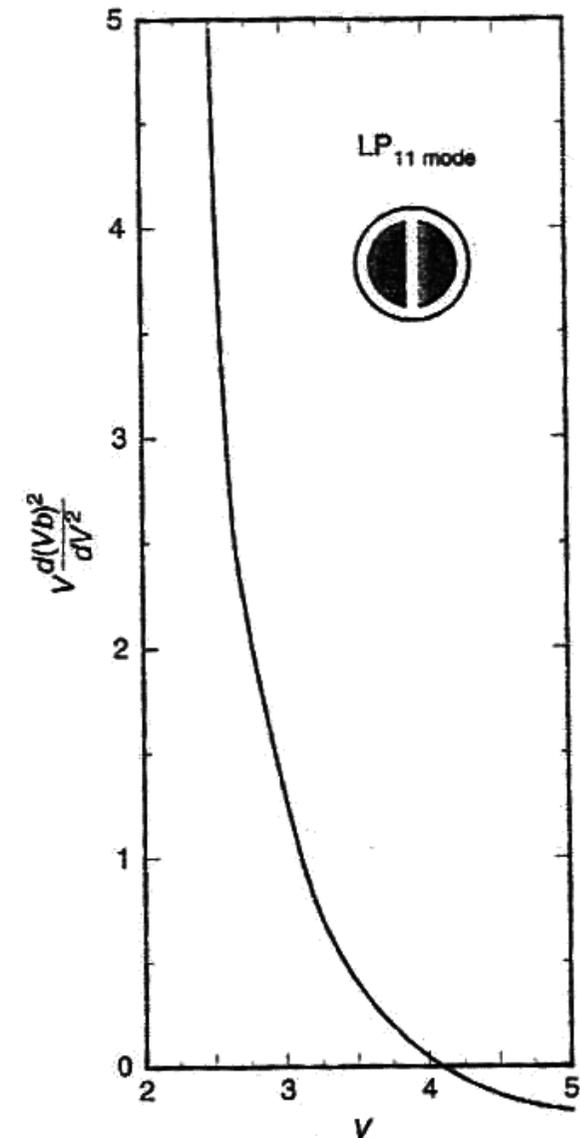


Fibres a compensation de dispersion (DCF)

