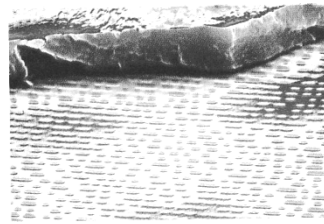


I- Etude d'un cd audio

Le cd audio (disque compact) est apparu dans les années 80 sur un brevet conjoint Philips et Sony. Lors d'un enregistrement les vibrations sonores sont captées par un microphone et transformées en une tension électrique. Le signal est échantillonné avec une fréquence  $f_e = 44,1 \text{ kHz}$ , quantifié puis numérisé. Il est codé afin de réduire les erreurs de lecture avant d'être pressé sur un support.

Le brevet de Philips prévoyait à l'origine une durée de 60 min d'enregistrement mais à la demande de Sony, la durée fut augmentée afin de faire tenir la neuvième symphonie de Beethoven sur un seul disque : la durée maximale est finalement portée à 74 min. La quantification du signal était elle prévue pour 14 bits et fut portée à 16 bits.

« Un CD préenregistré est une galette d'environ 12 cm de diamètre. Observé au microscope la couche métallique qui se trouve sous la surface en polycarbonate (un plastique) présente une succession de creux (les pits) dans une plaine (le land) qui contiennent l'information tout au long d'une piste. Comment transformer les pits et les lands en 1 et 0 ? En détectant le passage de l'un à l'autre ! Pour cela, un faisceau laser de longueur d'onde 780 nm est focalisé sur la couche métallique en une tache de  $1,7 \mu\text{m}$  de diamètre environ de la lumière réfléchi par la couche métallique est collectée par une photodiode. La différence de hauteur entre un pit et un land est ajustée à  $125 \text{ nm}$  pour que le déphasage entre le faisceau réfléchi par l'un et par l'autre soit égal à  $\pi$ . Donc, lorsque le faisceau est à cheval sur un land et un pit,

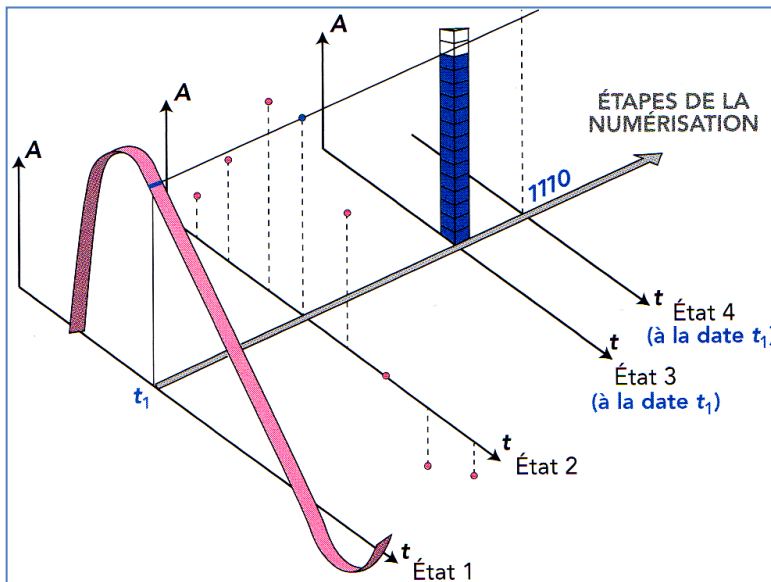


Pistes d'un CD. En haut, la couche de plastique qui les recouvre normalement.

il y a interférence destructrice entre les deux moitiés du faisceau et l'intensité lumineuse est minimale. C'est grâce à la variation d'intensité lumineuse que l'on parvient à détecter le passage du faisceau entre pits et land. Une étape supplémentaire que nous ne détaillerons pas est nécessaire pour retrouver le code binaire original à partir de cette modulation d'intensité.

