

# DOSSIER TECHNIQUE

## TRANSMISSION D'UN SON PAR FIBRE OPTIQUE

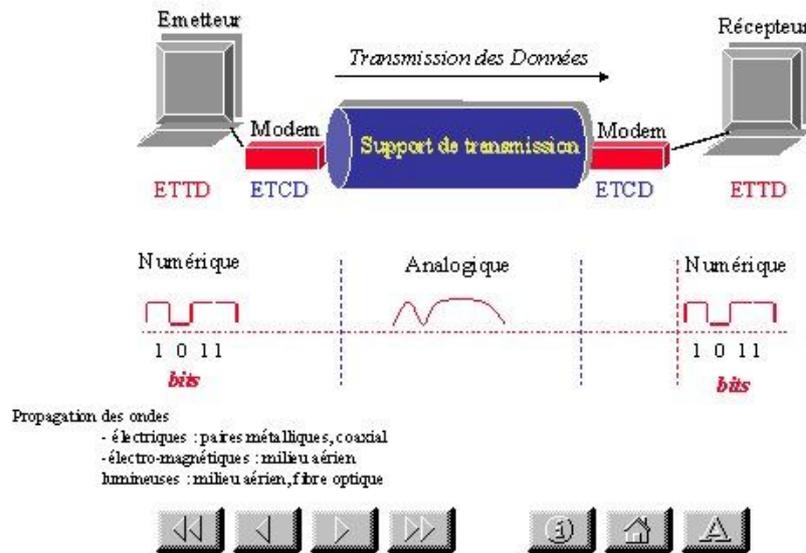
**Comporte les documents suivants :**

- |                                                                                |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| • Principes et caractéristiques d'une transmission de signal par fibre optique | page 2 à 3          |
| • Caractéristique de l'oreille humaine                                         | page 4              |
| • Introduction du décibel en acoustique                                        | page 5              |
| • Schéma maquette émission                                                     | page 6              |
| • Schéma maquette réception                                                    | page 7              |
| • Montage transmission son à travers fibre optique                             | page 8              |
| • Instructions d'utilisation page 4 manuel EducOptic :                         | cadre 1 / page 9    |
| • Caractéristiques optiques module 1300 nm :                                   | cadre 2 / page 9    |
| • Caractéristiques optiques module 850 nm et rétrodif. :                       | cadre 3 / page 10   |
| • Caractéristiques optiques coupleurs et bobines :                             | cadre 4 / page 11   |
| • Théorie de l'ouverture numérique :                                           | cadre 5 / page 12   |
| • Montage de mesure de l'ouverture numérique :                                 | cadre 6 / page 13   |
| • Montage de réflectométrie :                                                  | cadre 7 / page 14   |
| • Atténuation dans une fibre en fonction de la longueur d'onde                 | cadre 8 / page 15   |
| • SADT réflectomètre industriel :                                              | cadre 9 et cadre 10 |
| • Utilisation du SI7721 (réflectomètre 850nm)                                  | page 18 à page 22   |

# Principes et caractéristiques d'une transmission de signal par fibre optique



## Nature de l'information transportée



## Supports de Transmission

Types	Bande Passante	Utilisation
Paire Torsadée (TP)	> 100 kHz	Téléphonie, LAN (UTP, STP)
Câble coaxial	> 100 MHz	Télévision, LAN, (MAN ?)
Fibre Optique	> 1 GHz	LAN, MAN et WAN (monomode #60 km, Xmode #2 km)
Faisceaux Hertzien	Variable (nature et fréquence)	MAN, LAN
Satellites	X canaux > 10 MHz	WAN

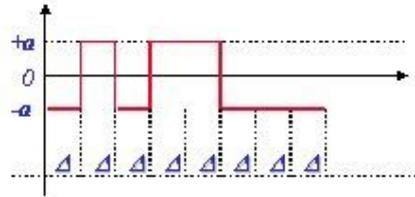
*LAN: Local Area Network      MAN: Metropolitan Area Netw.      WAN: Wide Area Network*

• Codages à 2 niveaux :

codage NRZ (*No Return to Zero*)

0 =>  $-a$  et 1 =>  $+a$

la suite binaire 01011000 est représentée par :



On montre que le spectre de puissance du signal NRZ est concentré au voisinage des basses fréquences => mauvaise transmission par le support

**Le codage du signal**

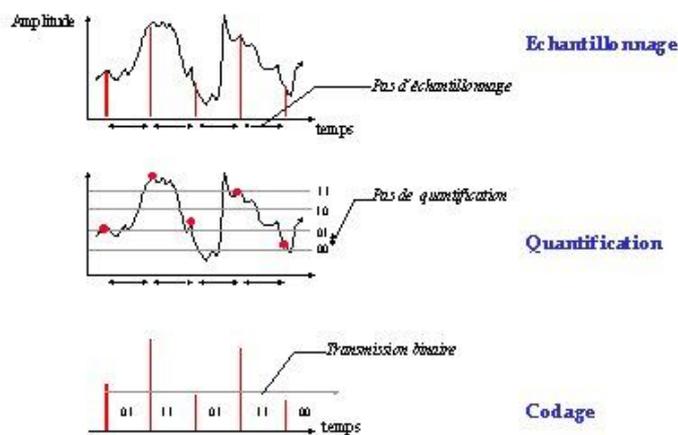
L'information transportée est codée en binaire (succession de 0 et de 1), voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Les différents moyens de modulation que l'on connaît en électronique classique s'appliquent aussi en optique (modulation d'amplitude, modulation de fréquence et modulation de phase).

De plus en optique, on peut envoyer des signaux différents à des longueurs d'ondes différentes (WDM ou DWDM) : c'est le multiplexage en longueur d'onde.

Lors de la transmission cependant, un bit (0 ou 1) peut se transformer, ce qui peut créer une erreur. On pourrait alors pour éviter cela envoyer plusieurs fois le même signal (2, 3 ou plus), mais cela consomme beaucoup de bande passante pour une efficacité limitée. On peut adopter une solution qui s'appelle le code de Hamming : à l'aide d'une matrice de codage précise, on transmet un signal, qui, à sa réception, est décodé par une matrice de décodage associée à celle de codage et assure de retrouver le signal d'origine même si une erreur a surgi. La transmission codée demande plus de bande passante que le signal simple, mais est très efficace: on minimise le taux d'erreur en n'augmentant que légèrement la quantité d'informations à transmettre.

**Numérisation: exemple du MIC‡**



‡ MIC : Modulation par Impulsion et Codage

<http://documents.exfo.com/specsheets/AXS-100-fraHR.pdf>

# Perception humaine

La correspondance fréquence faible – son grave et fréquence élevée – son aigu se fait en réalité dans notre cerveau. Quand l'oreille va lui dire qu'elle détecte une fréquence de vibration de l'air faible, le cerveau va en déduire que ça correspond à un son grave, et lorsque l'oreille détectera une fréquence de vibration élevée le cerveau en déduira que c'est un son aigu.

Mais il faut noter que le cerveau et l'oreille ont quand même certaines limites. En effet, toutes les vibrations de l'air, et donc tous les sons, dont la fréquence est supérieure à 20kHz (20 kHz = 20 000 Hz) ou inférieure à 20Hz ne sont pas détectés par le cerveau et l'oreille. Ces valeurs peuvent bien sûr varier un peu en fonction de chaque individu, mais ça donne un ordre d'idée.