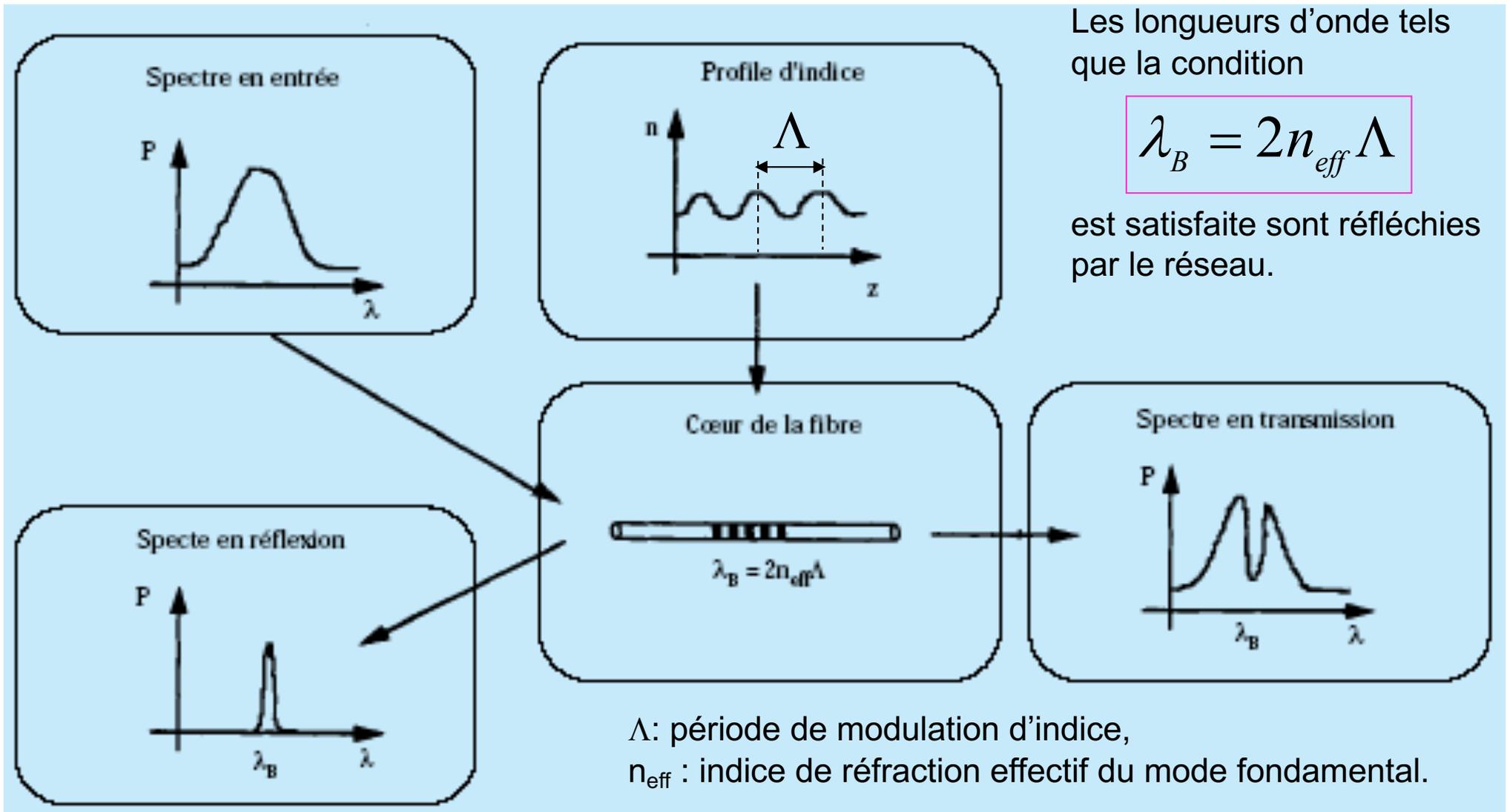
Application

- Determine the value of the waveguide dispersion parameter of a HOM-DCF using the LP_{11} mode and having the following physical parameters :
 - Wavelength of operation, $\lambda = 1550$ nm;
 - Core radius, $a = 2.1$ μ m;
 - Refractive index of the core, $n_1 = 1,460$;
 - Relative core-index step, $\Delta = 0.02$
- After 100 km of transmission through a step-index single-mode fiber, the fiber below is used as a dispersion compensator. What is the required length of this fiber ? We give the value of material dispersion parameter :
 $D_m = 28$ ps/(km.nm).

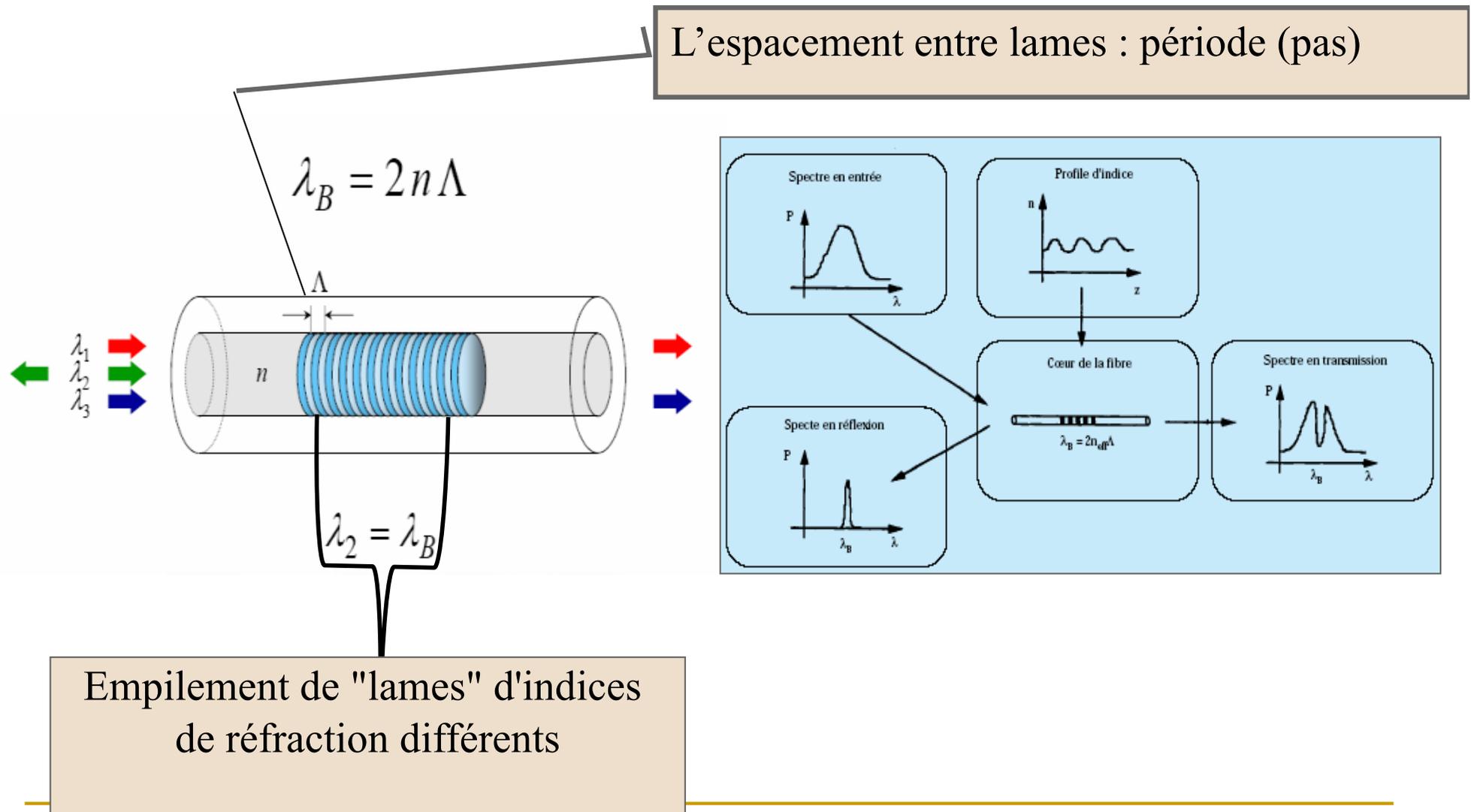


Fibres à compensation de dispersion (DCF)