Comment augmenter la capacité de stockage ? La tache du faisceau laser sur la surface métallique est une tache de diffraction dont le diamètre est proportionnel à la longueur d'onde. Celle des lecteurs Blu-ray est de  $405 \text{ nm}$ , faisant passer la capacité du disque à  $25 \text{ Go}$  alors qu'elle était de  $700 \text{ Mo}$  pour le CD. >>>

D'après C. Ray et J.-C. Poizat, La physique par les objets quotidiens, Belin, 2007.



A- Etude de l'échantillonnage et la numérisation

1°) Identifier la nature numérique ou analogique des signaux correspondant aux états 1 et 2.

2°) Que représente la durée séparant deux points consécutifs du signal de l'état 2 ?

3°) Nommer :  
 - le passage de l'état 1 à 2 ;  
 - le passage de l'état 2 à 3 ;  
 - le passage de l'état 3 à 4 ;

4°) Quel langage est utilisé pour coder cette information numérique ?

5°) Pour approcher au mieux ce signal, comment faut-il choisir la fréquence d'échantillonnage ? Quelle conséquence cela a-t-elle sur la taille du fichier ?

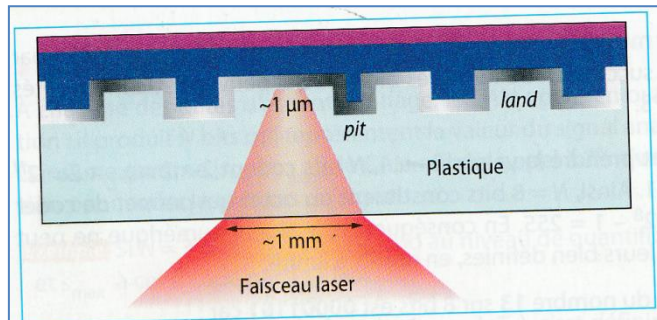
6°) Quelle est la fréquence d'échantillonnage d'un CD audio ? La comparer avec la fréquence maximale d'un son audible.

7°) Si le signal est compris entre  $-2\text{V}$  et  $2\text{V}$ , quelle gamme de calibrage faut-il choisir parmi  $[-1,+1]$  ;  $[-5,+5]$  ;  $[10,+10]$  ? Quel est le nombre correspondant de valeurs permises lors de la quantification du signal ?

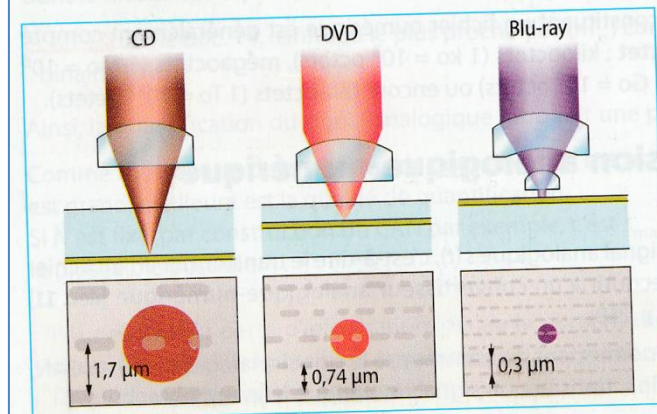
8°) Comment augmenter la qualité de la conversion analogique numérique ?

9°) Sachant que la stéréo enregistre deux échantillons sonores simultanément, montrer que la capacité mémoire d'un tel disque optique est voisine de  $780 \text{ Mo}$  (Méga octet) et qu'un octet comporte 8 bits.

10°) D'après l'énoncé : "La quantification du signal était elle prévue pour 14 bits, mais fut portée à 16 bits". Quels sont les avantages et les inconvénients de quantifier à 16 bits au lieu de 14 ?



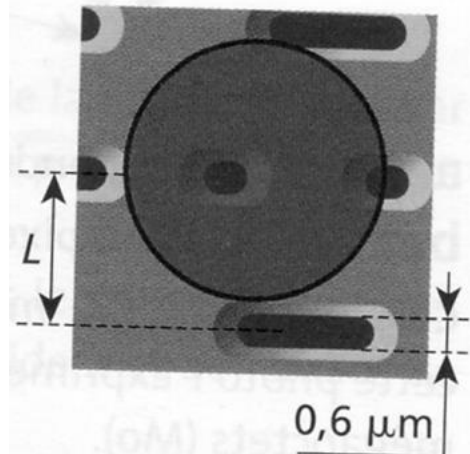
Focalisation du faisceau sur la couche métallique du CD.