On représente ce comportement du système auditif humain grâce à sa courbe de sensibilité en fonction de la fréquence et du niveau acoustique :

## COURBES DE FLETCHER ET MUNSON

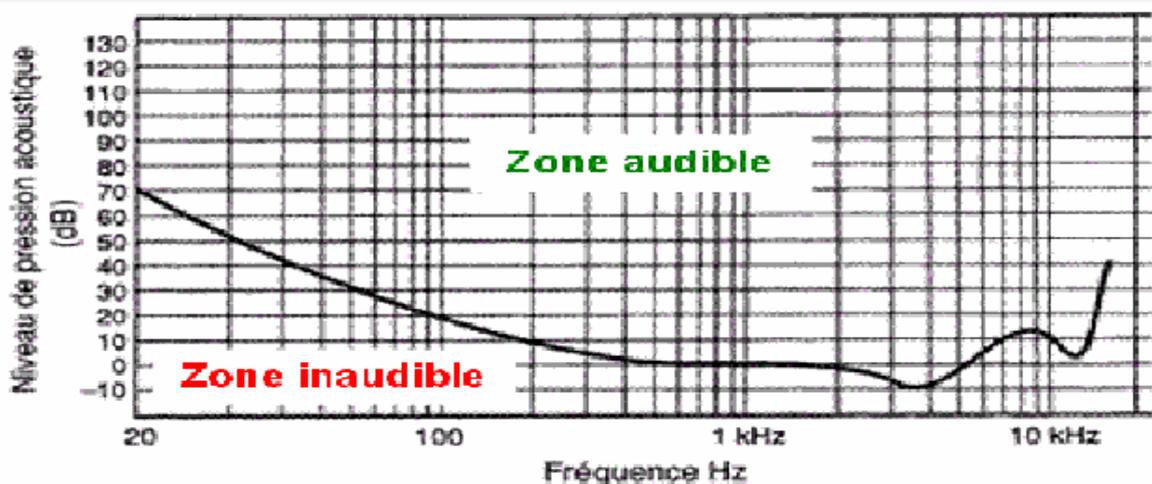
De ces courbes de sensibilité, on peut en déduire qu'il ne sert à rien d'avoir un matériel audio capable de reproduire des fréquences inférieures à 20 Hz ou supérieures à 20 kHz, car dans ces deux cas notre ouïe n'arrivera pas à entendre les sons correspondant.

Nota : beaucoup d'animaux ont une ouïe beaucoup plus développée que celle de l'homme, par exemple le chien dont la sensibilité audio va de quelques Hz à plus de 50 kHz, ou la chauve-souris qui est capable d'entendre des sons allant jusqu'à 120 kHz !

Remarque : si notre oreille n'est pas capable de déceler des sons au dehors de la plage 20 Hz – 20 kHz, certaines autres parties du corps humain le sont. En effet, les très basses fréquences peuvent être perçues par notre paroi abdominale (vous aurez certainement déjà noté les vibrations que vous avez ressenties parfois au cinéma ou en boîte de nuit lorsque des sons graves sont produits forts) et les très hautes fréquences peuvent être directement captées par la boîte crânienne, dont les os se mettent à vibrer à la fréquence captée. Ces fréquences jouent donc bel et bien un rôle physiologique, même si on n'est plus dans le cas de l'audition.

Mais même si les très hautes ou très basses fréquences peuvent être perçues par certaines parties de notre corps, dans un souci de réalisation physique et de coût pour le matériel hifi on négligera souvent ces fréquences particulières pendant la conception.

La dernière des courbes de Fletcher et Munson, celle qui correspond au niveau acoustique le plus faible, donne le seuil d'audibilité de l'être humain. Tout signal dont la pression est plus faible que celle donnée par la courbe ne pourra pas être entendu par le système auditif humain.



## Introduction du décibel (dB)

Le décibel (dB) est une unité de mesure qui exprime le rapport entre deux puissances. En acoustique, quand on parle de dB on parle en fait très souvent de dBSPL (dB Sound Pressure Level), mais l'indice SPL a souvent tendance à disparaître pour simplifier l'écriture. Le dBSPL est une mesure de la puissance sonore (c'est une mesure relative par rapport au niveau à partir duquel l'oreille humaine commence à percevoir un son pur à 1 kHz).

Exemples de puissances sonores (source : Wikipedia) :

- 0 dB : seuil d'audibilité
- De 0 à 10 dB : désert
- De 10 à 20 dB : cabine de prise de son
- De 20 à 30 dB : conversation à voix basses, chuchotement
- De 30 à 40 dB : forêt
- De 40 à 50 dB : bibliothèque, lave-vaisselle
- De 50 à 60 dB : lave-linge
- De 60 à 70 dB : sèche-linge, sonnerie de téléphone, téléviseur, conversation courante
- De 70 à 80 dB : aspirateur, restaurant bruyant
- De 80 à 90 dB : tondeuse à gazon, klaxon de voiture
- De 90 à 100 dB : route à circulation dense, tronçonneuse, atelier de forgeage
- De 100 à 110 dB : marteau-piqueur à moins de 5 mètres dans une rue, discothèque
- De 110 à 120 dB : tonnerre, atelier de chaudronnerie
- 120 dB : seuil de la douleur
- De 120 à 130 dB : sirène d'un véhicule de pompier, avion au décollage (à 300 mètres), concert amplifié
- 180 dB : décollage de la fusée Ariane, lancement d'une roquette
- 194 dB : son le plus bruyant possible dans l'air à la pression atmosphérique du niveau de la mer [réf. souhaitée]. La différence de pression dans une onde sonore de ce niveau est de l'ordre d'une atmosphère et correspondrait à l'apparition d'un vide absolu sur le front de dépression de l'onde.

Au-dessous de 20 dB, le son est pratiquement inaudible pour l'oreille humaine. Il commence à devenir douloureux au-delà de 80 dB, dangereux à partir de 100 dB et insupportable dès 120 dB. Le seuil de douleur n'est bien entendu pas un absolu, il dépend de chacun. Ces valeurs (80 dB, 100 dB, 120 dB) sont les valeurs courantes de la littérature.

On trouve également dans le domaine acoustique l'unité dB(A).

Le dB(A) est le dB pondéré d'une valeur corrective pour prendre en compte la sensibilité de l'oreille. En effet, à pression acoustique égale (donc théoriquement à volume sonore égal), notre oreille aura tendance à entendre des niveaux sonores différents lorsque la fréquence variera (cf courbes de sensibilité de l'oreille données plus haut). Par exemple, on aura l'impression qu'un son à 100 Hz sera moins fort qu'un son à 1 kHz. Cette caractéristique de l'oreille en fonction de la fréquence est représentée par les courbes isosoniques.

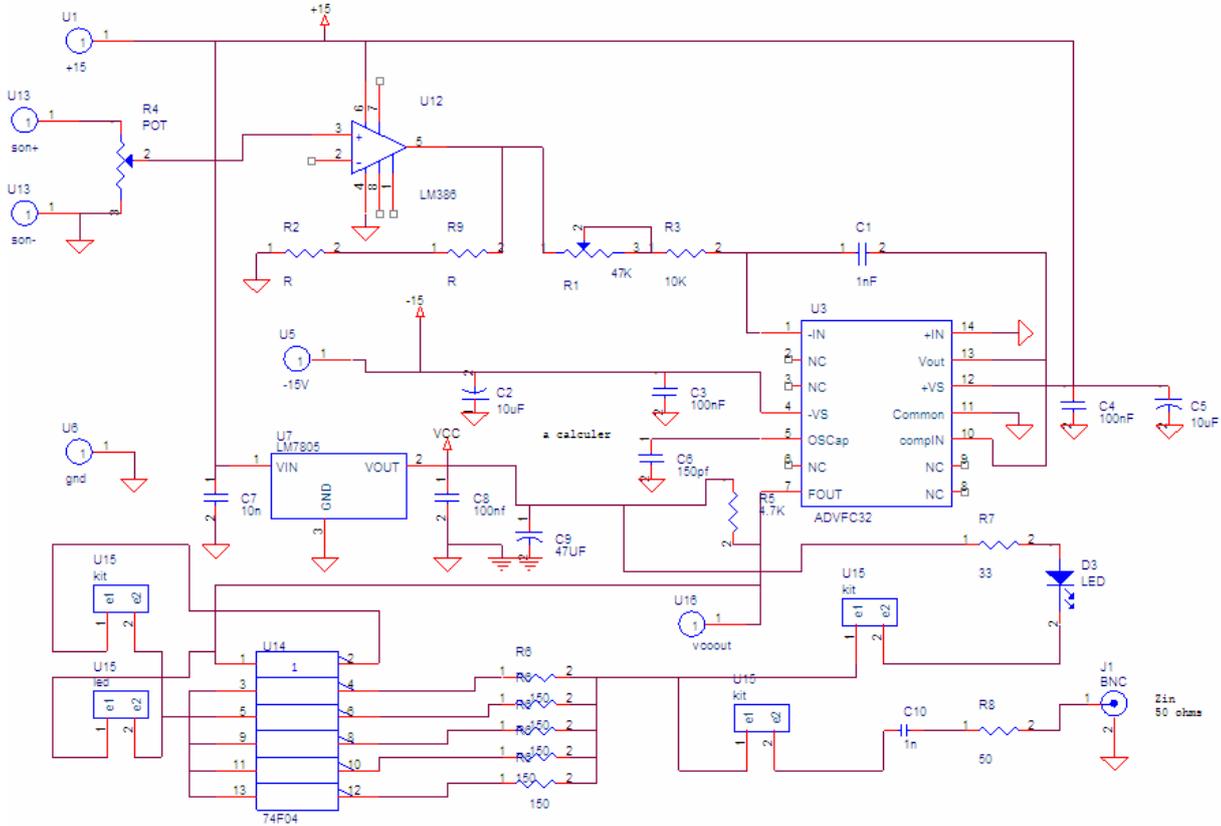
Concrètement, cela veut dire que pour un son de 40 dB à 100 Hz et un son de 40 dB à 1 kHz, nous aurons l'impression que le son à 1 kHz est plus fort. Le dB(A) va prendre en compte ce comportement de l'oreille en fonction de la fréquence, et on aura alors :