Principe d'un réseau de Bragg



Fibre à Réseau de Bragg



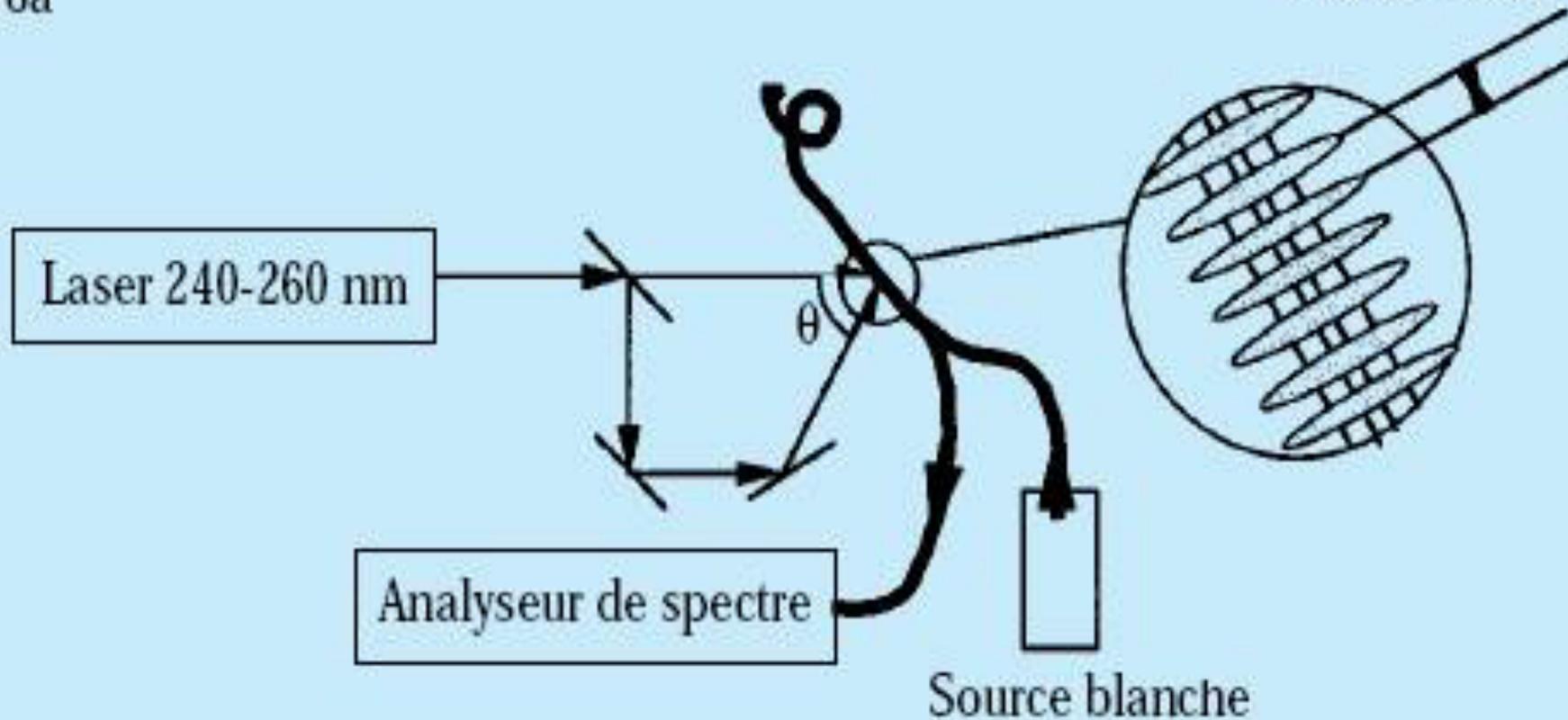
Fibres a compensation de dispersion (DCF)

Principe d'inscription d'un réseau de Bragg – Méthode holographique

ECRITURE D'UN RÉSEAU DANS UNE FIBRE

6a

Pas du réseau $\Lambda \approx \mu\text{m}$

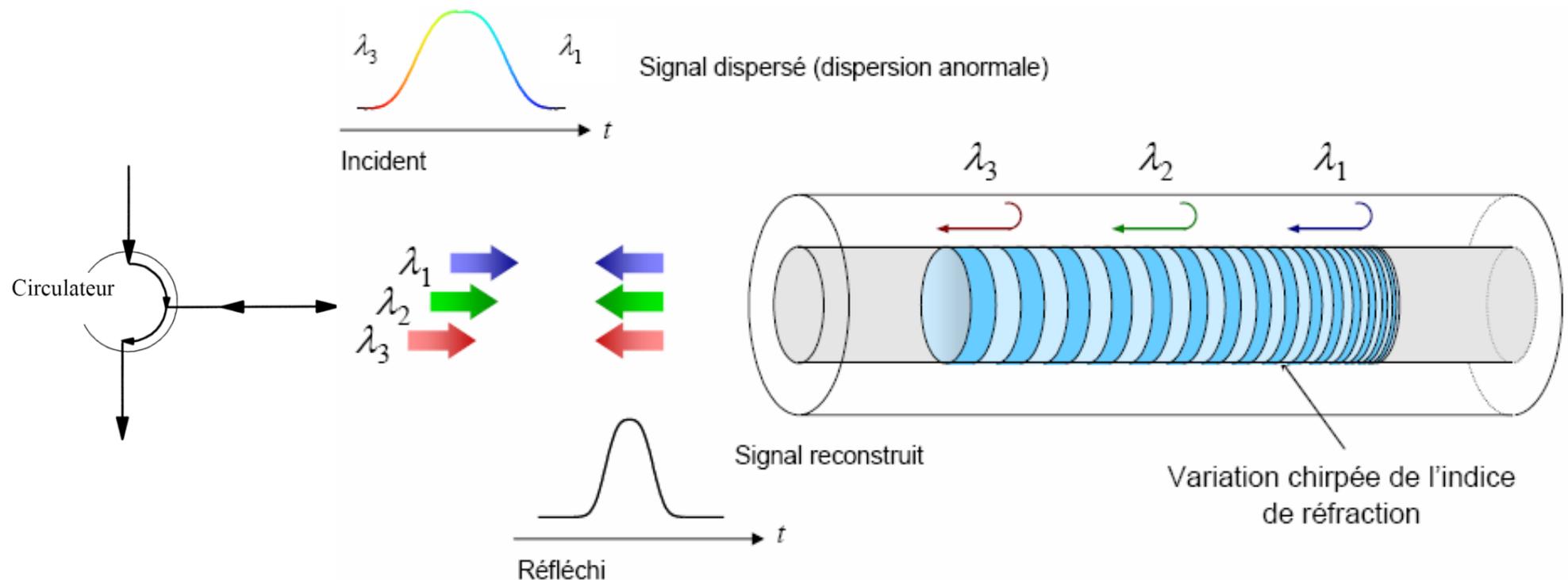


Fibres a compensation de dispersion (DCF)