En diminuant la longueur d'onde du laser, du CD ( $780 \text{ nm}$ ) au Blu-ray ( $405 \text{ nm}$ ), on réduit la taille de la tache de diffraction. En gris clair, le land ; en gris foncé, les pits ; en couleur, la tache de diffraction du laser.

11°) Un laser part d'un *land* et rencontre le long de la piste une succession de *pits* et de *lands* codée par la séquence 0100101. De quelle succession de *pits* et de *lands* s'agit-il ? Donner l'évolution temporelle du signal électrique produit par la photodiode.

### B- Etude du système de focalisation



Les données sont inscrites par pressage de la partie métallique du disque ou sont pressés des renforcements appelés "creux", les parties non enfoncées étant appelées plats. Le laser est réfléchi sur l'autre face de cette couche.

Creux et plats se succèdent sur cette piste disposée en spirale à partir de son centre.

L'épaisseur du faisceau laser focalisé par une lentille convergente détermine les longueurs maximales des creux et la distance minimale entre deux positions successives de la piste de lecture. Le diamètre minimum de la tache formée par le laser sur le disque est de  $2,11 \mu\text{m}$ .

1°) Les capacités de focalisation des lentilles utilisées limitent la finesse de la taille du faisceau laser frappant un disque.

Citer un autre phénomène optique à l'origine de la limitation de la taille du

faisceau. Préciser quels en sont les paramètres.

2°) Dans des technologies récentes, sur quelles grandeur physique a-t-on joué pour en réduire l'influence ?

3°) A l'aide des données et de la figure, montrer que la distance  $L$  minimale entre les centres de deux passages successifs de la piste vaut  $1,4 \mu\text{m}$ .

4°) Pour plus de sûreté de lecture, la distance  $L$  pour le cd audio de 74 minutes est en réalité  $1,6 \mu\text{m}$ .

Il existe des cd audio de 80 minutes qui ont une distance  $L$  de  $1,5 \mu\text{m}$ . Expliquer pourquoi la durée est alors plus grande.

### C- Le système de lecture interférentielle

Lors de la lecture d'un creux, le spot rencontre à la fois le creux et le plat autour. Une partie du faisceau est réfléchi sur le creux et l'autre est réfléchi dans le plat.

La longueur d'onde du laser dans le vide est  $\lambda = 780 \text{ nm}$ .

Le milieu dans lequel se propage la lumière du laser dans le disque est du polycarbonate dont l'indice de réfraction est  $n = 1,55$ .

La célérité de la lumière dans le polycarbonate est  $v = \frac{c}{n}$ , où  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  est la célérité de la lumière dans le vide.

1°) Dans quel domaine se situe ce rayonnement de longueur d'onde  $\lambda = 780 \text{ nm}$  ?

2°) Montrer que la longueur d'onde  $\lambda_p$  dans le polycarbonate s'écrit  $\lambda_p = \frac{\lambda}{n}$ .

3°) En rappelant que pour que la superposition de l'onde réfléchi sur le plat et l'onde réfléchi sur le creux soit destructive, il faut que la plus petite différence de marche entre les deux ondes soit égale à  $\frac{\lambda_p}{2}$ . Exprimer puis calculer la profondeur d'un creux dans le polycarbonate.

## II- Transmission de l'information

**Document 1** : Le très haut débit pour tous les Bretons d'ici à 2030

La Bretagne prend de l'avance sur le très haut débit. Elle est, avec la région Auvergne, la seule à avoir anticipé le maillage en fibre optique de l'intégralité de son territoire. D'ici à 2030, tous les foyers bretons auront accès à cette technologie qui augmente considérablement le débit des connexions Internet. De 1 à 20 mégabits par seconde, il passera à 100 mégabits par seconde, et dans toute la région !

