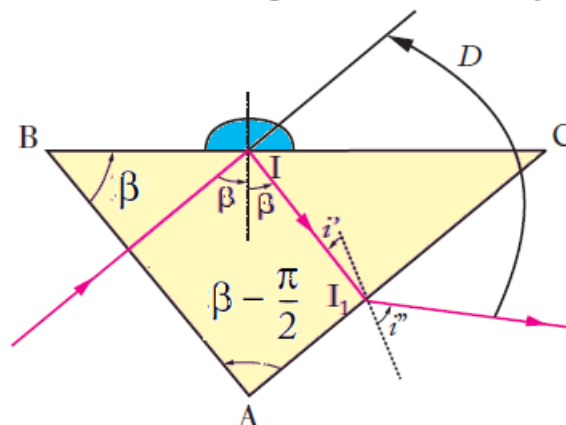
$$\text{Avec } (\text{NBI}) = \beta, \quad (\text{BIN}) = \pi/2 - i \quad \text{et} \quad (\text{INB}) = \pi/2.$$

On en déduit la valeur de i : $i = \beta$

La condition de réflexion totale $n \sin i > n_0$ s'écrit : $n_0 < n \sin \beta = 1.23$



2. Dans le cas de la réflexion totale en I, représentons le trajet du rayon.



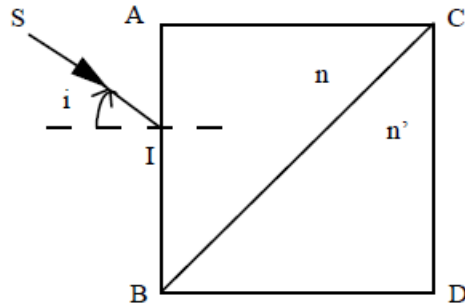
La déviation en I due à la réflexion totale est égale à $\pi - 2\beta$.

La déviation en I1 due à la réfraction est égale à $i' - i'' = 2\beta - \pi/2 - i''$

La déviation totale : $D = \pi/2 - i'' = 41,41^\circ$.

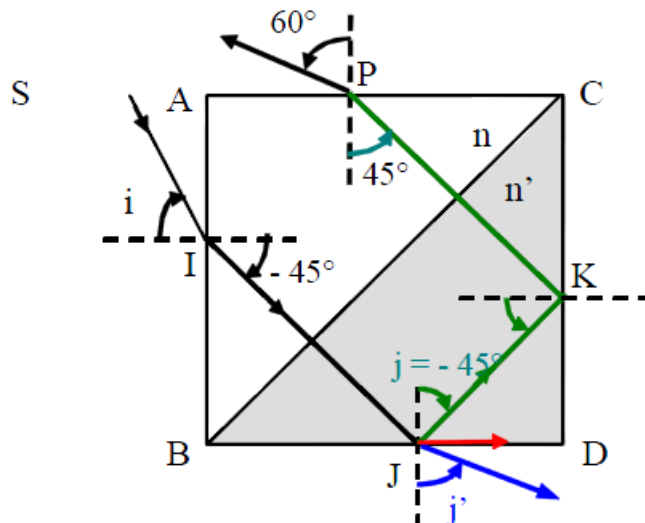
Exercice d'application N°03 : ASSOCIATION DE PRISMES

On accole deux prismes rectangles isocèles comme l'indique la figure. Le prisme ABC est constitué d'un verre d'indice $n = (3/2)^{1/2}$ alors que le prisme DBC a pour indice n' . Un rayon lumineux SI arrive sur la face AB sous une incidence $i = -60^\circ$.



- 1- Tracer la marche du rayon lumineux SI à travers le premier prisme.
- 2- Discuter, selon la valeur de l'indice n' du second prisme, les différents trajets possibles de la lumière.

Solution :



- 1) Au point I :

on a : $\sin i = n \sin i' \Rightarrow i' = -45^\circ$.

Le rayon réfracté est orthogonal à la face BC. Il ne subit aucune déviation lorsqu'il traverse le dioptre BC.