Fibre utilisant un réseau de Bragg photo-inscrit (FBG)

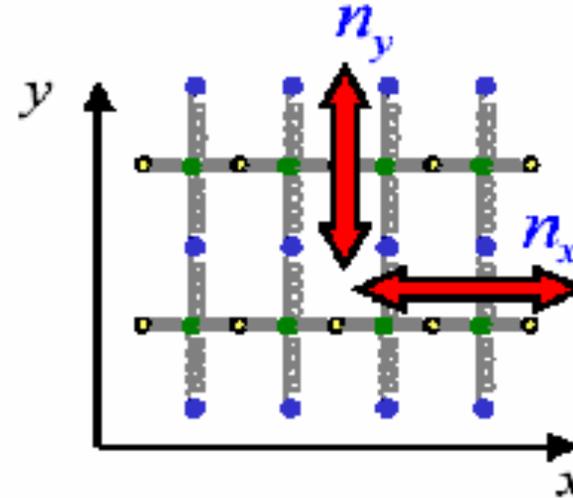
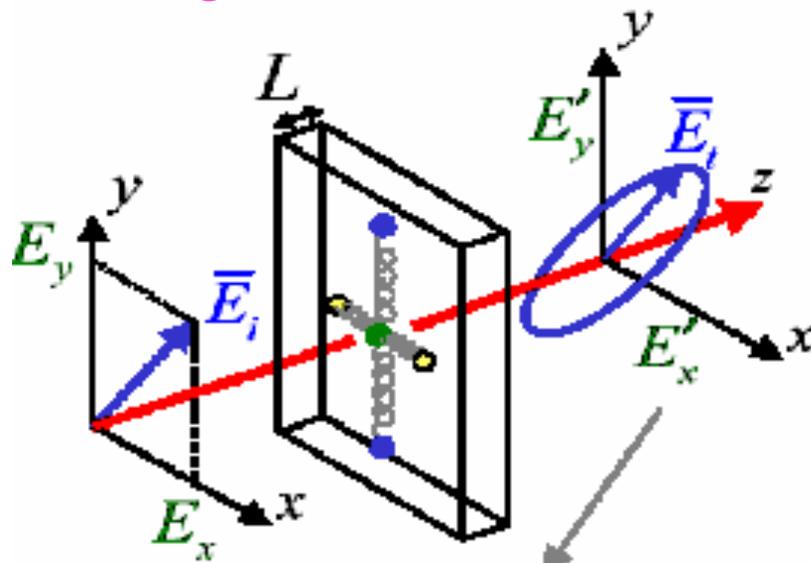
Dans les réseaux à pas variable, Λ varie linéairement suivant l'axe de la fibre. Dans ce cas les grandes longueurs d'ondes sont réfléchies en début de réseau et les plus courtes en fin du réseau ; il en résulte une reconstruction temporelle de l'impulsion réfléchie.

C'est un composant naturellement fibré. Les pertes d'insertion seront donc minimales.



Dispersion de mode de polarisation (PMD)

La biréfringence dans un cristal



$$\begin{cases} E'_x = E_x e^{i\varphi_x} \\ E'_y = E_y e^{i\varphi_y} \end{cases}$$

$$\text{où } \begin{cases} \varphi_x = k_x L = n_x \frac{\omega}{c} L \\ \varphi_y = k_y L = n_y \frac{\omega}{c} L \end{cases}$$

$$\text{Soit } \delta = \varphi_y - \varphi_x = (n_y - n_x) \frac{\omega}{c} L$$

L'onde change de polarisation à la traversée de la lame biréfringente, elle ne gardera une polarisation linéaire que si la polarisation initiale est suivant l'un des axes principaux du cristal.

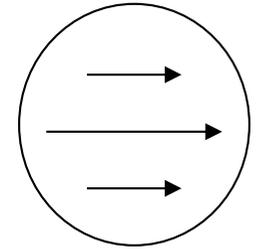
Dispersion de mode de polarisation (PMD)

La biréfringence dans une fibre optique

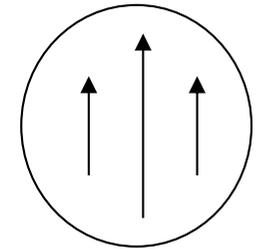
- En théorie, les fibres sont isotropes, et la constante de propagation β du mode fondamental ne dépend pas de la polarisation de la lumière.

En pratique, il existe un certain degré de biréfringence dans les fibres monomodes car elles ne sont pas rigoureusement isotropes :

- géométrie non parfaitement cylindrique de la fibre ;
- biréfringence induite par des causes externes : élongation, courbures, contraintes, température.



