

---

# La fibre : de zéro en Rézo

Un petit tour d'horizon pour n1a en détresse

Hugo Levy-Falk

Avec les conseils de Gabriel Detraz

**Nocturnes FedeRez 2021**

20 Novembre 2021

---

# Outline

---

- ➊ Introduction : C'est quoi, et pourquoi on les utilise ?
  - ➋ Mais du coup c'est quoi une fibre ?
  - ➌ Ah, les modes de chez nous
  - ➍ Perdez votre signal avec ces techniques secrètes (les informaticiens le détestent)
  - ➎ Des petits noms de fibres
  - ➏ Quelques technologies récentes
-

---

**Introduction : C'est quoi, et pourquoi on les utilise ?**

---



# Un canal de communication

---





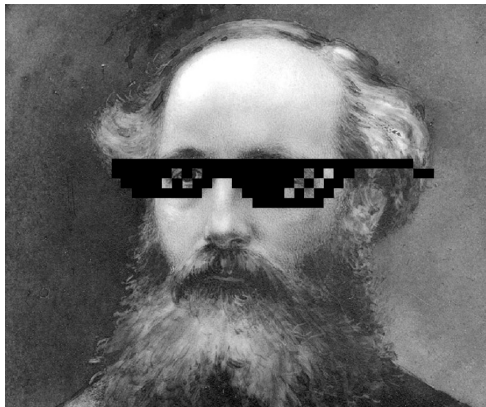
MARQUE

**Fibre Orange : Connectez toute la famille à la vitesse de la lumière**

(Non)

---

Le signal électrique se propage à la vitesse  
du champ électrique dans le conducteur:  
 $\approx 200000 \text{ km/s}$  dans le cuivre.



## Mais pourquoi alors ?

---

### Pour un lien type ADSL

(*Asymmetric digital subscriber line* : demandez à vos aînés)

- Sensibilité aux perturbations électromagnétiques;
- Atténuation pour 1km  $\approx 13.81dB$  (signal divisé par 24 !)

**Conséquence** : Besoin de répéteurs/correcteurs, débit faible : 23Mbit/s sur 1km.

### Pour une fibre multimode OM2 de chez fs

(on va voir après ce que c'est)

- Pas de sensibilité aux perturbations électromagnétiques;
- Atténuation pour 1km  $\approx 1dB$  à 1300nm (signal divisé par 1.26 (!!))

→ On va pouvoir diminuer les erreurs et le nombre de répéteurs.

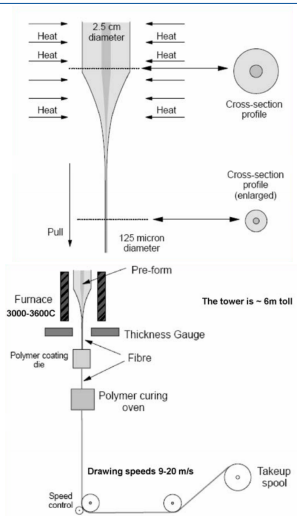


---

**Mais du coup c'est quoi une fibre ?**

---

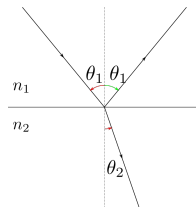
# Une fibre



Source : J.Dutton, Ch. 6

Loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



Total Internal Reflection si :  $\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 > 1$



CC-BY-SA Hugo Levy-Falk 2021

---

**Ah, les modes de chez nous**

---

## Une explication simple, qui marche pour les grosses fibres



- Chaque angle peut-être compris comme un "mode" de transmission.
- Les angles acceptables sont donnés par

$$NA = n \cdot \sin(\alpha_{\text{Max}}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1)$$

- Chaque "mode"  $m$  a un indice de réfraction effectif  $n_m = n_1 \sin \alpha_m$ .  
→ Première idée de dispersion (on y reviendra)



## La vraie vie est compliquée.

Il faut résoudre les équations de Maxwell.

On suppose  $\mathbf{E}(x, z, t) = \mathbf{E}(x, t)e^{i\omega t - i\beta z}$

- Si on se place en 1D, on a

$$\frac{d^2 \mathbf{E}(x)}{dx^2} + n^2(x)k_0^2 \mathbf{E}(x) = \beta^2 \mathbf{E}(x) \quad (2)$$

- Ce qui se rapproche énormément de l'équation de Schrodinger indépendante du temps !