- 2) Le rayon lumineux arrive sur la face BD, en un point J, avec un angle d'incidence donné par : $j = 45^\circ$

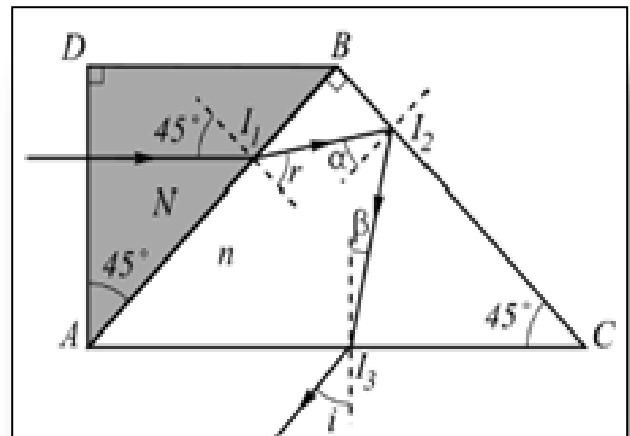
Trois cas sont possibles selon la valeur de n' et de l'angle critique d'incidence λ
 $\lambda = \text{Arc sin}(1/n')$

- 1) Si $|j| < \lambda \Rightarrow \sin j = \frac{\sqrt{2}}{2} < \sin \lambda \Rightarrow n' < \sqrt{2}$: le rayon émerge de la face BD avec un angle d'incidence j' tel que $\sin j' = n' \sin j$
- 2) Si $|j| = \lambda \Rightarrow \sin j = \frac{\sqrt{2}}{2} = \sin \lambda \Rightarrow n' = \sqrt{2}$: le rayon émerge du prisme parallèlement à la face BD
- 3) Si $|j| > \lambda \Rightarrow n' > \sqrt{2}$: il y aura réflexion totale en J. Le rayon arrive en K sur

la face CD où il subit encore une réflexion totale. Il arrive en P sur la face AC avec un angle d'incidence égal à 45° . Il émerge avec un angle de 60° .

EXERCICE 3 : ASSOCIATION DE PRISMES

Deux morceaux de verre taillés sous forme de triangle rectangles et isocèles d'indices respectifs N et n ont leur face AB commune comme illustrée sur la figure 4. Un rayon incident frappe AD sous une incidence normale, se réfracte en I_1 , se réfléchit en I_2 puis ressort en I_3 .



1. Ecrire les équations de SNELL-DESCARTES aux points I_1 et I_3 .
2. Quelles relations vérifient les angles r et α ; α et β ?
3. Quelle relation vérifient N et n pour que la réflexion soit limite en I_2 .
4. Calculer N , r , α et β et i pour $n=3/2$ quand cette condition limite est réalisée. On appelle N_0 cette valeur limite N . pour que la réflexion soit totale en I_2 . N doit-il être plus grand ou plus petit que N_0 ?
5. Ecrire la relation vérifiée par N et n pour que l'angle i soit nul. Que vaut N .

Solution

1. En I_1 : $N \sin 45^\circ = N \frac{\sqrt{2}}{2} = n \sin r$

En I_3 : $n \sin \beta = \sin i$

2. On a la normale à BC et la normale à AB sont perpendiculaires entre elles. Aussi, dans le triangle formé par ces normales « I1I2 », on a

De plus, avec $r + \alpha = \frac{\pi}{2}$ le triangle « I2CI3 », $\alpha + \beta = \frac{\pi}{4}$ on établit :

3. La condition de réflexion avec le phénomène de

Réfraction limite en I₂ s'écrit : $n \sin \alpha = 1$

A partir de toutes ces relations on déduit :

$$N^2 = 2(n^2 - 1)$$

$$N \equiv N_0 = 1,58 \quad r \equiv r_0 = 48,19^\circ$$

$$\alpha = \alpha_0 = 41,81^\circ \quad \beta = 3,19^\circ \quad i = 4,79^\circ$$

Pour que la réflexion soit totale en I₂, il faut que l'angle α soit plus grand que l'angle d'incidence pour la réfraction limite α_0 que l'on vient de calculer (car alors la loi de Snell Descartes pour la réfraction n'est plus vérifiée : $n \sin \alpha > 1$:

Donc : $r < r_0$, et donc $N < N_0$

$$\Rightarrow N < \sqrt{2(n^2 - 1)}$$

Si i est nul, alors β est nul, soit $\alpha = r = \frac{\pi}{4}$,

et donc $\Rightarrow N = n$, soit : $N = n = \frac{3}{2}$



SO _ *Fibre Optique*

B/ FIBRE OPTIQUE

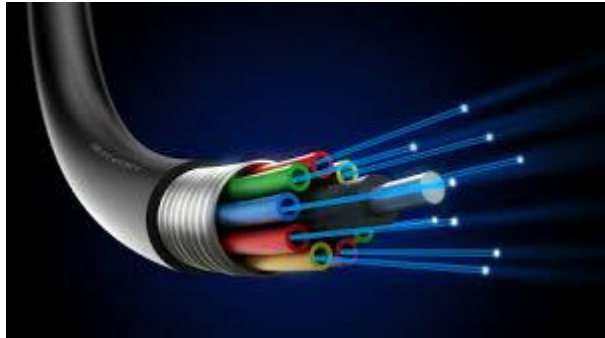
- I. Introduction à la fibre optique**
- II. Caractéristiques de la fibre optique**
- III. Les différents types de fibre**
- IV. Applications de la fibre optique**
- V. Transmission par fibre optique**
- VI. Paramètres de transmission par fibre optique.**



IV. Introduction à la fibre optique

La fibre optique de **la taille d'un cheveu** est l'une des plus grandes avancées technologiques en matière de câblage. Elle a pour but de **transporter de la lumière** dont la source pouvant être soit **un laser**, ou soit une diode électroluminescente (**LED**).

Elle offre une **vitesse de transmission très élevé**, un mode de transmission **faiblement atténué** ainsi qu'une **très grande bande passante** et un **multiplexage de plusieurs signaux** (Fibres multi modes) ; Tout en ayant un **faible poids**, une **petite taille** ainsi qu'une **grande souplesse**.



La première démonstration scientifique du principe de la réflexion totale interne fut faite à Paris par les physiciens français Jean-Daniel COLLADON et Jacques BABINET. L'idée était de courber la trajectoire de la lumière, en guidant la lumière dans un jet d'eau déversé d'un trou à la base d'un réservoir. Ils mirent alors en évidence le principe qui est à la base de la fibre optique.



Fontaine lumineuse

- 1) La première application fructueuse de la fibre optique eut lieu au début des années 1950, avec l'invention du fibroscope flexible par VAN HEEL et HOPKINS qui permettait la transmission d'une image le long de fibres en verre et fut utilisé en endoscopie, pour l'observation de l'intérieur du corps humain.
- 2) En 1970, trois scientifiques de la compagnie Glass Works de New York, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, produisirent la première fibre optique avec des pertes de phase suffisamment faibles pour être utilisée dans les réseaux de télécommunications (20 décibels par kilomètre ; aujourd'hui la fibre conventionnelle affiche des pertes de moins de 0,25 décibel par kilomètre pour la longueur d'onde
- 3) En 1980, une première liaison est établie entre les centres téléphoniques des Tuileries et Philippe Auguste avec un câble comprenant 70 fibres.

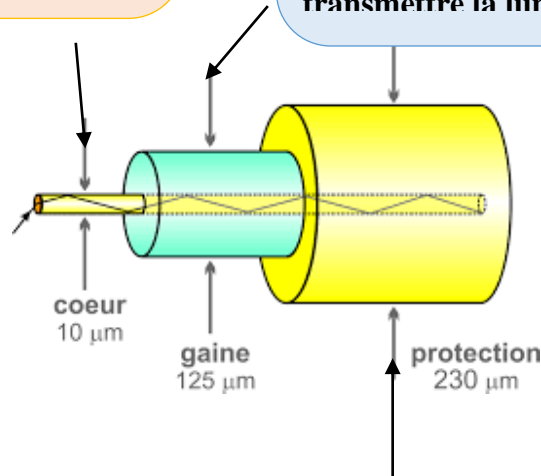
V. Caractéristiques de la fibre optique

II.1 – Définition

La fibre optique est constituée d'un cœur en verre ou en plastique, entouré d'une gaine en verre ou en plastique. Le cœur de la fibre a un indice de réfraction plus élevé que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux milieux (réflexion totale). L'ensemble est généralement recouvert d'une gaine plastique de protection.