LP_{01}^x



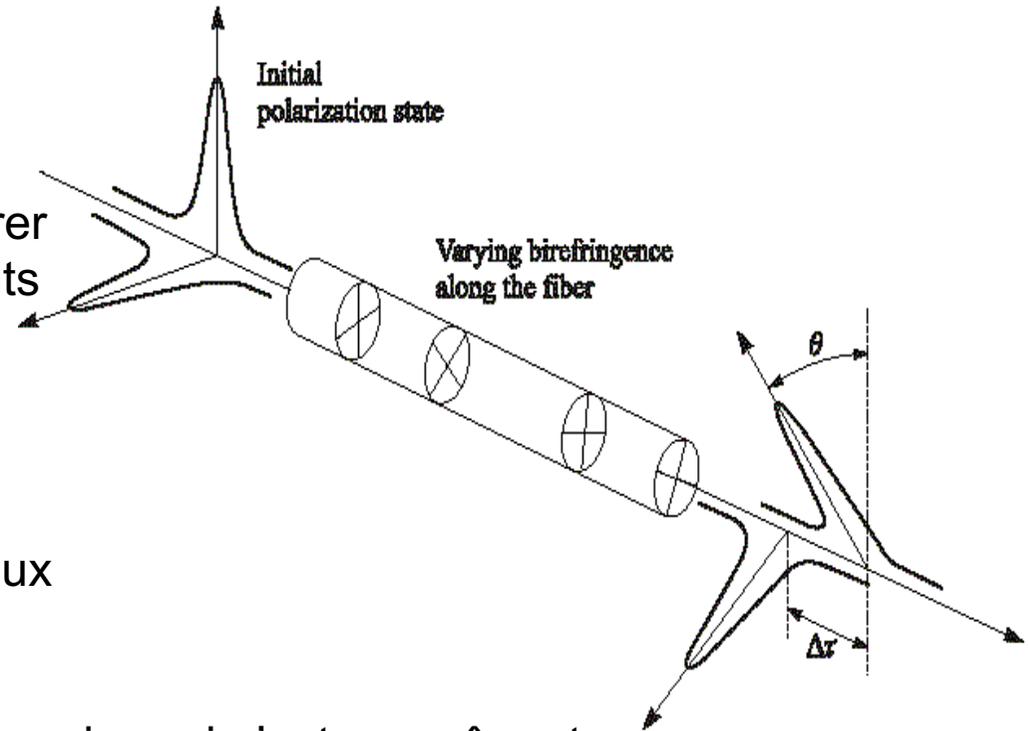
LP_{01}^y

- Le mode fondamental (LP_{01}) se décompose alors entre les deux axes principaux de biréfringence de la fibre : les composantes obtenues sont notés LP_{01}^x et LP_{01}^y .
- Dans ces cas, les modes orthogonaux « voient » des indices différents n_x et n_y et par conséquent il possèdent des constantes de propagation différentes : β_x et β_y .
- Pour les fibres G652, le degré de biréfringence est très faible : $\langle |n_x - n_y| \rangle \sim 10^{-6}$; la PMD ne concerne donc en pratique que les systèmes à hautes performances.

Dispersion de mode de polarisation (PMD)

Cas des fibres conventionnelles

- Pour les fibres conventionnelles, la biréfringence varie longitudinalement de manière aléatoire. Ainsi, on peut considérer la fibre comme une concaténation de petits tronçons de longueur variable et dont la valeur de la biréfringence et l'orientation des axes propres est aléatoire. A chaque changement de tronçon, l'état de polarisation se décompose suivant les deux modes propres de polarisation locaux.



Il en résulte une dépolarisation de l'onde, mais ceci n'est pas gênant en télécommunications, car les récepteurs, et même les amplificateurs optiques à fibres dopées, ne sont pas sensibles à la polarisation.

- Par contre, cette biréfringence aléatoire provoque un élargissement temporel ($\Delta\tau$) de l'impulsion, à cause de la différence des temps de parcours des deux modes orthogonaux. C'est la dispersion de polarisation (en anglais, Polarisation Mode Dispersion (PMD)).

Dispersion de mode de polarisation (PMD)

Cas des fibres conventionnelles

- Du fait du caractère aléatoire de la biréfringence son traitement se fait par des méthodes statistiques.
- L'élargissement d'impulsion induit par la PMD est alors donné par :

$$\langle \Delta \tau_{pol} \rangle \approx D_{PMD} \sqrt{L}$$

Où $\Delta \tau_{pol} = \left| \frac{L}{v_{gx}} - \frac{L}{v_{gy}} \right|$ avec v_{gx} et v_{gy} les vitesses de groupe associés aux deux modes LP_{01}^x et LP_{01}^y .

Et D_{PDM} est le paramètre de dispersion de polarisation : $0.01 < D_{PDM} < 10 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$

- A cause de la dépendance en \sqrt{L} l'élargissement d'impulsion est relativement faible par rapport à celui de la dispersion chromatique. Il se manifeste surtout sur les **très longues distances et où le débit par canal dépasse les 10 Gb/s**. Des systèmes à compensation de PMD existent.

Atténuation intrinsèque des fibres optiques

Coefficient d'atténuation et atténuation linéique

Les fibres multimodes aussi bien que les fibres monomodes ne sont pas faites de verre absolument transparent ayant une structure cylindrique parfaite. Il y a donc atténuation du signal. Cette atténuation suit la loi de Beer-Lambert : à une distance L dans la fibre, la puissance rémanente est :

$$P(L) = P(0)e^{-\alpha L}$$

où α (en m^{-1}) est le coefficient d'absorption du matériau.

Néanmoins on utilise souvent l'atténuation linéique A , définie par :

$$A(dB/km) = -\frac{10}{L} \log\left(\frac{P(L)}{P(0)}\right)$$

Où L est la longueur de la fibre exprimée en km et le logarithme est à base 10.

