

Moyens de transmission par Câble

Mr. H. Leijon, ITU



**UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION
UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES**



MOYENS DE TRANSMISSION PAR CABLE

Note : Ce document reflète le standing en année 1982

Bref aperçu historique - développement des moyens de transmission par câble - des MIC ou moyens de transmission analogique

Grosso modo, il y a quelques décennies, la technique des MIC n'était pas encore introduite dans les réseaux des télécommunications. Les raisons qui y ont contribué étaient:

- l'avènement du transistor en 1956;
- le coût en augmentation des installations par câble, surtout dans les grandes villes.

Les MIC furent introduits sur le marché comme un système de transmission seulement, en vue d'augmenter la capacité des câbles à paires symétriques intercentraux.

Pour cette application le rapport coût, actuellement d'après la figure 1, est valable. Dans pas mal de pays, un petit groupe, mais qui n'a cessé d'augmenter, de paires de câbles symétriques était déjà en ce temps exploitées par des systèmes de multiplexage de type FDM. Ces systèmes étaient relativement bons pour également les applications des courts parcours. Cependant il était généralement admis que les MIC étaient les systèmes de futur les plus sûrs.

Aujourd'hui quelques systèmes de paires de câbles FDM sont couverts et remplacés par des MIC, puisque l'amalgamation entre les deux systèmes en paire de câble commune n'est pas généralement recommandée. Inutile de dire que le taux commun de bits utilisés pour cette application était de 1.5 ou de 2Mbit/s.

Après standardisation au début des années 70, l'étape hiérarchique suivante, les 6 et 8 Mbit/s respectivement, la gamme des moyens de transmission fut agrandie considérablement grâce aux problèmes d'exploitation des paires de câbles ordinaires pour les systèmes MIC fonctionnant à des taux de bits substantiellement supérieurs à 2Mbit/s.

Ensuite, l'introduction des systèmes fonctionnant à des taux de bits supérieurs à 2 Mbit/s a coïncidé, jusqu'à présent avec l'introduction des systèmes numériques MW.

Bien que le niveau du système primaire était utilisé pour la radio numérique MW, il était évident que le coût par canal était inférieur à des taux de bits supérieurs.

Dans certains pays, le besoin s'est fait sentir d'intégrer les liaisons aux systèmes numériques MW fonctionnant à des niveaux secondaires et tertiaires constitutifs, besoin initial pour les taux de bits supérieurs sur câble, alors que dans d'autres pays ce besoin s'est également fait sentir mais pour les applications de câbles utilisant les taux de bits normaux. Puisque normalement le type de câble existante étaient, du point de vue technique, très pauvre (tels que les câbles à paires symétriques), on a songé à créer de nouveaux types de câbles en paires et coaxiaux (tels que les câbles μcoaxiaux). Les câbles à paires symétriques étaient utilisés avec une ou deux directions dans un seul câble.

Pour les taux de bits du 3ème et 4ème ordre et au-delà, les câbles existants à câble coaxial et le câble à diamètre coaxial normal se sont révélés adéquats, du point de vue technique et aussi économique. Actuellement les systèmes à fibres optiques ont atteint une maturité économique et technique telles que de tels systèmes peuvent être considérés comme des moyens de transmission consacrés.

Les systèmes de transmission disponibles a être utilises dans un réseau digital ou pendant une phase de conversion, de l'analogique au numérique

A. Câbles a paires symétriques utilises initialement pour la fréquence de la voix

A.1 Caractéristiques techniques

"Les câbles a paires symétriques "réguliers" sont mieux adéquats pour les systèmes MIC primaires. Cette combinaison des systèmes/moyens est très notable aujourd'hui dans le monde. Pour les autres applications, voir point B.3. Le seul obstacle sérieux pour l'utilisation de ces câbles a paires symétriques réguliers pour les systèmes MIC est constitué par le NEXT (réplique réduite) (near-end crosstalk -NEXT). Comparer le tableau 1 GAS 3 WP C sur les sources d'interférences affectant les systèmes utilisant les câbles a paires et d'autres moyens.

Table 1/B.III.4 : Sources de trouble affectant des systèmes de transmission numérique

Systèmes de transmission numérique utilisant:	Sources de trouble					
	Distorsion de l'amplitude	Distorsion de temps de propagation	Fluctuations	Bruit thermique	Bruit impulsif	Diaphonie
Paires symétriques sur câbles désignés au début pour VF	(1) Lourd	Négligeable	(2) Considérable	Négligeable	(3) Lourd	(4) Lourd
Câbles coaxiaux	(1) Lourd	Negligible	(2) Considérable	(5) Considérable	Négligeable	Négligeable
Liaisons radio	Négligeable	Lourd	(6) Lourd	Lourd	Négligeable	Négligeable
Câbles a fibres optiques	Négligeable	Considérable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable

Les câbles de jonction et ceux du réseau local sont utilisés pour les MIC. Dépendant de l'installation du câble, on peut régler les problèmes du NEXT en choisissant des couches/unités pour les trajets va-et-vient des directions des PCM(si une seule opération par câble est utilisée).