Le cœur : Généralement en **silice**, en plastique ou en quartz fondu.
La fibre optique utilisée pour la transmission de l'information numérique possède un cœur de silice très pure, pouvant être "dopé" afin de modifier son indice de réfraction n . C'est à l'intérieur du cœur que va se **propager la lumière** en suivant les **lois de la réfraction**

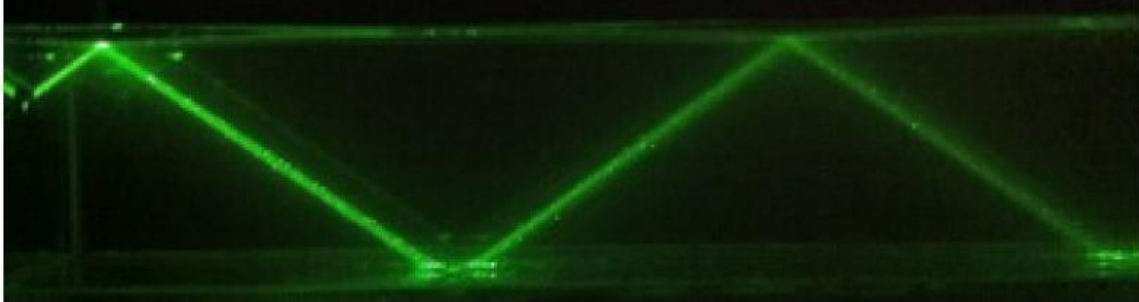
La gaine optique : Constituée dans les **mêmes matériaux que le cœur** qu'elle entoure.
La gaine optique de la fibre utilisée dans les télécommunications est composée de silice. Cependant c'est un **silice de moins bonne qualité**, la gaine optique n'étant **pas destinée à transmettre la lumière**



Le revêtement de protection :
Généralement en **plastique**, il assure la **protection** mécanique de la fibre optique. Il sert également pour la **flexibilité** de la fibre et **facilite sa manipulation**. Cette couche extérieure **n'intervient pas dans la transmission de la lumière**.

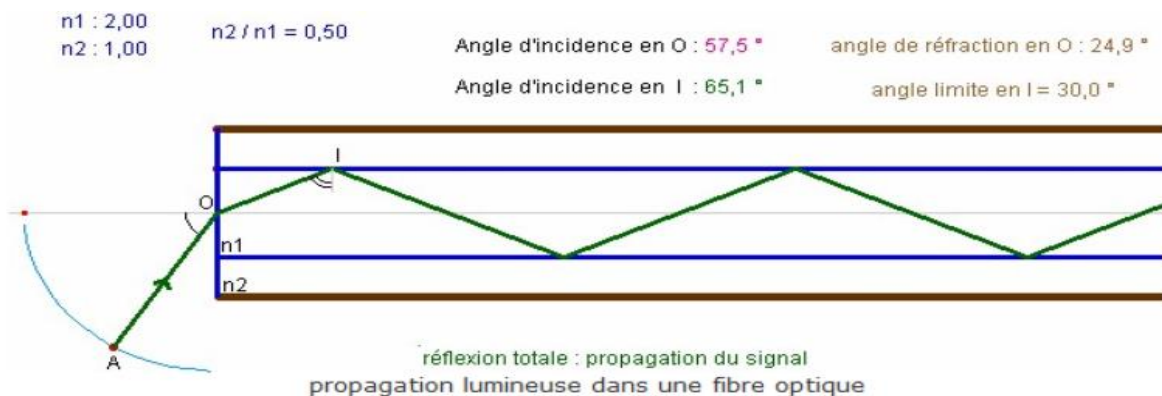
II.2 - Principe de fonctionnement

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfraction/réflexion de la lumière.



Réflexions multiples du laser dans un cylindre en plexiglas®

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique sans perte, en empruntant un parcours en zigzag. La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec très peu de pertes même lorsque la fibre est courbée.