On a donc :

$$A(dB/km) = -\frac{10}{L} \log\left(e^{-\alpha L}\right) = \frac{10\alpha}{\ln(10)} = 4.343 \alpha(km^{-1})$$

Atténuation intrinsèque des fibres optiques

Causes d'atténuation

Absorption : La présence de pics d'atténuation des liaisons OH, notamment près de 1.4 μm , est due à la méthode de fabrication des fibres et n'est aucunement une limite théorique. Par contre, la montée de l'absorption dans le proche infra-rouge est inévitable car elle est due aux vibrations moléculaires de la silice qui présentent un spectre complexe dans cette région.

Diffusion : elle est de deux types :

- *Diffusion Rayleigh* : elle est due à l'interaction de l'onde avec la matière, qui la diffuse de manière isotrope. On l'observe dans tous les milieux désordonnés (verres, liquides, gaz) à cause des fluctuations de densité sur des distances très courtes. Elle se traduit par une perte de puissance lumineuse inversement proportionnelle à λ^4 .

- *Diffusion due aux imperfections de la fibre* : les variations locales de diamètre du cœur et les microcourbures vont faire qu'un certain nombre de rayons se réfractent dans la gaine, entraînant une perte de puissance.

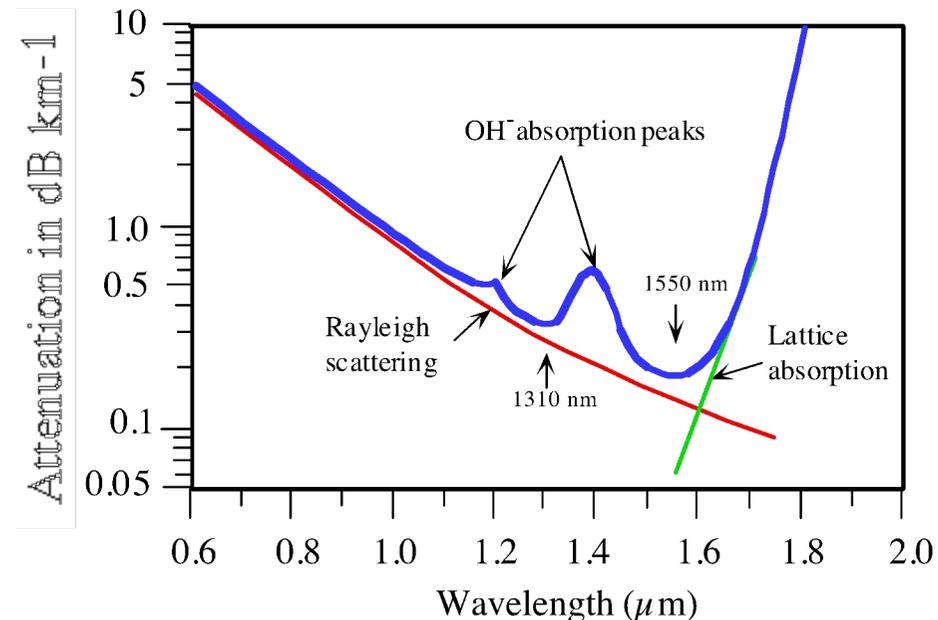
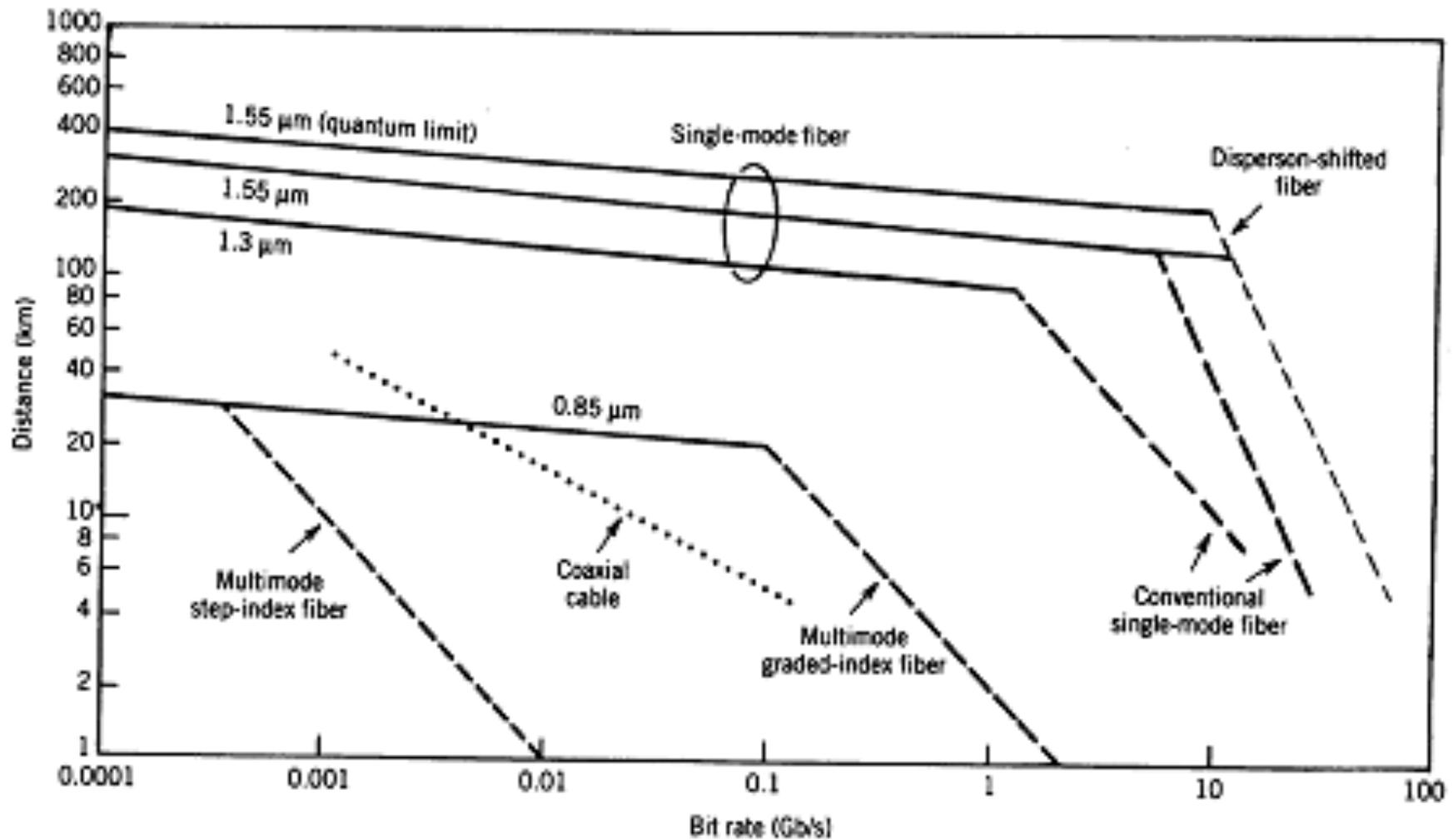