40 dB(A) = 40 dB à 1 kHz

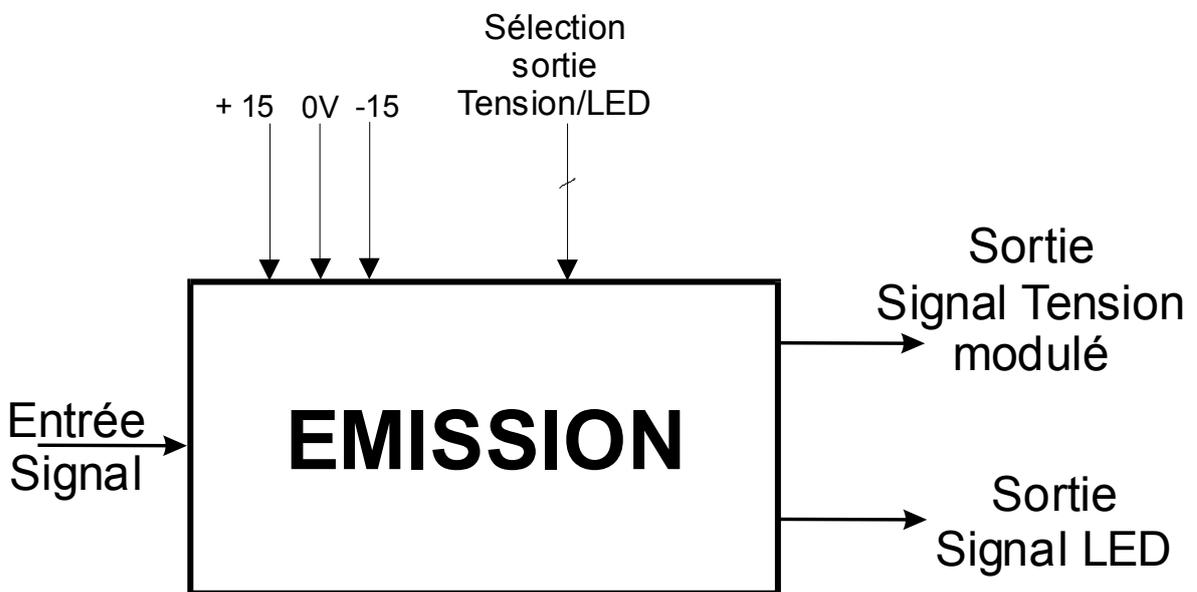
40 dB(A) = 50 dB à 100 Hz (cette valeur de 50 dB n'est pas forcément réelle, c'est juste un exemple pour montrer le fonctionnement)

De cette manière, pour deux sons de 40 dB(A) à 100 Hz et à 1 kHz on aura bien l'impression d'entendre le même volume sonore.

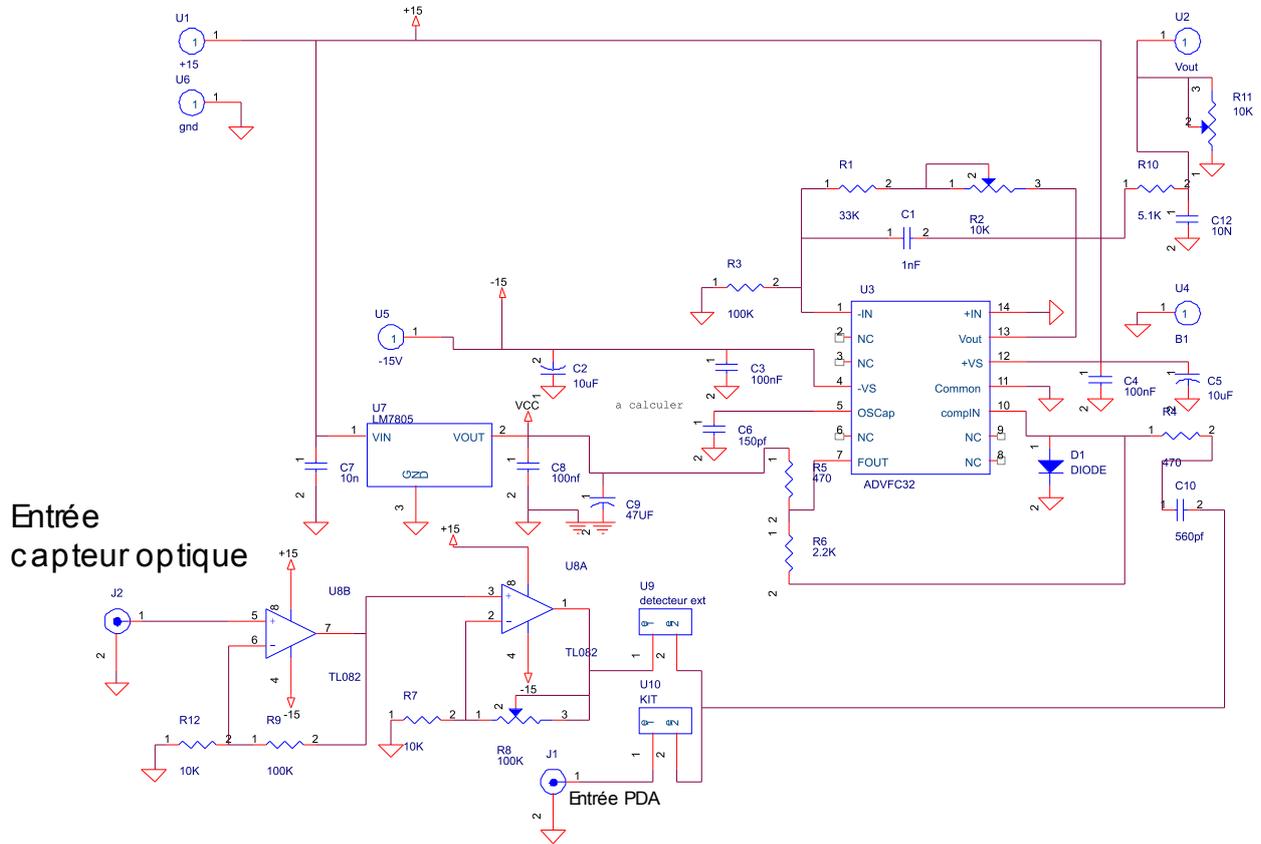
**Schéma structurel de la maquette d'émission du son**



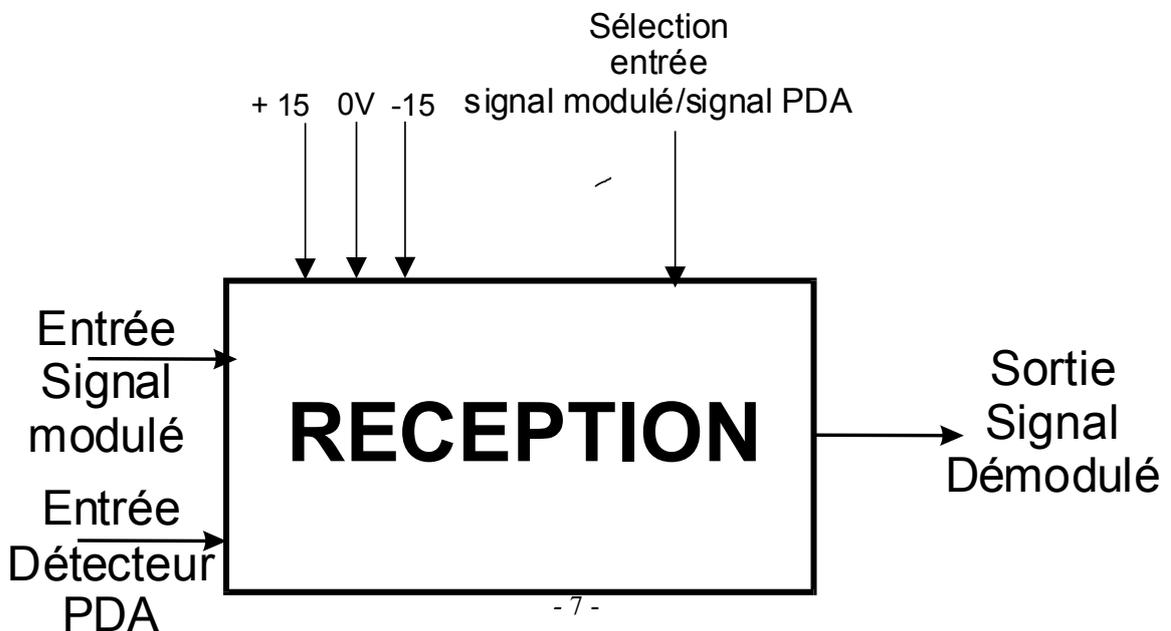
**Schéma fonctionnel de la maquette d'émission du son**