II.3 – Caractéristiques de la fibre optique

Une fibre optique est caractérisée par les paramètres :

- 1) **La différence d'indice normalisé**, qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur (n_c) et la gaine (n_g):

$$\Delta = \frac{n_c - n_g}{n_c}$$

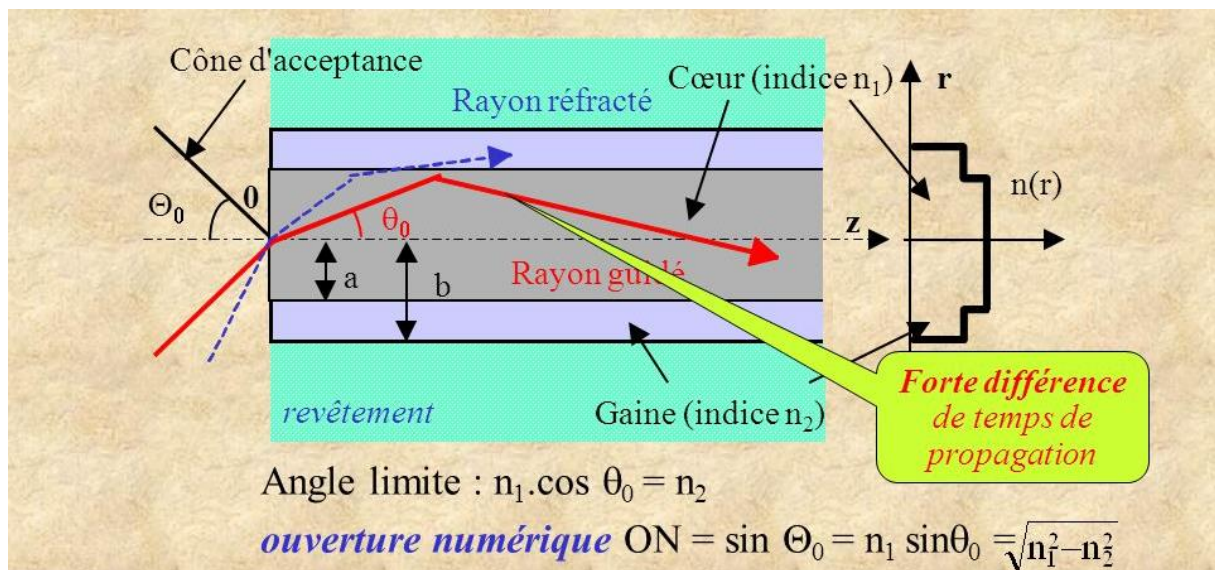
- 2) On a toujours $n_c > n_g$
- 3) **L'ouverture numérique de la fibre (ON)**, qui est concrètement le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre pour que la lumière puisse être guidée sans perte. Cet angle est mesuré par rapport à l'axe de la fibre :

$$ON = \sin \theta_{max} = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

L'ouverture numérique (ON ou NA en anglais) d'une fibre optique est un paramètre important. Une forte ouverture numérique permet de transmettre une grande quantité de lumière, même à partir d'une source assez divergente.

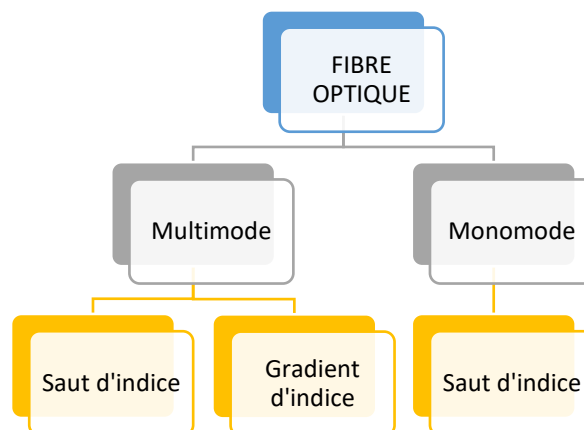
- 4) **Principe de guidage** : Pour qu'un rayon soit guidé dans une fibre, il faut que sa direction à l'entrée se situe dans un cône appelé cône d'acceptance, d'angle au sommet θ_{\max} . Un rayon hors du cône d'acceptance sera réfracté à la surface séparant le cœur de la gaine et quittera la fibre. Il sera alors perdu.