Illustration of a typical attenuation vs. wavelength characteristics of a silica based optical fiber. There are two communications channels at 1310 nm and 1550 nm.

© 1999 S.O. Kasap, *Optoelectronics* (Prentice Hall)

Limitations d'un système de transmission



Limitations à cause de l'absorption : trait continu

Limitations à cause de la dispersion : trait discontinu

Applications

- En utilisant le graphique ci-dessus, déterminer la fenêtre optique de travail et le type de fibre à employer pour:
 - Une liaison de 20km d'un débit binaire de 10Mbit/s
 - Une liaison de 100km d'un débit binaire de 1Gbit/s
- The optical power launched into a single-mode fiber from a laser diode is approximately 1 mW. The photodetector at the output requires a minimum power of 10 nW to provide a clear signal (above noise). The fiber operates at 1.3 μm and has an attenuation coefficient of 0.4 dB/ km. What is the maximum length of fiber that can be used without inserting a repeater (to regenerate the signal) ?

Applications

- Considérons une liaison sur fibre optique G652. Une diode laser émet une puissance $P_e = 1$ mW dans la fibre à une longueur d'onde de 1550 nm avec une largeur spectrale $\Delta\lambda = 0.1$ nm. On prendra $A(1550\text{nm})=0,2\text{dB/km}$.

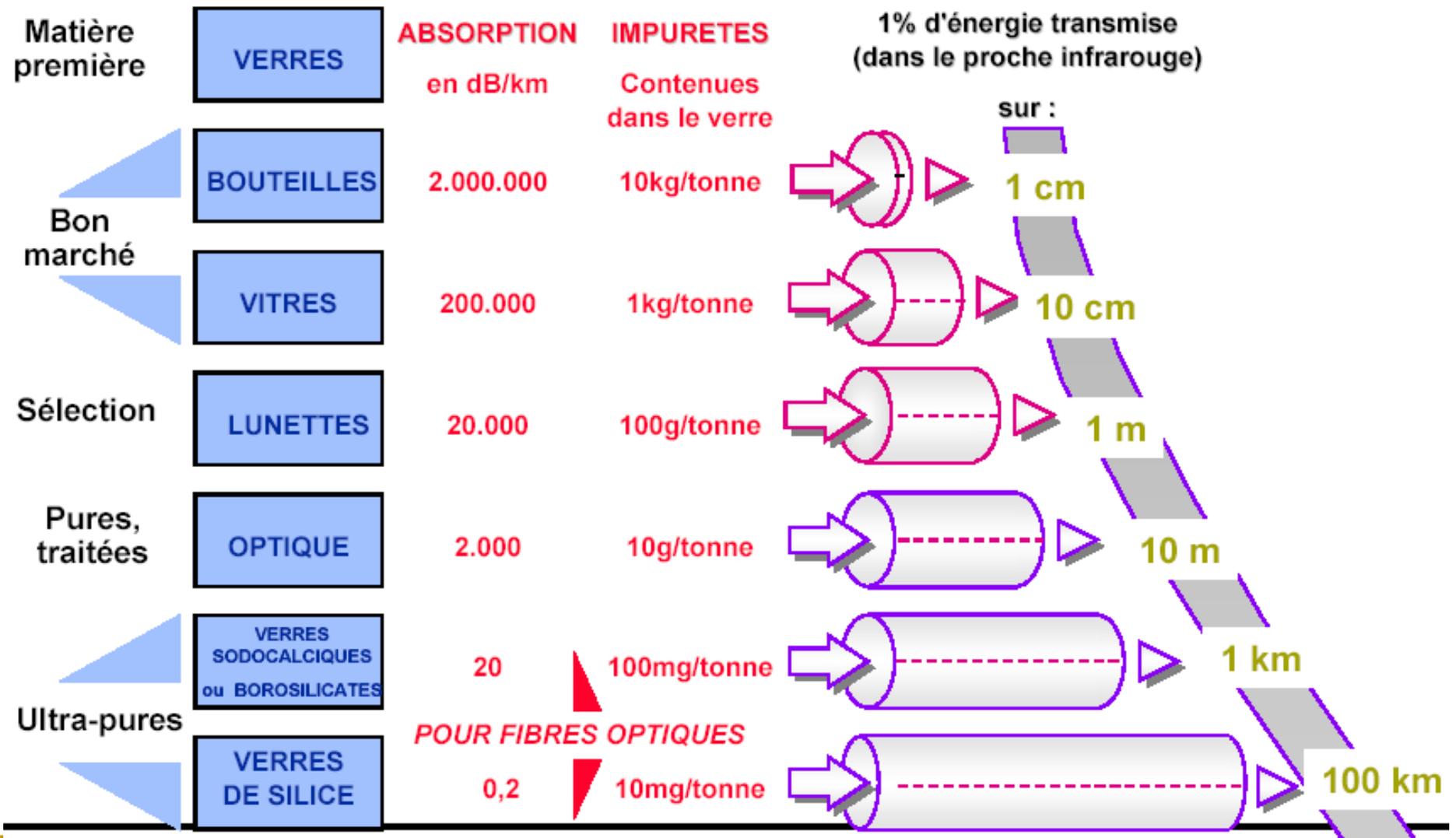
1°/ On souhaite transmettre sur une distance de 100 km. Calculer la puissance en bout de fibre.