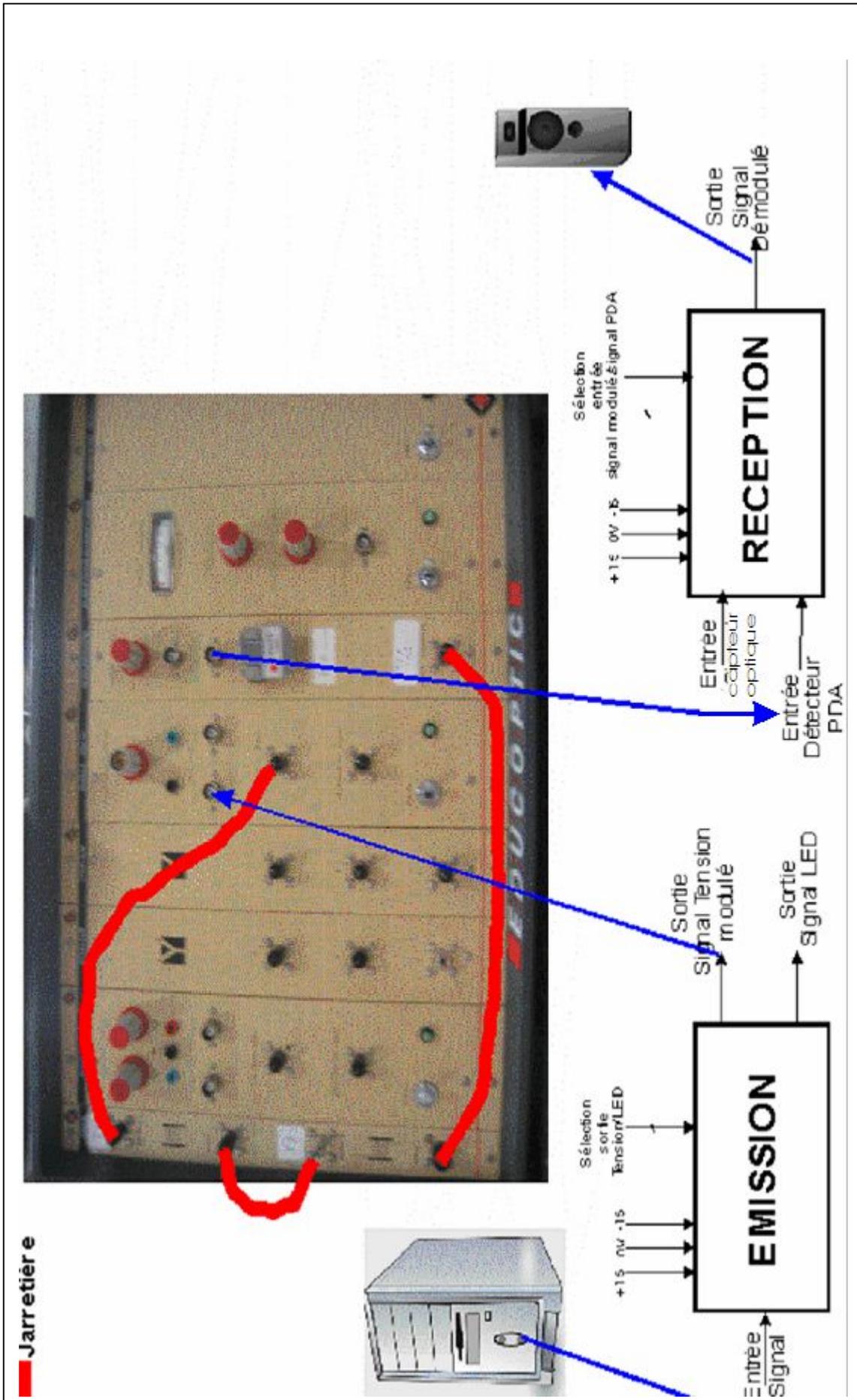


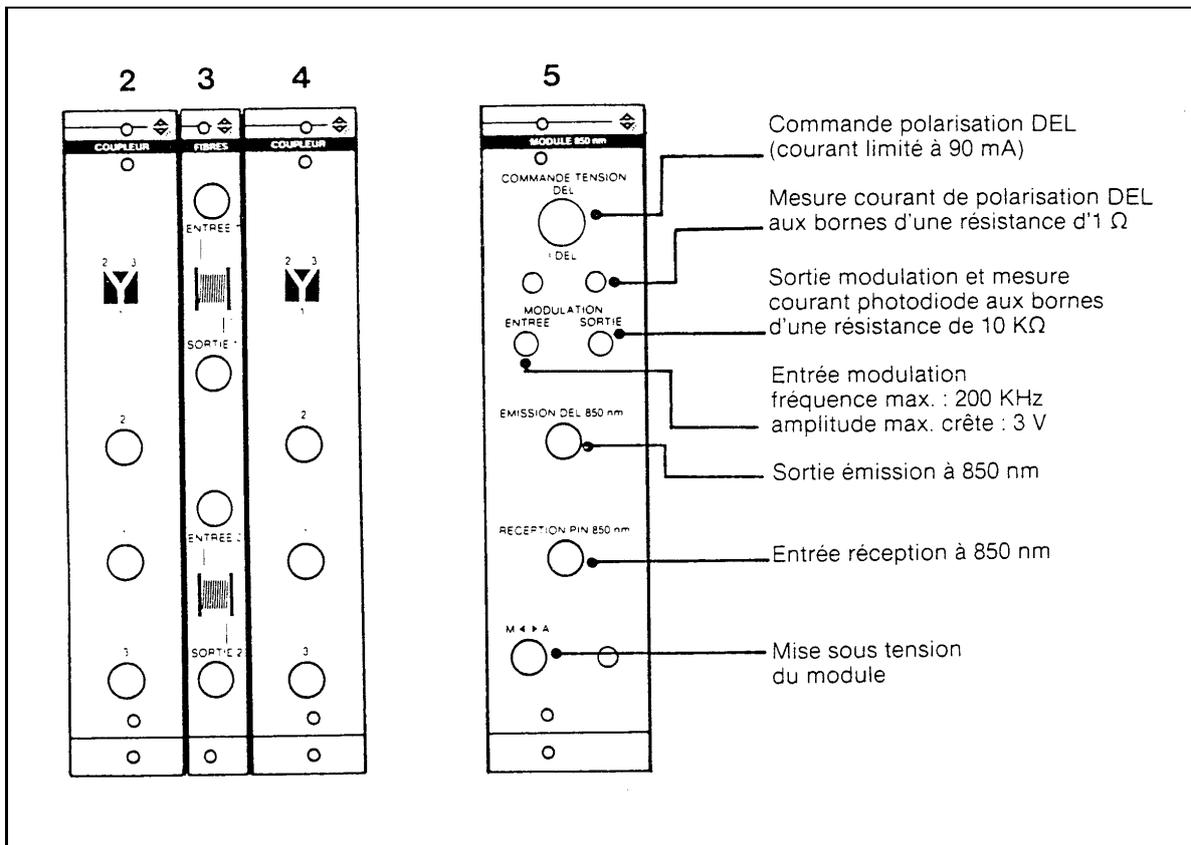
**Schéma structurel de la maquette de démodulation du son**



**Schéma fonctionnel de la fonction démodulation**







cadre 1 : Instructions d'utilisation page 4 manuel EducOptic.