Les paramètres essentiels pour le planificateur sont l'atténuation du NEXT et des pertes.

Les valeurs typiques du NEXT sont: (en dB)

GAS 3, typique Mesures suédoises

Couches non adjacentes	73-75	65-90
Unité non adjacente	--	80-90
Couches adjacentes	62-64	60-80
Unités adjacentes	--	70-80
Même couche	56-58	52-70

La perte est mesurée à une fréquence = moitié du taux de bits, puisque le spectre de l'énergie du MIC est centré autour de cette fréquence pour la transmission bipolaire standardisée (AMI, HDB 3).

Valeurs typiques à 1 MHz sont: (dB/km)

<i>Calibre du fil</i>	<i>Isolation par papier</i>	<i>Isolation en plastique</i>
0.4 mm	24-26	19-22
0.5	19-22	15-18
0.63	15-18	12-15
0.7	13-16	11-14
0.9	11-14	8-11
1.1	9-11	

Pour un câble spécifique, i.e. isolation par papier, $C = 38 \text{ nF/km}$, les diagrammes comme ceux montres en Figure 2 peuvent être consultes.

La température de dépendance de la perte atteint largement 2 per mille per dégrée Centigrade.

Le temps de propagation est parfois très important. Pour les câbles a paires cela est négligeable; aux alentours de $4.3 \mu\text{s/km}$ pour l'isolation a papier et $5.8 \mu\text{s/km}$ pour les files isoles en plastique.

Les valeurs typiques d'impédance sont 120-130 ohms.

A.2 Niveau de standardisation

Même si le moyen pour le câble lui même n'est pas standardisé, il a été possible de développer le matériel électronique numérique pour les transmissions a câble de manière universelle pour tous les pays, avec des fils a calibre différent, des isolations différentes, etc. (les conditions favorables d'environnement, comme la température, l'humidité et les voltages supérieurs, sont adéquates pour les variations de ce matériel).

A.3 Applications et structure de coût

La figure 1 montre le diagramme qui débouche sur l'introduction de la technique numérique dans le domaine des télécommunications. On notera que le diagramme va changer pour tous les systèmes concernés lorsque la commutation numérique est introduite.

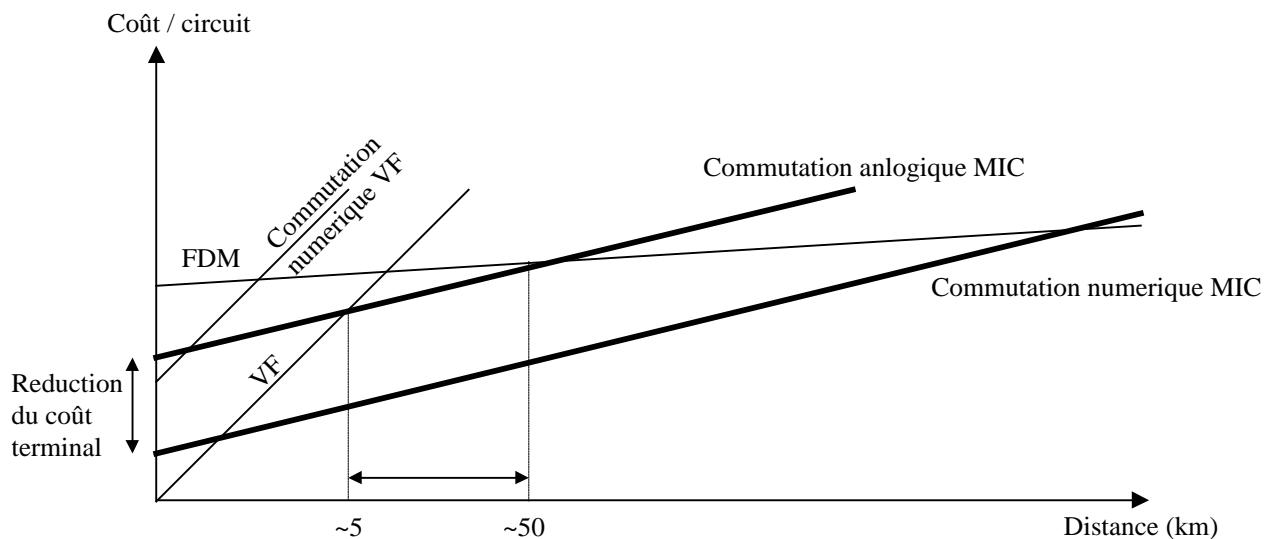


Figure 1 : Effet de la Commutation Numérique. La distance économiquement repliable de la transmission MIC croit quand la commutation analogique (flèche courte) est remplacée par le numérique