Au cœur de cette petite révolution : l'installation de la fibre optique. Télévision haute définition, téléphone, Internet, photographies et vidéos transiteront désormais grâce à cette fibre optique très rapide... Un opérateur privé installera la fibre optique dans les principales agglomérations bretonnes, couvrant 40% des foyers en 2020... Coût global pour les institutions : 1,8 milliard d'euros.

D'après Bretagne ensemble, Juin 2012

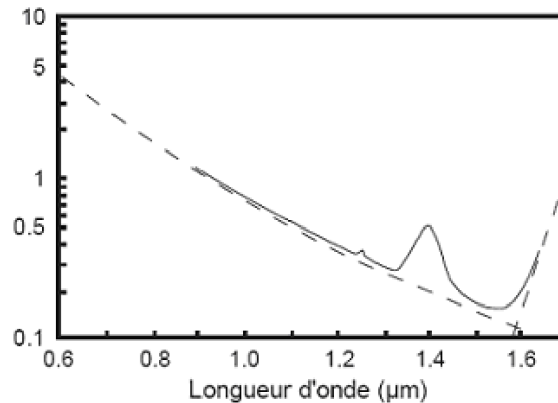
**Document 2 : Atténuation linéique d'un signal**

L'atténuation linéique  $\alpha$ , correspondant à la diminution de la puissance du signal par kilomètre et exprimée en dB/km, est définie par :  $\alpha = \frac{10}{L} \log \frac{P_e}{P_s}$

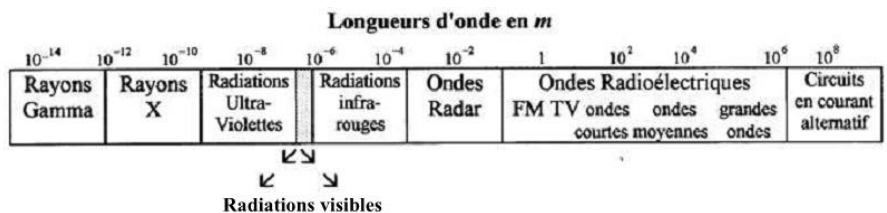
Avec :  $P_e$ , la puissance du signal à l'entrée du dispositif de transmission  
 $P_s$ , la puissance du signal à sa sortie  
 $L$ , la distance parcourue par le signal en km.

**Document 3 : Atténuation spectrale d'une fibre optique en silice**

$\alpha$  atténuation linéique (en dB/km)



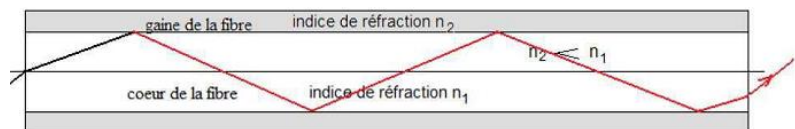
**Document 4 : Domaines du spectre électromagnétique**



**Document 5 : Comparaison entre une fibre optique et un fil de cuivre**

| Fibre optique   | Fil de cuivre   |
|---|---|
| Sensibilité nulle aux ondes électromagnétiques                                      | Grande sensibilité aux ondes électromagnétiques                                   |
| Faible atténuation du signal : 0,2 dB/km  | Forte atténuation du signal : 10 dB/km  |
| Réseau faiblement implanté géographiquement   | Réseau fortement implanté géographiquement  |
| Grande largeur de bande : grande quantité d'informations transportées simultanément | Largeur de bande limitée : la quantité d'informations transmises est très limitée |

**Document 6 : Description d'une fibre optique**

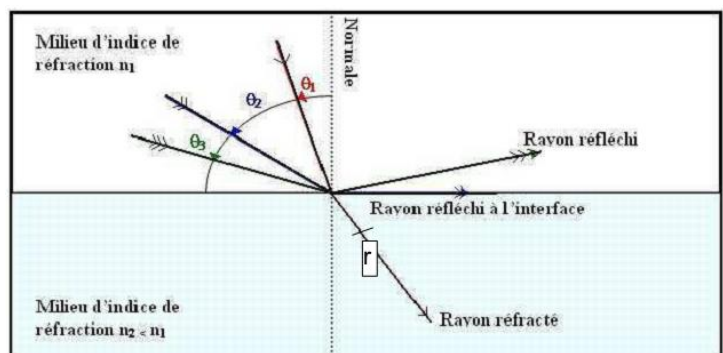


**Document 7 : Réflexion totale :**

Loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin \theta = n_2 \sin r.$$

Lorsque l'angle d'incidence  $\theta$  est supérieur à l'angle limite  $\theta_2$ , le rayon lumineux incident est réfléchi (cas observé pour l'angle  $\theta_3$ ), on a  $\sin \theta_2 = n_2 / n_1$ .