2°/ Une photodiode est placée à la sortie de la fibre et demande un seuil de puissance de 10^{-3} mW. Quelle est la longueur maximale permise pour cette liaison dans ces conditions ?

3°/ La transmission doit fonctionner avec un débit binaire de 10 Gbit/s. Sachant que l'élargissement d'impulsion à la détection doit rester inférieur à 10% du temps-bit. Calculer la longueur maximale de la liaison imposée par la dispersion et comparez-la à la limitation imposée par l'atténuation.

Atténuation intrinsèque des fibres optiques

Qualité du verre pour fibres optiques



Atténuation intrinsèque des fibres optiques

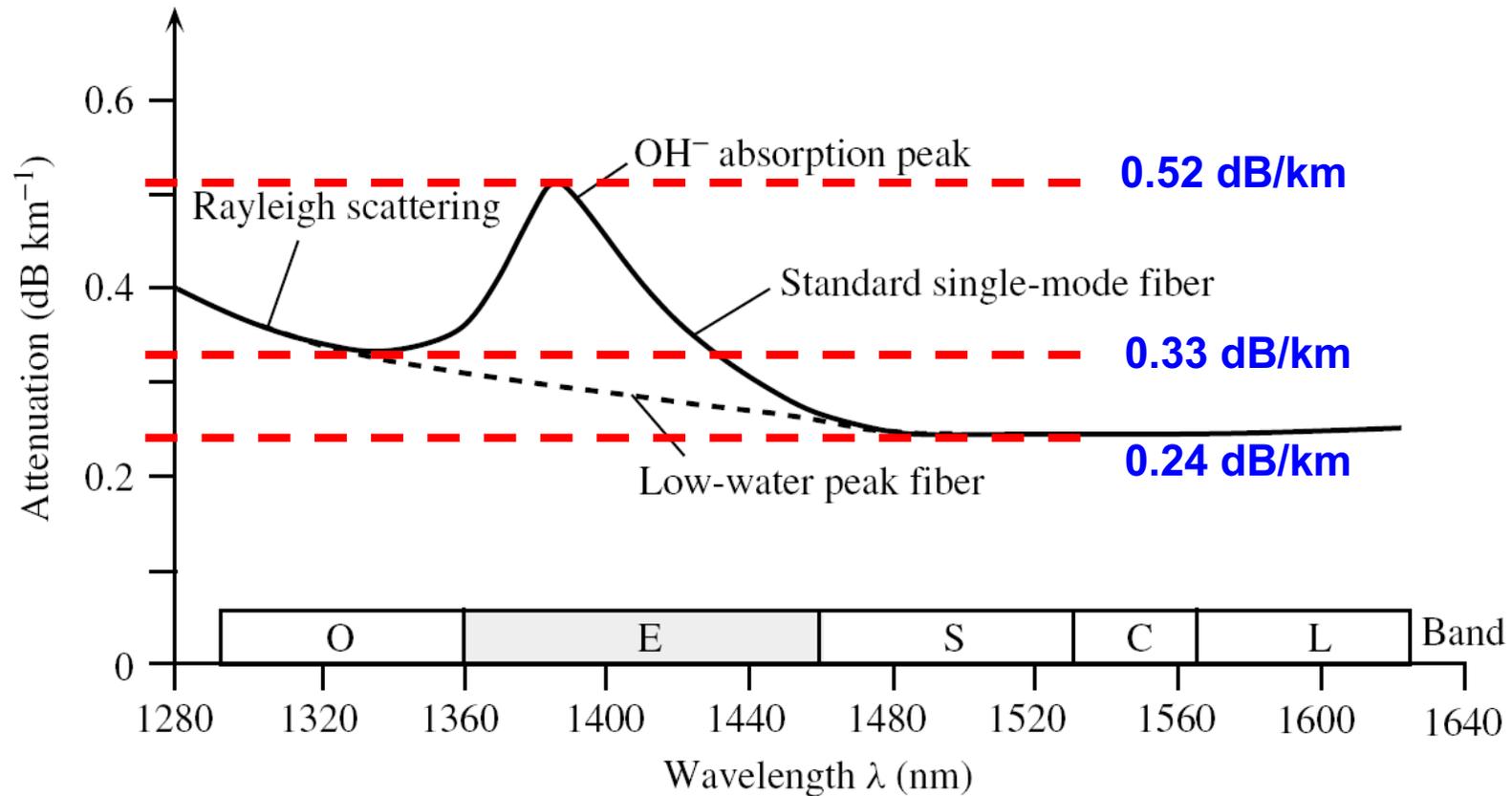


Fig. 18 Attenuation in a standard single-mode optical fiber and also in a newly developed low-water peak fiber. (Lucent; Lindstrom, A. (2002), Optical fiber: where is it headed?, *Photonics Spectra*, Vol. 36. Pittsfield, MA: Laurin Publishing Company, pp. 68–72)