Exemple : $\theta_{\max} = \theta_0$



VI. Les différents types de fibres optiques

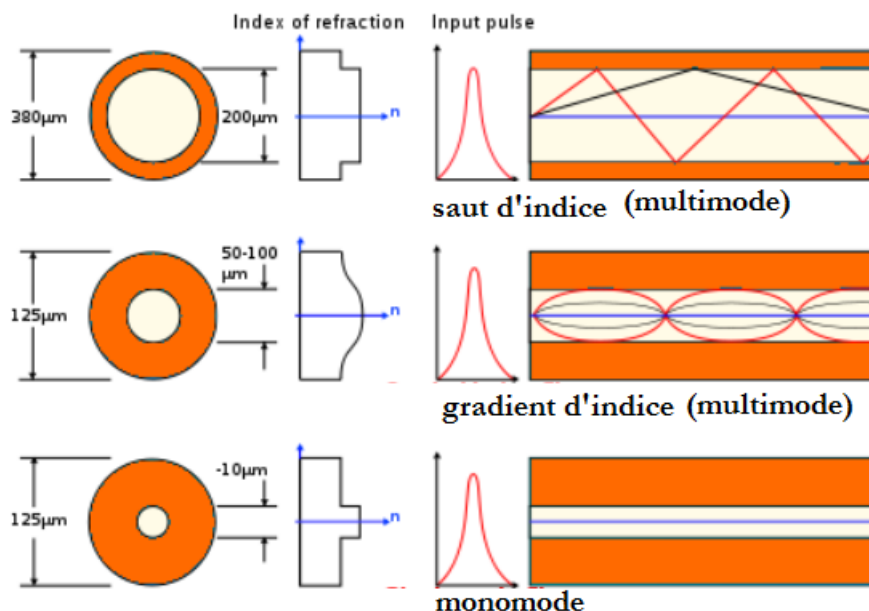
Il existe principalement deux types de fibres optiques : les monomodes et les multimodes.



1) Fibre multimode

Le terme « multimode » signifie que plusieurs modes peuvent être guidés. Un nombre typique pour une fibre à saut d'indice est de 1000 modes (un mode correspond à un faisceau).

- a) **A saut d'indice :** Dans cette fibre, le cœur est homogène et d'indice n_1 . Il est entouré d'une gaine optique d'indice n_2 inférieur à n_1 . La gaine optique, elle joue un rôle actif dans la propagation, et ne doit pas être confondue avec le revêtement de protection déposés sur la fibre. Le rayon est guidé par la réflexion totale au niveau de l'interface cœur-gaine.
- b) **A gradient d'indice :** Leur cœur, contrairement aux fibres à saut d'indice, n'est pas homogène. Leur cœur est constitué de plusieurs couches de verres dont l'indice de réfraction est différent à chaque couche et l'indice de réfraction diminue de l'axe jusqu'à la gaine. Le guidage est dû à l'effet du gradient d'indice. Les rayons suivent une trajectoire d'allure sinusoïdale.



Dans une fibre multimode, la plupart des rayons sont hélicoïdaux.

- A chaque inclinaison θ correspond un groupe de rayons auquel on peut associer un mode.
- Chaque mode est caractérisé par sa vitesse de phase V_p liée à l'angle θ par :

$$V_p = \frac{c}{n_c \cos(\theta)}$$

2) Fibre monomode

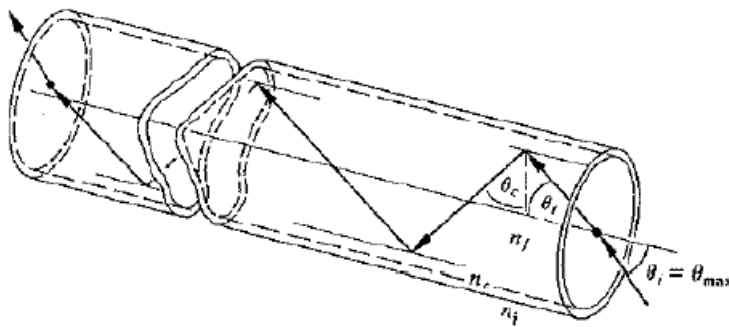
Les fibres monomodes sont actuellement « le top » des fibres.