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} + V(x)\psi(x) = E\psi(x) \quad (3)$$

Avec  $V(x) \longrightarrow -n(x)k_0^2 \hbar^2 / 2m$

Et en pratique, c'est pire... Il faut résoudre en coordonnées cylindriques.

En supposant la séparation des variables ( $E_z(r, \phi, z) = \mathcal{R}(r)\mathcal{F}(\phi)\mathcal{Z}(z)$ ), on a 3 équations qui ressortent :

$$\frac{\partial^2 \mathcal{Z}(z)}{\partial z^2} = -\beta^2 \mathcal{Z}(z) \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 \mathcal{F}(\phi)}{\partial \phi^2} = -m^2 \mathcal{F}(\phi) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \mathcal{R}(r)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mathcal{R}(r)}{\partial r} + \dots \\ & \dots + \left( n^2 k_0^2 - \beta^2 - \frac{m^2}{r^2} \right) \mathcal{R}(r) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

## La vraie vie est compliquée. (mais jolie)

---

Certains modes particuliers sont appelés des modes propres (en pratique on observe une combinaison de ces modes).

Todo : Plot de quelques modes propres

La fréquence de coupure (fréquence limite des modes propagés)

$$V = k_0 d \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \text{NA} \frac{2\pi}{\lambda} \times d$$

Nombre de modes

- pour du saut d'indice :  $m \approx \frac{V^2}{2}$
- pour du gradient d'indice :  $m \approx \frac{V^2}{4}$

---

**Perdez votre signal avec ces techniques secrètes (les informaticiens le détestent)**

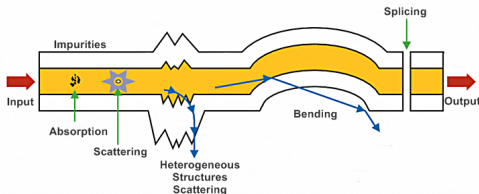
---

# Les facteurs de perte

## L'atténuation

Il y a aussi des pertes à cause :

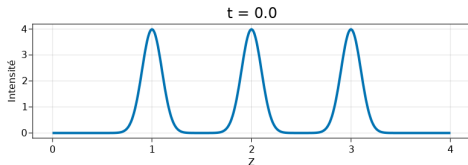
- De l'absorption;
- Des courbures macro;
- Des pertes de couplages de fibres;
- Pertes de scattering...



Source : [community.fs.com](https://community.fs.com)

## La dispersion

Globalement, tout ce qui va faire qu'un pulse va s'élargir au cours du temps. TODO: refaire cette anim pour que la partie dispersée dure plus longtemps.



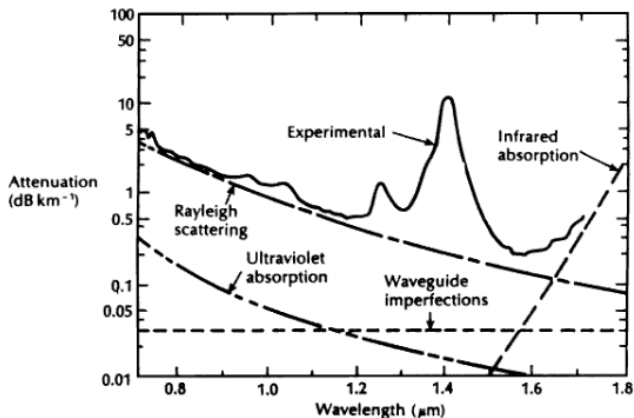
→ C'est un facteur limitant du taux de transfert d'information dans une fibre.

**Il ne suffit pas d'augmenter la puissance d'émission pour le contrer !**



## L'atténuation : absorption (et scattering)

TODO : mettre la source proprement + donner des échelles (genre on peut voir au fond de la fosse des marianes) + mettre les fenêtre télécom



## L'atténuation : les autres pertes

---

TODO : faire une table avec les facteurs de pertes (raccord, bending etc...)

# La dispersion

---

Remettre la vidéo



## La dispersion: du matériau

---

Faire une animation qui montre que le pulse est la somme de plein de couleurs

# La dispersion: du guide d'onde

---



---

## **Des petits noms de fibres**

---



-> SFP/SFP+

-> CWDM/DWDM

---

## **Quelques technologies récentes**

---

# Le machin pour multiplexer les modes

---