Le déploiement du très haut débit pour tous constitue l'un des plus grands chantiers d'infrastructure pour notre pays au cours des prochaines années. Ses enjeux techniques, économiques et sociaux sont considérables.

### 1. Procédés physiques de transmission d'informations

À l'aide des documents et des connaissances nécessaires, rédiger en 20 lignes maximum, une synthèse argumentée répondant à la problématique suivante :

« La fibre optique est-elle synonyme d'avenir incontournable pour la transmission d'informations ? »

Pour cela, citer trois types de support de transmission de l'information. Décrire le principe de fonctionnement d'une fibre optique. Préciser ensuite les enjeux pour le déploiement de nouveaux réseaux de transmission d'informations par fibre optique en soulignant les points forts et les points faibles de ce mode de transmission.

Répondre enfin à la question posée.

### 2. Analyse de la qualité d'une transmission

L'atténuation de puissance subie par le signal transmis caractérise la qualité de la transmission.

2.1. À l'aide des documents, déterminer quel est le domaine du spectre électromagnétique à utiliser pour obtenir une transmission d'atténuation minimale avec une fibre optique en silice.

2.2. On suppose que le signal est à nouveau amplifié dès que sa puissance devient inférieure à 1% de sa puissance initiale.

2.2.1. En utilisant le document 2, montrer que l'atténuation du signal, calculée par le produit  $\alpha \times L$ , est égale à 20 dB à l'instant où le signal est réamplifié.

2.2.2. Combien d'amplificateurs sont-ils nécessaires pour une liaison Rennes-Strasbourg (environ 900 km) dans le cas d'une liaison par fibre optique, puis dans le cas d'une liaison par câble électrique ? Conclure.

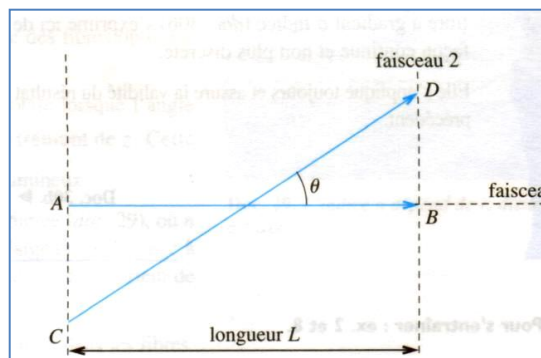
3. **Débit binaire.** Une impulsion lumineuse de courte durée envoyée dans la fibre subit un élargissement temporel lorsqu'elle ressortira de celle-ci. Ceci limite rapidement le taux maximal de transfert d'informations à grandes distances par ce type de fibre.

1°) Quelle doit être la valeur de  $n_2$  pour avoir  $\theta_{\text{lim}} = 70^\circ$  ?

2°) a- Exprimer en fonction de  $L$ ,  $n_1$ ,  $c$ , et  $\theta$ , les durées de propagation  $t_1$  et  $t_2$  des deux rayons lumineux dans la fibre, l'un étant parallèle à l'axe de la fibre, l'autre incliné de l'angle  $\theta$  par rapport à ce même axe.

b- Application numérique : calculer la différence de temps  $\Delta t$  mis par les deux rayons précédents.  $L = 1,0$  m puis  $L = 10$  km.  $\theta = 20^\circ$ .

c- Quelle quantité d'informations peut transférer une telle fibre en une seconde ?



Feuille d'exercice 2: les ondes comme porteuses d'information : deuxième partie.

E) Etude d'un CD audio.