Le diamètre du cœur est d'environ **10µm**. Alors les rayons lumineux suivent un seul chemin, et se propagent en **ligne droite pratiquement**.

2) Comparaison entre les différentes structures de FO.

Structures	Avantages	Inconvénients
Multimode à saut d'indice	- Faible prix - Facilité de mise en œuvre	Perte et distorsion importante du signal
Multimode à gradient d'indice	- Bande passante raisonnable - Bonne qualité de transmission	Difficile à mettre en œuvre
Monomode	- Très grande bande passante - Aucune distorsion	Prix très élevé

4) Chemin optique et nombre de réflexions



Si la fibre a longueur L et diamètre du cœur D , le chemin optique d'un rayon méridional (coplanaire à l'axe optique) est :

$$\ell = \frac{L}{\cos \theta_t} = \frac{L}{\sin \theta_c} = \frac{L}{n_g / n_c} = \frac{L n_c}{n_g}$$

Le nombre de réflexions est donné par:

$$N = \frac{\ell \cdot \sin \theta_t}{D} \pm 1$$

5) Retard

Posons $\Delta t = t_{\max} - t_{\min}$

Le temps de retard à l'arrivée entre le rayon le plus rapide (axial) et le rayon le plus lent (le plus incliné).

Le calcul de t_{\min} revient simplement à diviser la longueur de la fibre L par la vitesse de la lumière dans le matériau. On a alors :

$$t_{\min} = \frac{L}{v_c} = \frac{L}{c / n_c} = \frac{L n_c}{c}$$

La longueur du chemin ℓ non axial est maximale quand le rayon est orienté suivant l'angle critique.

Rappelons qu'on avait pour ℓ :

$$\ell = \frac{L n_c}{n_g}$$

Et donc:

$$t_{\max} = \frac{\ell}{v_c} = \frac{L n_c / n_g}{c / n_c} = \frac{L n_c^2}{c n_g}$$

$$\Delta t_{im} = t_{\max} - t_{\min} = \frac{L n_c^2}{c n_g} - \frac{L n_c}{c} = \frac{L n_c}{c} \left(\frac{n_c}{n_g} - 1 \right)$$

VII. Application de la fibre optique

Les domaines scientifiques concernés par les fibres optiques sont nombreux : l'électromagnétisme et l'optique qui décrivent la propagation des ondes (guides d'onde), la physique de la matière condensée et des verres qui constituent le milieu de propagation de la lumière dans les fibres optiques, la physique quantique qui permet de comprendre le fonctionnement des atomes et de leurs niveaux énergétiques. La fibre optique est utilisée dans le domaine de la médecine, dans les appareils de détection, l'éclairage et en télécommunications. La fibre optique intervient dans plusieurs domaines tels que :

- L'audiovisuel, pour la réalisation des réseaux câblés de télévision.
- La médecine en endoscopie pour éclairer l'intérieur du corps et transmettre les images jusqu'au médecin.
- La décoration/illumination de piscines, bassins, fontaines.
- La signalétique d'orientation et d'information (panneaux de signalisation et enseignes).
- La signalisation routière (ronds-points, séparation de voies de circulation)
- **Transmission de l'information numérique** par fibre optique...

VIII. Transmission par fibre optique

1) **Avantages** : La fibre optique est un câblage possédant de nombreux avantages :

- Légèreté
- Immunité au bruit
- Faible atténuation
- Tolère des débits de l'ordre de 100 Mbps
- Largeur de bande de quelques dizaines de mégahertz à plusieurs gigahertz

Toutefois, malgré sa flexibilité mécanique, ce type de câble ne convient pas pour des connexions dans un réseau local car son installation est problématique et son coût élevé. C'est la raison pour laquelle on lui préférera les câbles ADSL pour de petites liaisons.