### MODULE 1300 nm

#### Emetteur

TYPE : \_\_\_\_\_ **DEL**

REFERENCE : \_\_\_\_\_ **DE 1041**

Courant direct Max. : \_\_\_\_\_ **IF = 300 mA**

Puissance moyenne : \_\_\_\_\_ **P = 15 μw**  
(avec connecteur, à IF = 100 mA)

#### Récepteur

TYPE : \_\_\_\_\_ **PDA**

REFERENCE : \_\_\_\_\_ **CG 4100**

Tension de claquage : \_\_\_\_\_ **VBR = 25,32 V**  
(à Id = 100 μA)

Sensibilité (à Vp = 10 v) : \_\_\_\_\_ **S = 0,67 A/W**

Facteur de multiplication : \_\_\_\_\_ **M = 6,16**  
(à Vp = 0,95 VBR)

cadre 2 : Caractéristiques optiques module 1300 nm.

**MODULE 850 nm**

**Emetteur**

TYPE : \_\_\_\_\_ 012

REFERENCE : \_\_\_\_\_ DEL

Courant direct Max. : \_\_\_\_\_ SG 1031

Puissance moyenne : \_\_\_\_\_ IF = 100 mA  
 (avec connecteur, à IF = 50 mA) P = 18,6 μw

**Récepteur**

TYPE : \_\_\_\_\_ PIN

REFERENCE : \_\_\_\_\_ CG 5605

Tension inverse Max. : \_\_\_\_\_ VF = 150 V  
 (à Id = 100 μA)

Sensibilité (à Vp = 10 v) : \_\_\_\_\_ S = 0,52 A/w

**MODULE RETRODIFFUSION**

**Emetteur**

TYPE : \_\_\_\_\_ LASER

REFERENCE : \_\_\_\_\_ C86051EV3

Longueur d'onde : \_\_\_\_\_ λ = 850 nm

Puissance moyenne : \_\_\_\_\_ P = 1,3 μw  
 (avec connecteur, à IF = 5,5A)

**Récepteur**

TYPE : \_\_\_\_\_ PDA

REFERENCE : \_\_\_\_\_ CG 5705

Longueur d'onde : \_\_\_\_\_ λ = 850 nm

Tension de claquage : \_\_\_\_\_ VBR = 230 V  
 (à IF = 10 μA)

Sensibilité (à Vp = 10 v) : \_\_\_\_\_ S = 0,6 A/w

Facteur de multiplication : \_\_\_\_\_ M = 150  
 (à Vp = 0,95 VBR)

cadre 3 : Caractéristiques optiques module 850 nm et module rétrodiffusion.

**COUPLEURS OPTIQUES**

**Pertes dans le sens séparateur**

012

	Module 3	Module 4
Pertes dans le sens 1 vers 2	-4,44 db	-3,95 db
Pertes dans le sens 1 vers 3	-4,12 db	-3,54 db

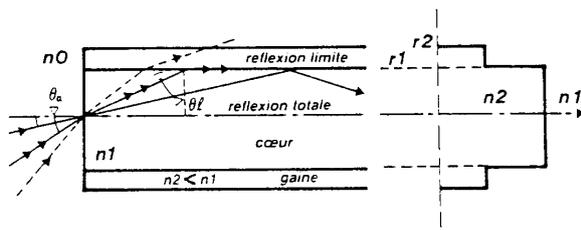
**Pertes dans le sens concentrateur**

	Module 3	Module 4
Pertes dans le sens 2 vers 1	-4,70 db	-2,13 db
Pertes dans le sens 3 vers 1	-3,25 db	-1,67 db

**BOBINES DE FIBRES**

Nature de la fibre : _____	50/125
Fabricant : _____	ATT
Ouverture numérique : _____	N = 0,19
Affaiblissement linéique (à 1300 nm) : _____	A <sub>1300</sub> = 0,5 db/km
Affaiblissement linéique (à 850 nm) : _____	A <sub>850</sub> = 2,5 db/km
Longueur F1 : _____	L <sub>1</sub> = 1140 m
Longueur F2 : _____	L <sub>2</sub> = 820 m

cadre 4 : Caractéristiques optiques coupleurs et bobines.



**a) Propagation dans une fibre à saut d'indice :**

Les rayons lumineux à l'intérieur de la fibre attaquant l'interface cœur/gaine à des angles différents. Ceux qui ont un angle supérieur à l'angle limite de réfraction  $\theta_l'$  sont transmis dans le cœur par réflexion totale; les autres se réfractent dans la gaine et sont rapidement atténués.

Les rayons arrivant sur l'interface sous une incidence inférieure à  $\theta_l'$  sont contenus, à l'entrée de la fibre, dans un cône de demi-angle au sommet  $\theta_a$  (cône d'acceptance) tel que :

$$n_0 \sin \theta_a = n_1 \sin (90 - \theta_l') = n_1 \cos \theta_l' = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_l'}$$

or l'angle limite de réfraction l'interface cœur/gaine est donné par :

$$\sin \theta_l' = \frac{n_2}{n_1}$$

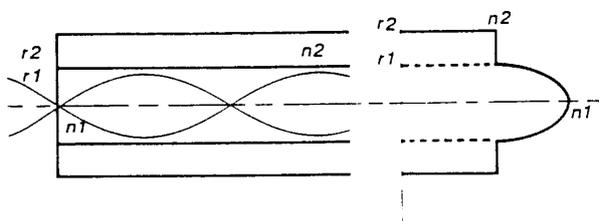
d'où :

$$n_0 \sin \theta_a = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Si le milieu extérieur est l'air  $n_0 = 1$ , on définit alors l'ouverture numérique :

$$ON = \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

**b) Propagation dans une fibre à gradient d'indice**



Dans une telle fibre, le profil d'indice du cœur est quasiment parabolique; il est donné par une relation de la forme :

$$n(r) \approx n_1 - (n_1 - n_2) \left(\frac{r}{r_1}\right)^2$$

$n_1$  indice maximum du cœur

$n_2$  indice de la gaine

On ne peut donc définir qu'une ouverture numérique locale

$$O.N = \sin \alpha(r) = \sqrt{n^2(r) - n_2^2}$$

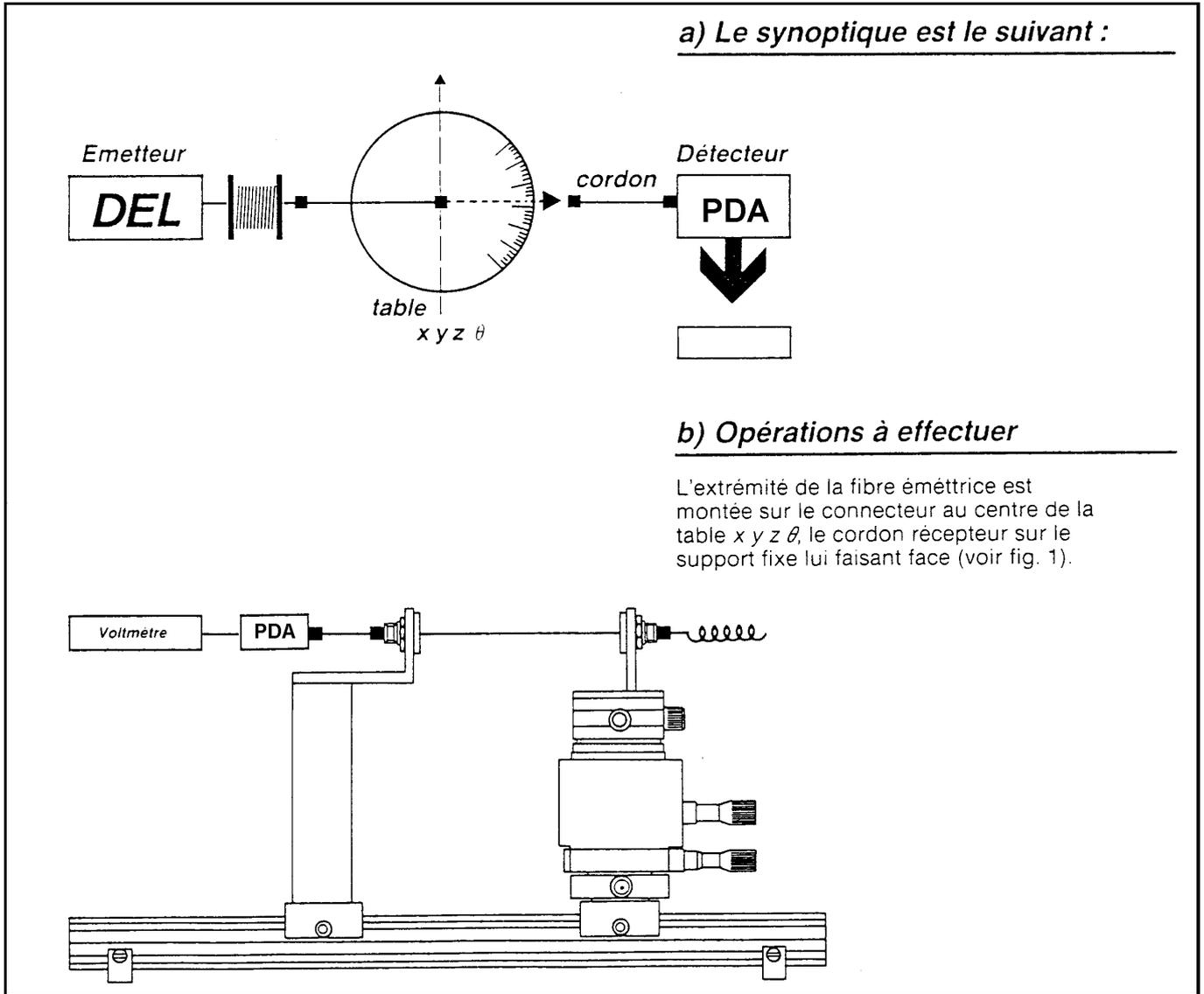
On caractérisera cependant la fibre par son ouverture théorique maximale.