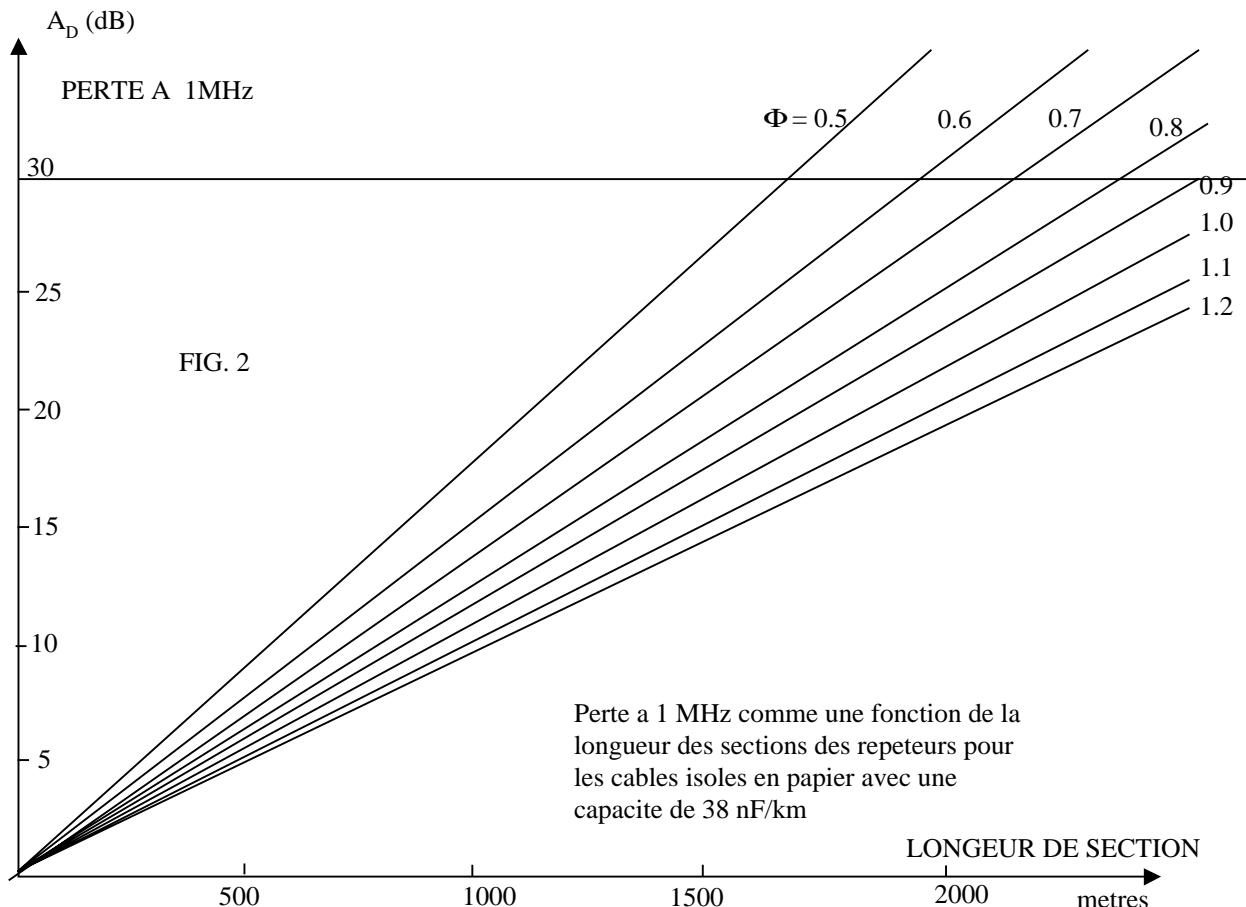


Figure 2 : Perte a 1 MHz comme une fonction de la longueur des sections des repeteurs

Alors que le coût des transmissions MIC baisse, le contraire est vrai pour les transmissions VF et FDM. Bien entendu des marges de coût intermédiaires sont appliquées dans le cas de la commutation analogique à un noeud et dans le cas de la commutation numérique pour un autre noeud.

Généralement, les systèmes MIC primaires dans un câble VF "régulier" semblent retenir l'attention du marché pour une longue période à venir. Les applications principales seront:

- centre numérique à URAD;
- jonctions numériques;
- PABX numérique au centre local analogique/numérique,

a condition que la distance soit inférieure à 10 Km dans les zones métropolitaines et supérieure dans les zones rurales, le besoin en circuit pour un parcours spécifique peut être satisfait par un MIC avec un câble existant et/ou avec un nouveau câble. Pour plus de capacité dans les jonctions du réseau, d'autres systèmes seront utilement complémentaires, telles les fibres optiques, les liaisons radio numériques MW et éventuellement des paires de câbles créées pour ce besoin et des câbles microcoaxiaux. Les concurrents de la zone rurale peuvent être les petites liaisons numériques radio à multiaccès et les câbles pourvus de poteaux destinés au MIC.

A.4 Ingénierie

On accepte communément une marge minimum d'erreur de 10^{-8} pour une section à répéteur individuel pendant 95% du temps, ou 10^{-7} pendant 99.99 % du temps. Cette dernière figure est utilisée dans le manuel GAS.