2) **Système de transmission** : Tout système de transmission d'information possède un émetteur et un récepteur. Pour un lien optique, deux fibres sont nécessaires. L'une gère l'**émission**, l'autre la **réception**.

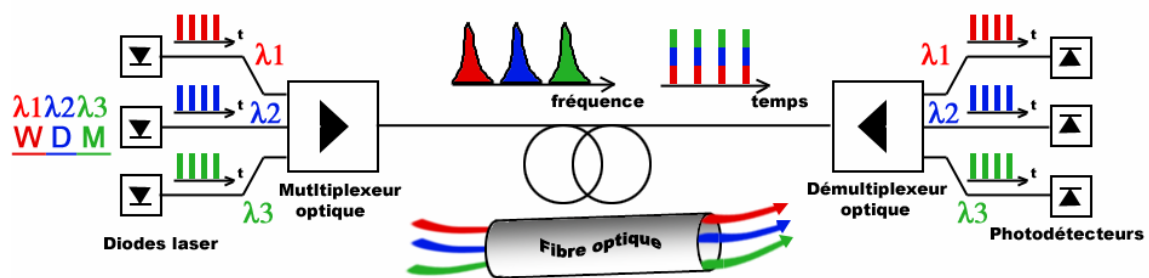
Le transpondeur optique a pour fonction de convertir des impulsions électriques en signaux optiques véhiculés au cœur de la fibre. A l'intérieur des deux transpondeurs partenaires, les signaux électriques sont traduits en impulsions optiques par une LED et lus par un **phototransistor** ou **une photodiode**.

Les émetteurs utilisés sont de trois types :

- Les LED (diode électroluminescente) qui fonctionnent dans le rouge visible (850 nm),
- Les lasers, utilisés pour la fibre monomode, dont la longueur d'onde est 1300 ou 1550 nm,
- Les diodes à infrarouge qui émettent dans l'infrarouge à 1300 nm.

Les récepteurs sont :

- Les photodiodes PIN, les plus utilisées car elles sont peu coûteuses et simples à utiliser avec une performance satisfaisante,
- Les photodiodes à avalanche.



V.1 Paramètres de transmission par fibre optique

Les principaux paramètres qui caractérisent les fibres optiques utilisées pour les transmissions sont les suivants :

1) Atténuation

Soient P_0 et P_L les puissances (dès fois noté Φ) à l'entrée et à la sortie d'une fibre de longueur L . L'atténuation linéaire se traduit alors par une décroissance exponentielle de la puissance en fonction de la longueur de fibre :

$$P_L = P_0 e^{-\alpha L}$$

Où α est le coefficient d'atténuation linéaire.

On utilise souvent le coefficient α_{dB} exprimé en dB/km et relié à α par $\alpha_{dB} = 20 \log_{10} \alpha$.

Le principal atout des fibres optiques est une atténuation extrêmement faible. L'atténuation va varier suivant la longueur d'onde. De nos jours, la maîtrise des procédés de fabrication permet d'atteindre couramment une atténuation aussi faible que 0,2 dB/km.

2) Dispersion chromatique

Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion propre au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Pour une fibre en silice, le minimum de dispersion se situe vers 1300-1310 nm.

3) Non-linéarité

Un canal de transmission est dit non linéaire lorsque sa fonction de transfert dépend du signal d'entrée.

4) Dispersion modale de polarisation (PMD)

La dispersion modale de polarisation (PMD) est exprimée en ps/km^{1/2} et caractérise l'étalement du signal. Ce phénomène est dû à des défauts dans la géométrie des fibres optiques qui entraînent une différence de vitesse de groupe entre les modes se propageant sur différents axes de polarisation de la fibre.

5) Longueur d'onde de coupure et fréquence normalisée

La longueur d'onde de coupure est la longueur d'onde λ_c en dessous de laquelle la fibre n'est plus monomode. Ce paramètre est relié à la fréquence normalisée, noté V , qui dépend de la longueur d'onde λ , du rayon de cœur a de la fibre et des indices du cœur n_c et de la gaine n_g . La fréquence normalisée est exprimée par :

$$V = (2\pi a \sqrt{n_c^2 - n_g^2}) / \lambda$$