1) Le microphone est un transducteur qui transforme un signal sonore en un signal électrique de même forme. Le signal 1 est un signal continu analogique.

Le signal 2 varie de façon discrète: c'est un signal numérique.

2) L'échantillonneur prélève à intervalle de temps régulier une valeur du signal: la période d'échantillonnage  $T_e = \frac{1}{f_e} \rightarrow$  fréquence d'échantillonnage.

3) Etat 1  $\rightarrow$  2 : échantillonnage  
 2  $\rightarrow$  3 : quantification (on affecte à la valeur prélevée une valeur parmi celles permises pour les  $2^n$  permises ( $n =$  nombre de bits))

4) 3  $\rightarrow$  4 : codage en langage binaire.

5) Pour approcher au mieux le résultat, il faut augmenter la fréquence d'échantillonnage  $\Rightarrow$  plus de prélèvements, donc un fichier plus lourd.

6)  $f_a = 44,1 \text{ kHz}$ . } Un son très aigu est enregistré à raison de  
 $f_{\text{son, max}} = 20 \text{ kHz}$ . } 2 mesures par période.

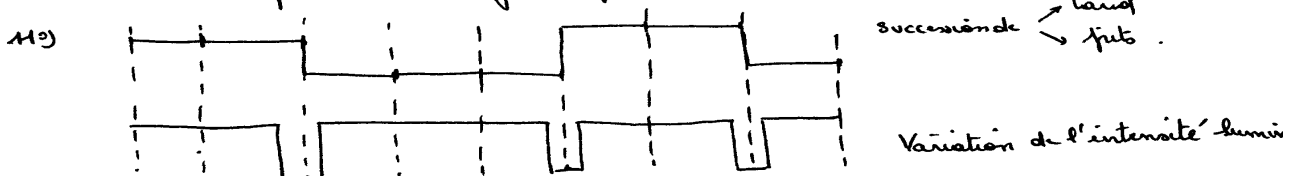
7) Pour  $-2V < U < +2V$ , le calibre le mieux adapté est  $[-5V, +5V]$ .  
 La quantification du signal est portée à 16 bits  $\Rightarrow 2^{16}$  valeurs possibles.  
 ( $= 6,5 \cdot 10^4$ )

$\frac{10V}{2^{16}} = 1,5 \cdot 10^{-4} V = 0,15 \text{ mV}$  est l'intervalle de valeurs à qui sont affectées la même valeur et le même codage.

8) Qualité augmente si  $n \uparrow$  (des pas plus petits)  
 $f_e \uparrow$

9) 16 bits par mesure  $\rightarrow$  Capacité =  $\frac{2}{(\text{stéréo})} \times 44,1 \cdot 10^3 \times 16 \times 74 \times 60 = \frac{6,2 \cdot 10^9}{(\text{mesures par seconde}) (\text{Durée})}$   
 $= 783 \text{ Mo}$ .

10) Meilleure qualité mais fichier plus lourd.

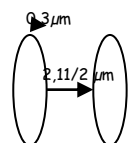


## B- Etude du système de focalisation

1°) La finesse du faisceau est limitée par le phénomène de diffraction. Il est d'autant plus important que le rapport de la dimension du diaphragme par la longueur d'onde est petite.

2°) Pour augmenter la finesse du faisceau, on a diminué la valeur de la longueur d'onde (ex : le blu ray utilise des rayonnement dans le bleu).

3°) L'épaisseur  $L$  du faisceau laser ... détermine les longueurs maximales des creux et la distance minimale entre deux positions successives de la piste de lecture. Le diamètre de la tâche  $2L = 2,11 \mu\text{m}$ . D'où la distance minimale entre deux centres  $2,11/2 + 0,6/2 = 1,4 \mu\text{m}$



4°)  $L$  étant plus petite, le nombre de d'échantillonnage augmente.

## C- Le système de lecture interférentielle

1°) 780 nm est un rayonnement du domaine du visible proche infrarouge.

2°)  $v = c/n \Rightarrow v/v = c/nv \Rightarrow \lambda_p = \frac{\lambda}{n}$ . (La fréquence  $\nu$  n'est pas modifiée en changeant de milieu).