Le planificateur doit savoir qu'un certain nombre de systèmes peut être installé sans transgresser les objectifs du taux d'erreur.

Pour le calcul d'un nombre maximum de systèmes en un câble, plusieurs formules sont utilisées. Celles utilisées en suède sont:

$$\bar{A}_N - A_L - A_{LR} - 1.6\sigma_N - X \cdot \log n \geq S / N(A_L) \quad (\text{pour une opération par câble})$$

$$\bar{A}_F - 1.6\sigma_F - 10 \cdot \log(L(n-1)) \geq S / N \quad (\text{pour l'opérations à deux câble})$$

\bar{A} = valeur moyenne de l'atténuation diaphonique, mesurée entre les paires potentielles de transmission et de réception.

\bar{A}_F = valeur moyenne de l'atténuation diaphonique effective.

A_L = perte de câble à 1 MHz sur la longueur actuelle de la section.

A_{LR} = perte additionnelle à cause du calibre du fil ou de l'isolation. Elle est mise pour les différentes valeurs par rapport à la longueur des parties non homogènes du câble

Longueur < 15 m	$A_{LR} = 0$
15-40 m	$A_{LR} = 0.2$ dB
> 40 m	$A_{LR} = 0.4$ dB

σ_N = déviation standard de A_N

σ_F = déviation standard de A_F

S/N = signaux minimums des taux de bruit à l'entrée du répéteur pour obtenir un taux d'erreur = 10^{-8} .

n = nombre de systèmes MIC.

L = longueur de section exprimée en km

Concernant S/N (A_L) voir tableau 2

Concernant $X \log n$ voir tableau 3

Tableau 2	
A _D	S/N (A _D)
5-20	12,0
22	12,5
24	13,1
26	13,6
28	14,2
30	14,7

S/N (A_D) croit par
2 dB pour le câble aérien.

Tableau 3		
n	X log n	Facteur (x)
2	4.2	14
3	6.2	13
4	7.2	12
5	7.7	11
6	7.8	10
7	8.4	10
8	9.1	10
9	9.5	10
10	10.0	10, etc.

Procédure avec les graphiques (du GAS).

Etant donné les paramètres initiaux suivantes:

- type de câble et diamètre du conducteur;
- le nombre de système maximum envisagé;
- les critères d'utilisation,

les graphiques montrents en Figures 3 et 4 (du manuel GAS) permettent de déterminer les longueurs de la section du répéteur h en km et l'atténuation de cette longueur $\alpha \cdot h$ en dB.

La longueur doit être, pour la sûreté, réduite de 10 % pour les câbles en dessus, cependant, peuvent atteindre des températures supérieures.

L'impact du bruit du Central

Ce bruit apparaît (atténué) sur les paires MIC pers du central via la diaphonie des paires avoisinantes, p.e. le téléphone ou les circuits du télex ou circuits loués. Les sections terminales de régénération devraient par conséquent être normalement réduites à une longueur correspondant à une perte <20 dB, mais une section plus longue peut être possible sur les centraux crossbar modernes.