$$O.N. th MAX = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

**Remarque**

Si les conditions d'injection d'équilibre sont réalisées, on obtient à la sortie un cône d'émission de même angle que celui de l'entrée.

cadre 5 : Théorie de l'ouverture numérique.



cadre 6 : Mesure de l'ouverture numérique, principe du montage.

## 1 - LE PRINCIPE DE LA RETRODIFFUSION

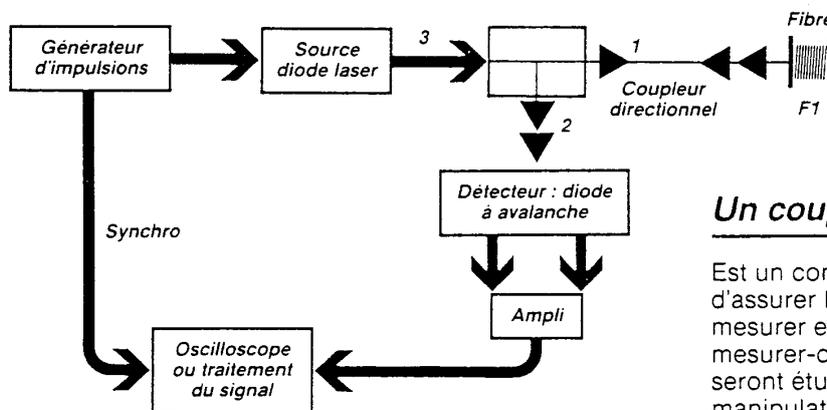
Lorsqu'on envoie une impulsion de lumière de grande puissance, une partie de l'énergie lumineuse est diffusée par le matériau constituant le guide. Chaque section élémentaire de la fibre se comporte comme un défaut ponctuel et renvoie vers la source une partie infime de la lumière incidente.

En collectant cette lumière et en la détectant, on peut recueillir un signal qui, une fois analysé, permet de contrôler l'atténuation de la fibre, sa longueur, la présence et la position d'un défaut, l'atténuation d'un connecteur.

Cette mesure par rétrodiffusion est extrêmement utile car elle permet d'effectuer une cartographie d'une liaison complète à partir d'une seule extrémité, sans destruction de la fibre.