3°) La différence de marche entre les deux rayons réfléchis l'un sur un creux l'autre sur un plat, est  $2e$ .

Pour une superposition destructive,  $2e = \lambda_p/2 = \frac{\lambda}{2n} = d'où e = \frac{\lambda}{4n} = 126 \text{ nm}$

## II- Procédé physique de transmission d'informations

1°) La transmission de l'information peut se faire par voie aérienne, par câble électrique (fil de cuivre) et par fibre optique (doc.5).

Dans une fibre optique, la lumière se propage grâce à une succession de réflexions totales entre le cœur et la gaine. Pour cela, l'indice de réfraction  $n_1$  du cœur de la fibre doit être supérieur à l'indice  $n_2$  de la gaine et l'angle

d'incidence  $\theta$  de la lumière doit être supérieur à l'angle d'incidence limite  $\theta_{lim}$  tel que  $\sin(\theta_{lim}) = \frac{n_2}{n_1}$ . (doc.6 & 7).

La transmission d'informations par fibre optique présente de nombreux avantages par rapport à la transmission par câble électrique : insensibilité du signal transmis aux perturbations extérieures, faible atténuation du signal et grande largeur de bande permettant un grand débit d'informations (doc 5).

En revanche, contrairement au réseau électrique, la pose d'un réseau de fibres optiques génère des coûts d'installation importants et son implantation ne couvre pas aujourd'hui tout le territoire national (doc. 1 & 5).

Ainsi, malgré ses nombreux avantages, la fibre optique ne constitue pas l'unique solution d'avenir pour la transmission des informations.

Animation sur la fibre optique :

[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)

### Points clés :

Trois types de support de transmission de l'information : le fil de cuivre, la fibre optique et les transmissions hertziennes.

Principe de fonctionnement d'une fibre optique : indice de réfraction plus faible dans la gaine que dans le cœur, réflexion totale.

Les points forts : sensibilité nulle aux interférences, faible atténuation du signal, pas d'échauffement, grande largeur de bande.

Les points faibles : coût important, faible implantation géographique.

Conclusion : pas de solution unique, pas de solution pérenne.

## 2°) Analyse de la qualité d'une transmission

2.1 D'après le document 3, l'atténuation linéique d'une fibre optique en silice est minimale pour une longueur d'onde voisine de  $1,5 \mu\text{m}$  soit  $1,5 \times 10^{-6}$  m.

Le document 4 indique que cette longueur d'onde appartient au domaine des radiations infrarouges compris entre  $10^{-6}$  et  $10^{-4}$  m.

2.2.1 D'après le document 2 :  $\alpha = \frac{10}{L} \cdot \log\left(\frac{P_e}{P_s}\right)$  donc  $\alpha \times L = 10 \cdot \log\left(\frac{P_e}{P_s}\right)$ .

Si le signal est amplifié dès que sa puissance devient inférieure à 1 % de sa puissance initiale alors :  $P_s = \frac{1}{100} \cdot P_e$

soit  $\frac{P_e}{P_s} = 100$ . Donc :  $\alpha \times L = 10 \cdot \log(100) = 10 \times 2 = 20$  dB.

2.2.2. Le document 5 indique que l'atténuation linéique est de 0,2 dB/km.

Une atténuation de 20 dB est obtenue pour une distance égale à  $\frac{20}{0,2} = 10^2$  km.

Le premier amplificateur est donc situé à 100 km de Rennes.

La distance Rennes-Strasbourg étant de 900 km, il faut  $\frac{900}{100} = 9$  amplificateurs.

Dans un câble électrique, l'atténuation est de 10 dB/km d'après le document 5. Ainsi, dans le cas d'une liaison par câble entre Rennes et Strasbourg, il faudrait un amplificateur tous les  $\frac{20}{10} = 2$  km soit  $\frac{900}{2} = 450$  amplificateurs.

La liaison par câble nécessite  $\frac{450}{9} = 50$  fois plus d'amplificateurs que celle par fibre optique. De ce point de vue, la liaison par fibre optique est plus avantageuse que celle par câble.