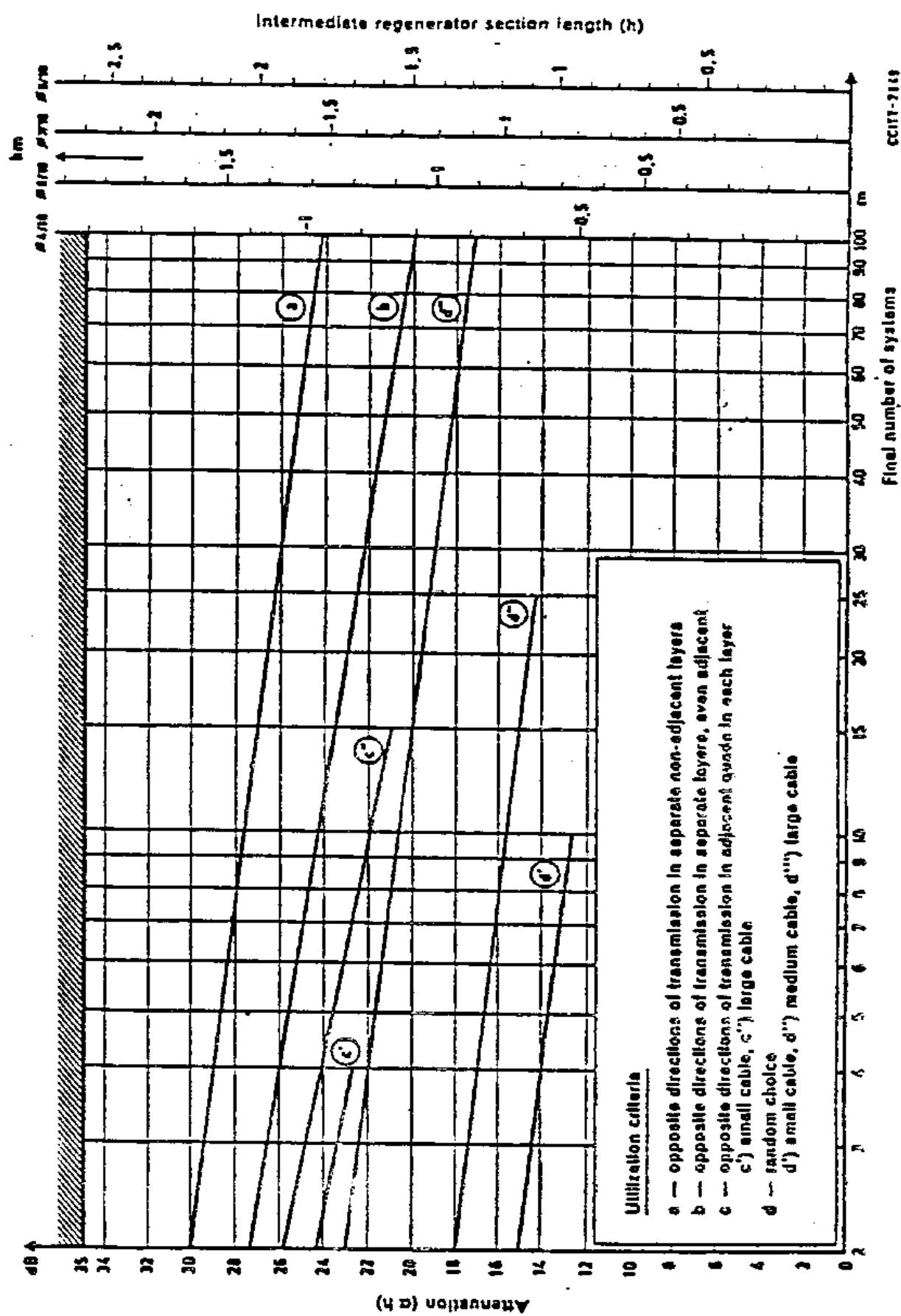


Figure 3 : Sections de régénération pour câbles à quartes isolé par papier et air