## 2 - APPAREILLAGE

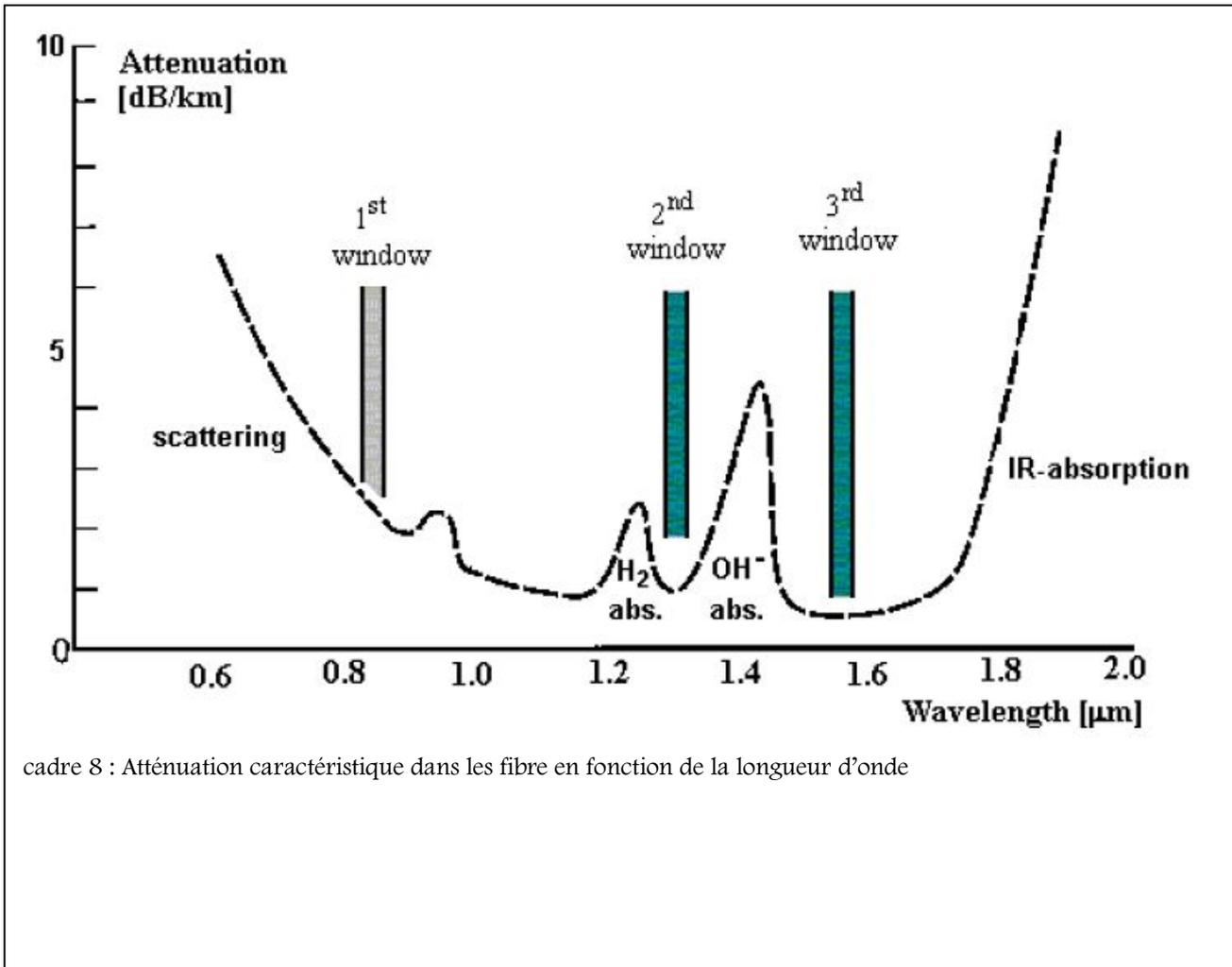
*Le synoptique est le suivant :*



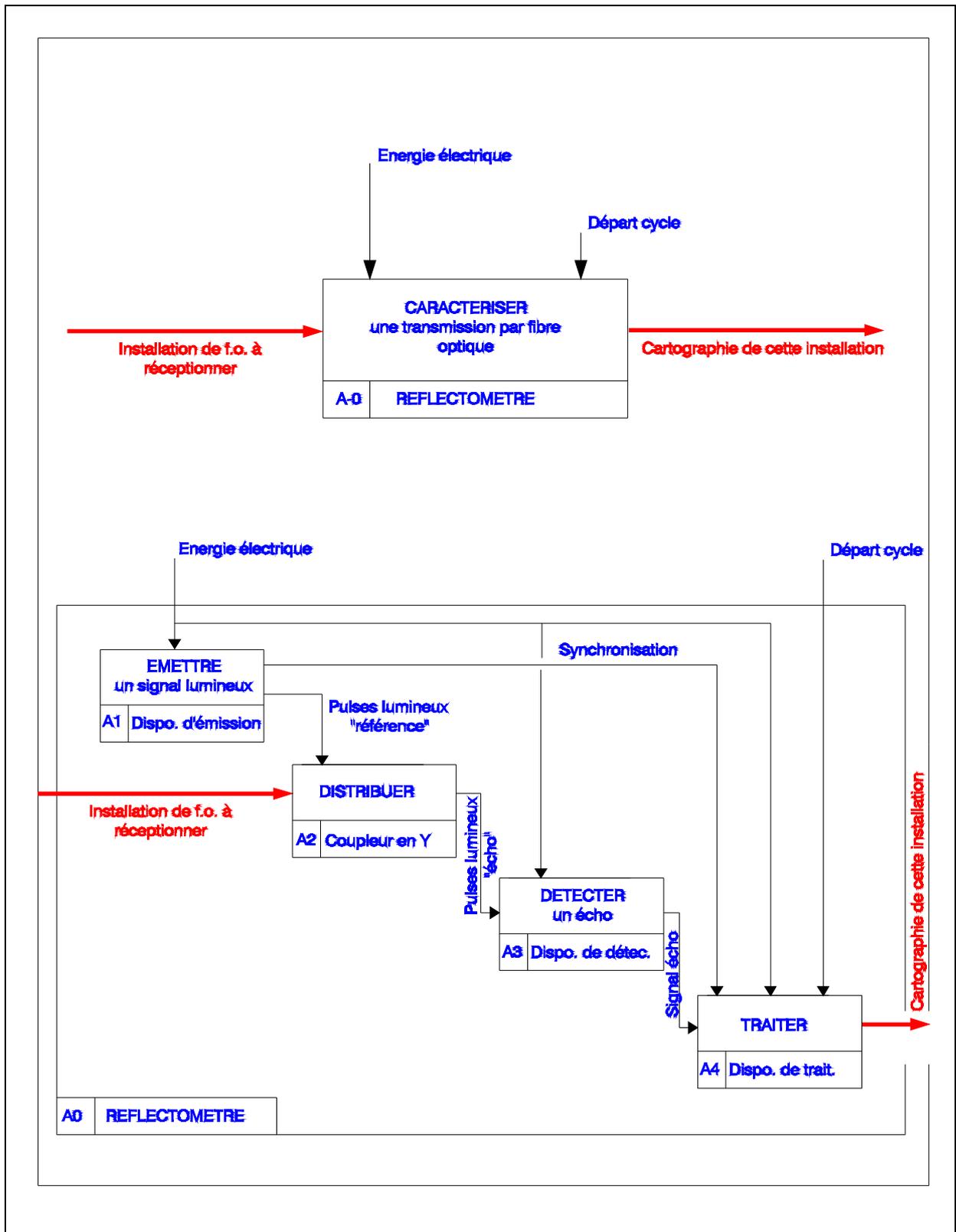
### Un coupleur directionnel

Est un composant dont le rôle est d'assurer la liaison incidente laser-fibre à mesurer et la liaison retour fibre à mesurer-détecteur. Ses caractéristiques seront étudiées en détail dans la manipulation "coupleurs".

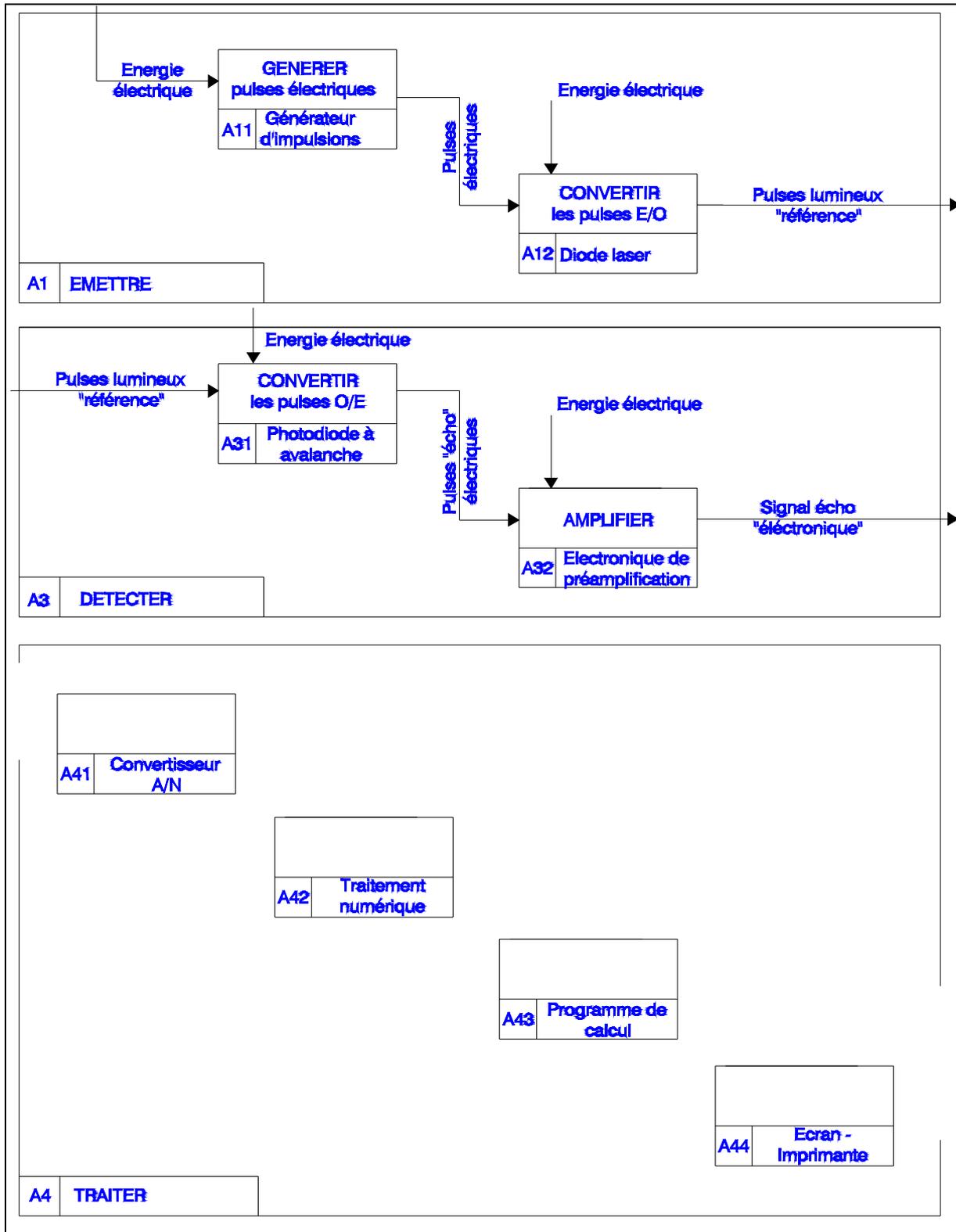
cadre 7 : Étude de réflectométrie.



cadre 8 : Atténuation caractéristique dans les fibre en fonction de la longueur d'onde



cadre 9 : SADT Réflectomètre industriel.



cadre 10 : SADT Réflectomètre industriel à compléter.

**Procédure simplifiée d'utilisation du  
réflectomètre SCHLUMBERGER SI 7721**

Ce réflectomètre (OTDR) permet d'effectuer une mesure de rétrodiffusion de fibres multimodes, à la longueur d'onde 850 nm.

**Remarque générale** : procéder au nettoyage systématique des extrémités des férules pour tout raccord

**1°) Présentation du réflectomètre**

Le réflectomètre est équipé d'un connecteur PFO à sa sortie et toutes les fibres sont équipées de connecteurs ST. Une jarretière d'adaptation mixte PFO / ST est branchée en permanence sur la sortie de l'OTDR.