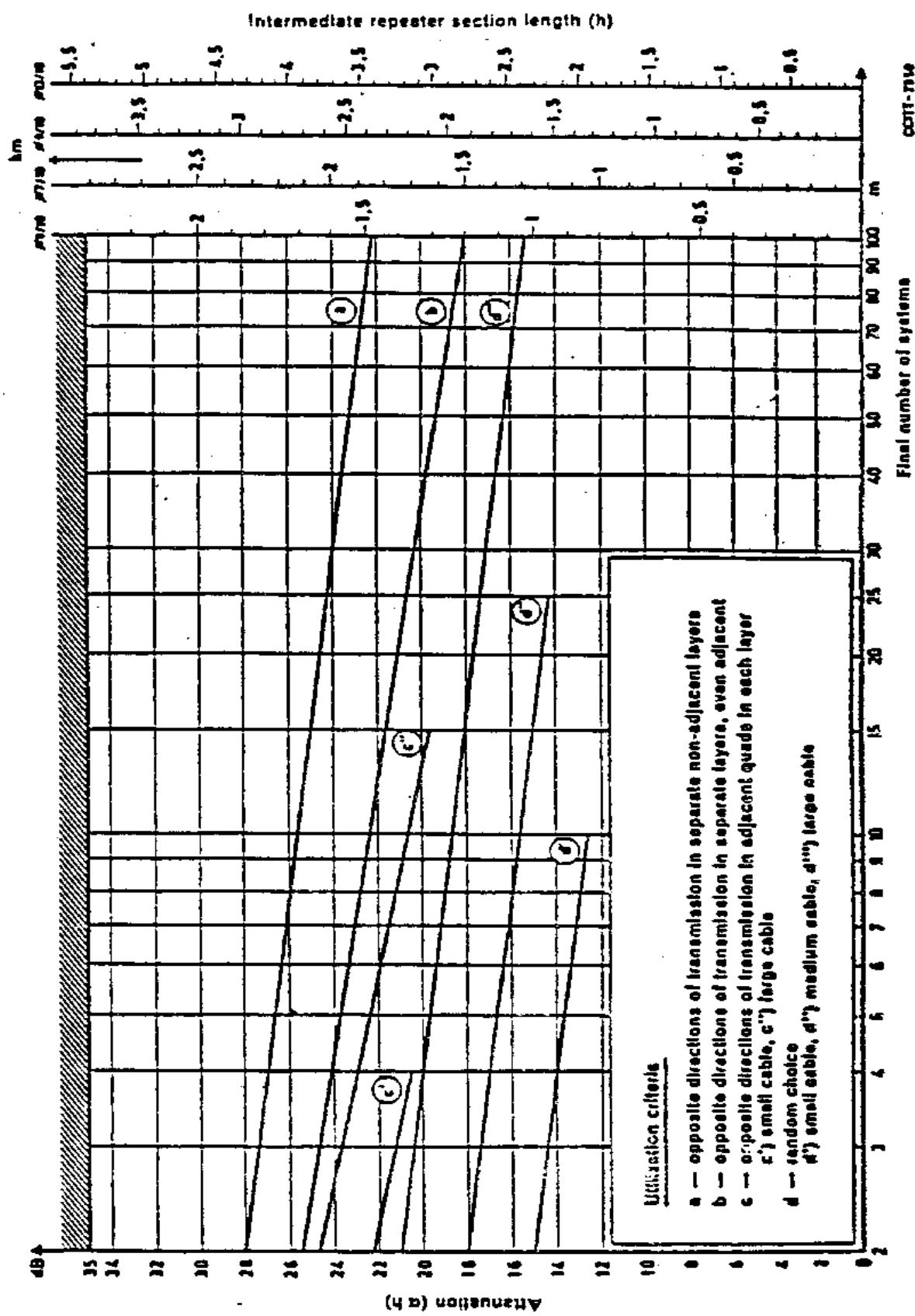


Figure 4 : Sections de régénération pour les câble à quartes en plastique

B. Quelques câbles symétriques destines a la transmission des systèmes primaires MIC

B.1 Caractéristiques techniques

Les câbles destines aux MIC ont été développée en vu d'augmenter le remplissage des systèmes primaires MIC jusqu'à 100%.

Dans la figure 5, on montre concrètement quelques caractéristiques des trois câbles suédois.

	Câble 1	Câble 2	Câble 3
Construction	1 quarte	10 paires, 20 paires en 5 unités de paires	Unités masqués 20, 40, 60, 80... paires ou moitié masqués 36, 68, 136... paires
Diamètre du fil (mm)	0.6	0.7, 1.0	0.5, 0.65, 0.7, 0.9, 1.2
Isolation du fil	Polyéthène rétrécissement à spécifier pour faire face à la capacité souhaitée		
Gaine interne (mm PE)	0.6	1.4	1.4
Blindage (mm A1)	0.15	0.20	0.1
Gaine externe (mm PE)	0.7	1.4	1.4
Capacité (nF/km)	41 ± 1	39 ± 2	44 ± 2
Longueur de la section du répéteur (une opér. câble)	2.4 km	2.2 km (0.7 mm)	différent pour les diff. diam.
Remplissage du câble du MIC	100 %	100 %	100 %
Contenu du câble	air	vaseline	eau, composée
Barrière humidité	0.15 (même comme écran)	0.20	lobe métallique 0.18 Cu or 0.2 Al
NEXT	>60 db entre les deux paires	>60 db entre 5 paires d'unité	>90 db entre paires du côté opposé l'écran

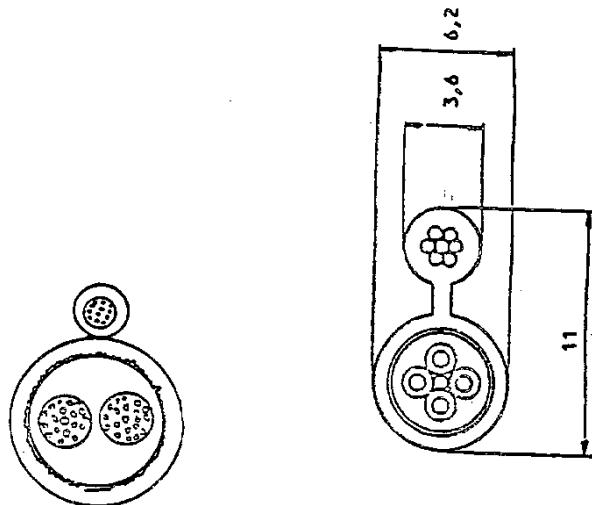


Figure 5 : Câbles dédiés pour les MIC (petite/moyenne capacité)

B.2 Niveau de standardisation

Les types de câbles mentionnés en haut destines aux MIC ne sont pas standardisés au niveau international.

B.3 Structure du coût, applications

Le coût est le même que pour les câbles symétriques, mais le coût du câble est à ajouter en plus par comparaison aux applications utilisant les câbles existants (voir Figure 6).

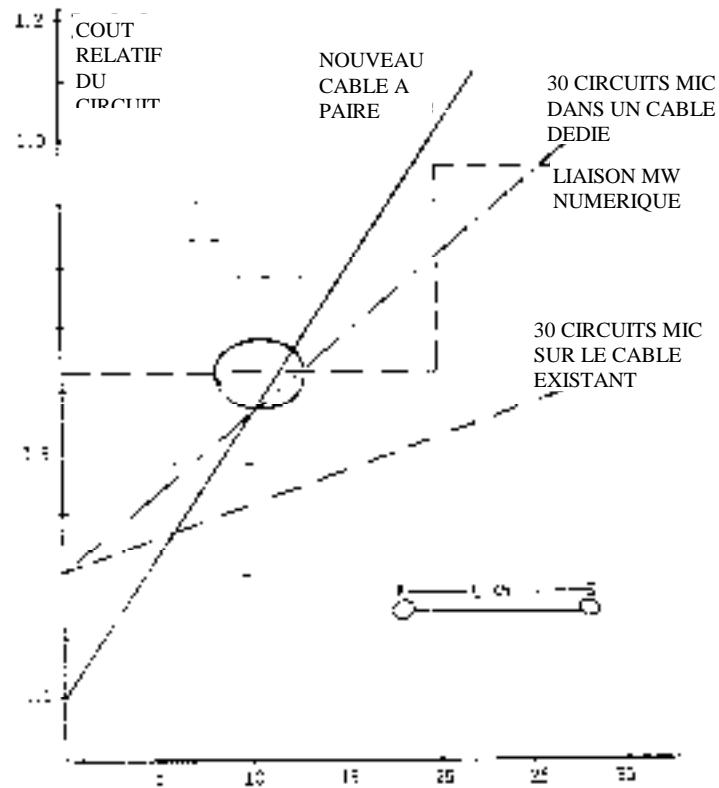


Figure 6 : Structure des coûts pour les capacités de 30 circuits (exemple) (Centres analogique)

Les applications principales sont les lignes aériennes rurales de petites capacité, utilisant les poteaux existants, ou des routes métropolitaines à capacité moyenne ou moindre où manque les câbles existants ne sont pas disponibles. Un troisième cas d'application pourrait être celui de l'entrée des connexions 8 Mbit/s aux tours radio utilisant deux câbles pour opération.

Pour le réseau local, désigné spécialement "faible coût", les câbles pourraient être envisagés , par exemple, en vue de faire fonctionner les systèmes MIC primaires pour la connexion des PABX numériques: avec un besoin relatif des répéteurs intermédiaires. Pour les connexions numériques d'abonné, fonctionnant à un taux de bit inférieur, tel que 144 kbit/s, les types de câbles d'abonnés existants ne vont pas présenter des problèmes spécifiques. (En envisage aussi des taux de bits comme 0.704 Mbit/s pour les circuits d'abonné multiplexés à 5×144 kbit/s, et des connexions à taux de bits inférieur destines aux PABX:es. Puisque cette résolution est contestable, il serait prématuré de considérer le problème des besoins en moyens de transmission en ce moment, mais il est évident qu'on préférerait un fil d'un diamètre au moins de 0.5 mm pour ce taux de bit).

B.4 Ingénierie

Si les câbles sont exclusivement utilisés pour les MIC, on peut ne pas tenir compte de l'impact des impulsions de bruits, permettant des sections entières à longueur finale.

C. Câbles spéciaux à paire pour la transmission 8 Mbit/s et 34 Mbit/s

C.1 Caractéristiques techniques

Dans le tableau suivant on montre quelques données d'un câble danois qui a été en circulation depuis 1977.

construction	4 ou 6 unités blindées, avec chacune 5 quartes
diamètre du fil	0.9 mm
isolation du fil	0.5 mm PE en mousse, même couleur pour toutes les paires
blindage	deux Cu-blindages 0.5 mm
blindage externe	0.15 mm Al, une partie de la gaine extérieure
NEXT	13 MHz (4B3T-kod); >139 dB 4.2 MHz >140 dB
remplissage de câble du MIC	8 Mbit/s 100 % 34 Mbit/s 50 jusqu'à éventuellement 100 %, selon l'épissage
perte	16.4 dB/km à 4.2 MHz 31.3 dB/km à 13 MHz

C.2 Niveau de standardisation

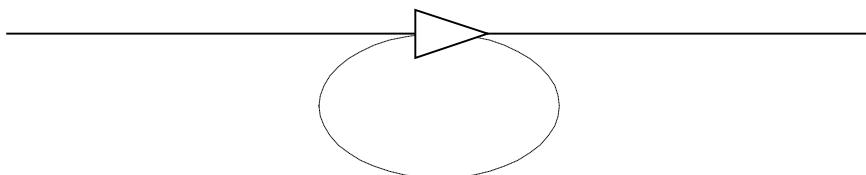
Le câble spécial mentionné en haut n'est pas recommandé ou standardisé au niveau international. On inclut dans la ref. CCITT G612 sept types de câbles à paires et deux types de câble à quartes pour une opération à deux câbles. Il n'y a pas donc de type standard uniforme disponible.

C.3 Structure de coût, applications

L'estimation en coût tend à s'approcher, du moins dans quelques années, du choix des fibres optiques. C'est aussi le même coût pour le câble coaxial. (voir le point E3). On peut procéder à une application spécifique dans le réseau interurbain principal à parcours court.

C.4 Ingénierie

En plus de tous les aspects dont il faut tenir compte quand on planifie des systèmes à 2 Mbit/s, il faut prendre en considération avec attention la plus faible et plus élevée diaphonie entre l'entrée et la sortie d'un répéteur spécifique. Ceci implique des restrictions dans la gaine du répéteur pour réduire ce qu'on a appelé NEXT:



Il faut surtout faire attention au processus d'épissage de la station du répéteur en vue d'éviter les courtes distances entre les unités sans blindage (voir Figure 7).