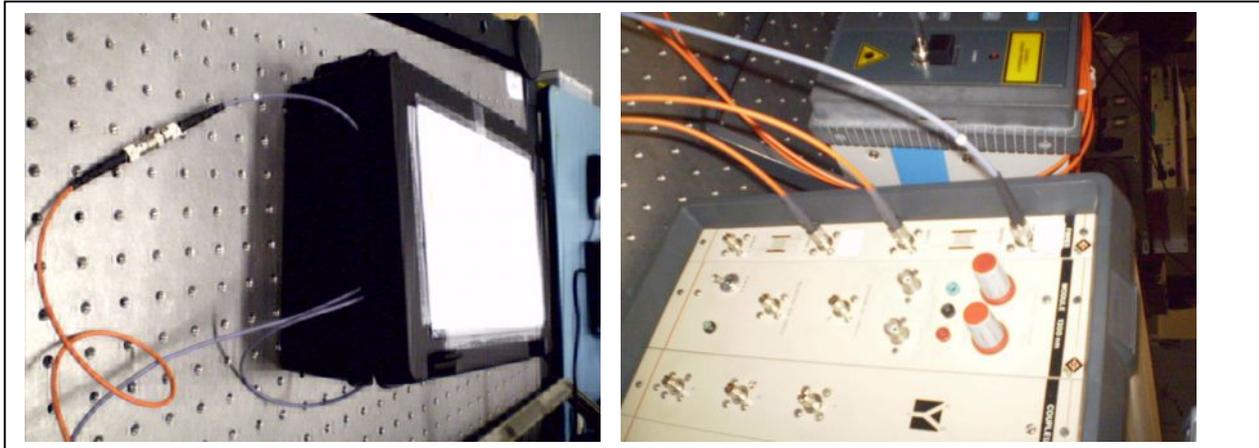
Jarretière d'adaptation

L'OTDR démarre, à la mise sous tension (clef sur 1), avec une configuration par défaut qu'il faut modifier par la suite pour améliorer la précision de la mesure.

- ⇒ 1, 2 et 3 : touches pour activer des mesures automatiques de traitement de la courbe
- ⇒ 4 : molette permettant de modifier une valeur, régler le facteur de zoom, etc ..
- ⇒ 5 : touche de validation de la molette
- ⇒ 6 : déplacement de la fenêtre de zoom
- ⇒ 7 : réglage du facteur de zoom (avec la molette)
- ⇒ 8 : active le mode curseur
- ⇒ 9 : pour imprimer (ne pas utiliser)
- ⇒ 10 : lancement de la mesure en mode moyennage (par opposition au mode temps réel initial)
- ⇒ 11 : accès au menu de configuration de la mesure (puis sortie)
- ⇒ 12 : lancement mode temps réel

## 2°) Raccordement du réflectomètre

Relier la jarrettière à une extrémité de la valise amorce puis la sortie de la bobine amorce au réseau de fibres à analyser.



## 3°) Configuration du réflectomètre

Appuyer sur la touche (11) pour modifier certaines valeurs de configuration. Avec la molette (4), se déplacer dans le sous-menu et valider avec la touche (5) la modification de la configuration

- Etalonnage (valeur de l'indice de réfraction directement mis en mémoire ou longueur d'une fibre connue du même type que la fibre que l'on veut analyser)
- Longueur (donc puissance) de l'impulsion
- Cumul (moyennage) sur le nombre d'échantillons choisis

Appuyer sur la touche (11) pour sortir.

**Remarque importante :** pour faire de bonnes mesures il faut travailler en mode moyennage sur les 256 acquisitions, en appuyant sur la touche (10).

### **Réglage du zoom :**

Le bouton (7) permet de régler la valeur du zoom avec la molette : l'appui sur la touche de validation (5) permet de basculer de l'axe des abscisses (longueur) à l'axe des ordonnées (puissance).

Le bouton (6) permet si nécessaire de déplacer la fenêtre de zoom.

**Attention !** bien gérer le bouton 7 pour que l'axe sélectionné (en surbrillance sur l'écran) soit bien celui sur lequel on cherche à régler le zoom.

### **Mesures automatiques :**

La touche (1) permet d'activer la fonction de mesure automatique des atténuations linéiques des différents tronçons (spans) de fibre et d'évaluer la perte d'une atténuation localisée (par exemple une soudure entre 2 bobines)

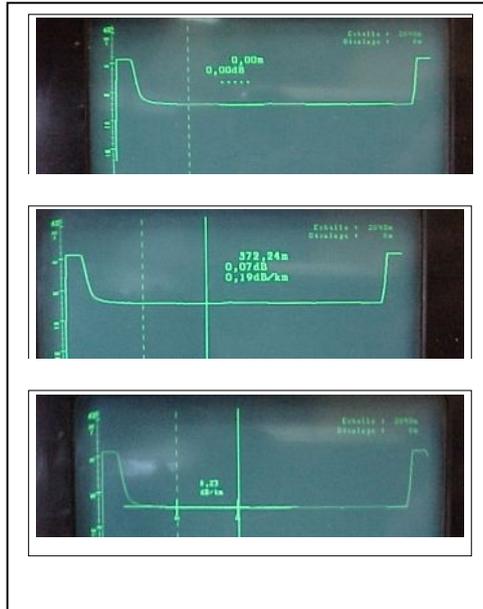
Si la mesure automatique ne donne pas de résultat (message impossibilité d'afficher), il faut gérer manuellement la mesure, en utilisant les curseurs.

**Utilisation des curseurs (voir séquence ci-dessous) :**

L'appui sur la touche (8) permet de placer un curseur sur la courbe, le déplacement se faisant avec la molette. Pour placer une référence, appuyer sur la touche validation lorsque le curseur est placé au bon endroit : une trace verticale en trait discontinu doit apparaître.

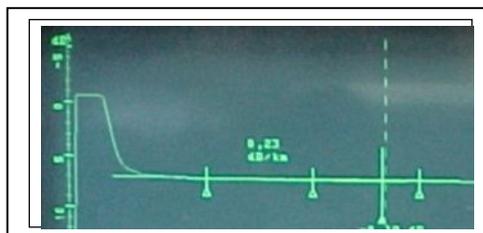
Déplacer ensuite le curseur vers la droite : la valeur de l'atténuation absolue et la distance entre la référence posée et le point en cours est affichée.

L'appui sur la touche (3) permet alors de poser la deuxième marque et de faire apparaître les mesures d'atténuation linéique entre les 2 marques définies.



Cette opération peut être reproduite des 2 cotés de la soudure, ce qui permet d'obtenir 2 segments sur la courbe de rétrodiffusion.

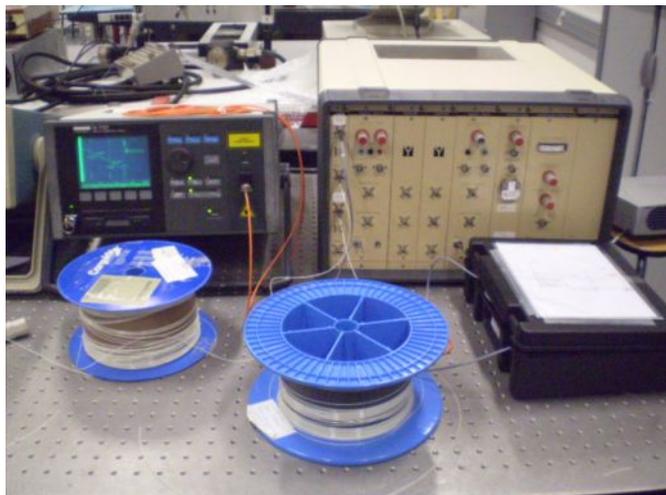
Déplacer alors le curseur entre les 2 segments puis appuyer sur la touche (2) (mesure d'atténuation localisée).



**En fin de manipulation :**

- ⇒ éteindre le réflectomètre
- ⇒ déconnecter les bobines **en remplaçant les embouts de protection**

#### 4°) Accessoires



Montage final



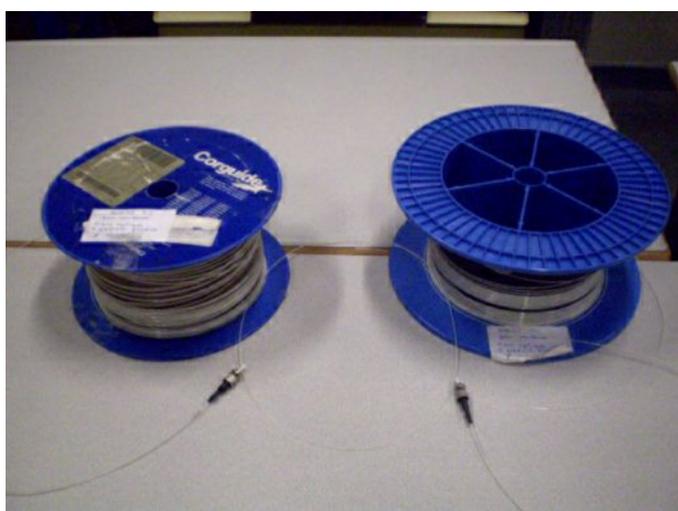
Pinces à dénuder, soudeuse, cliveuse



Cliveuse



Soudeuse



Deux demi-bobines soudées