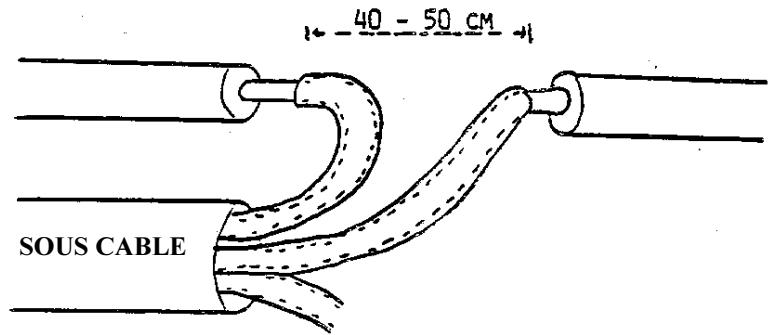


Figure 7 : Epissage

D. Câbles coaxiaux

D.1 Caractéristiques techniques

Les câbles coaxiaux sont définis dans la référence CCITT .G621-623. Pour ce genre de câbles il n'y a pas de problème d'utilisation:

- câble coaxial jusqu'à 34 Mbit/s, et éventuellement aussi 140 Mbit/s;
- câble coaxial à petit diamètre jusqu'à 565 Mbit/s;
- câble coaxial à diamètre normal jusqu'à 565 Mbit/s ou même à des taux supérieurs.

Pour les anciens câbles non répertoriés dans CCITT, on peut trouver quelques problèmes à cause des irrégularités d'impédance. Si les irrégularités sont périodiques en ce qui concerne la distance (par exemple une atténuation très forte d'affluence peut avoir lieu lors des fréquences où le signal réfléchi - comme un écho postérieur, (voir fig 8) et les signal original ont des phases opposées (voir figu 9).

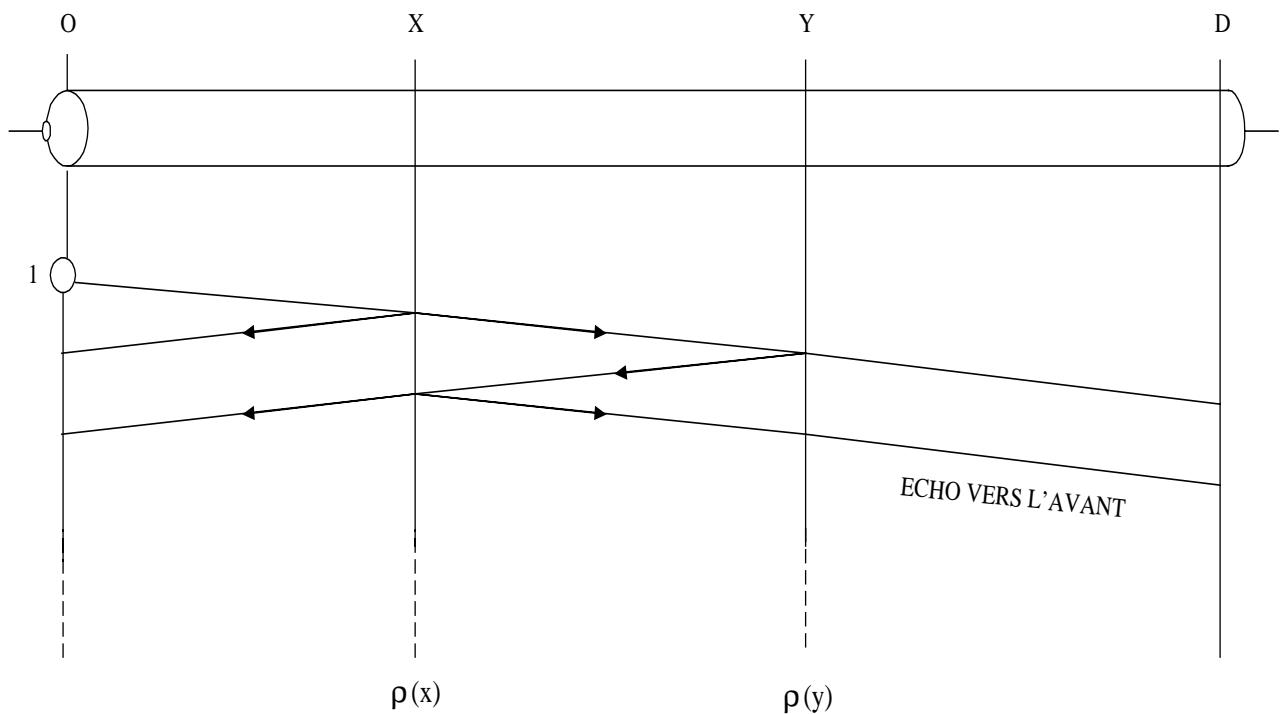


Figure 8 : Câble coaxial - Irrégularités d'impédance

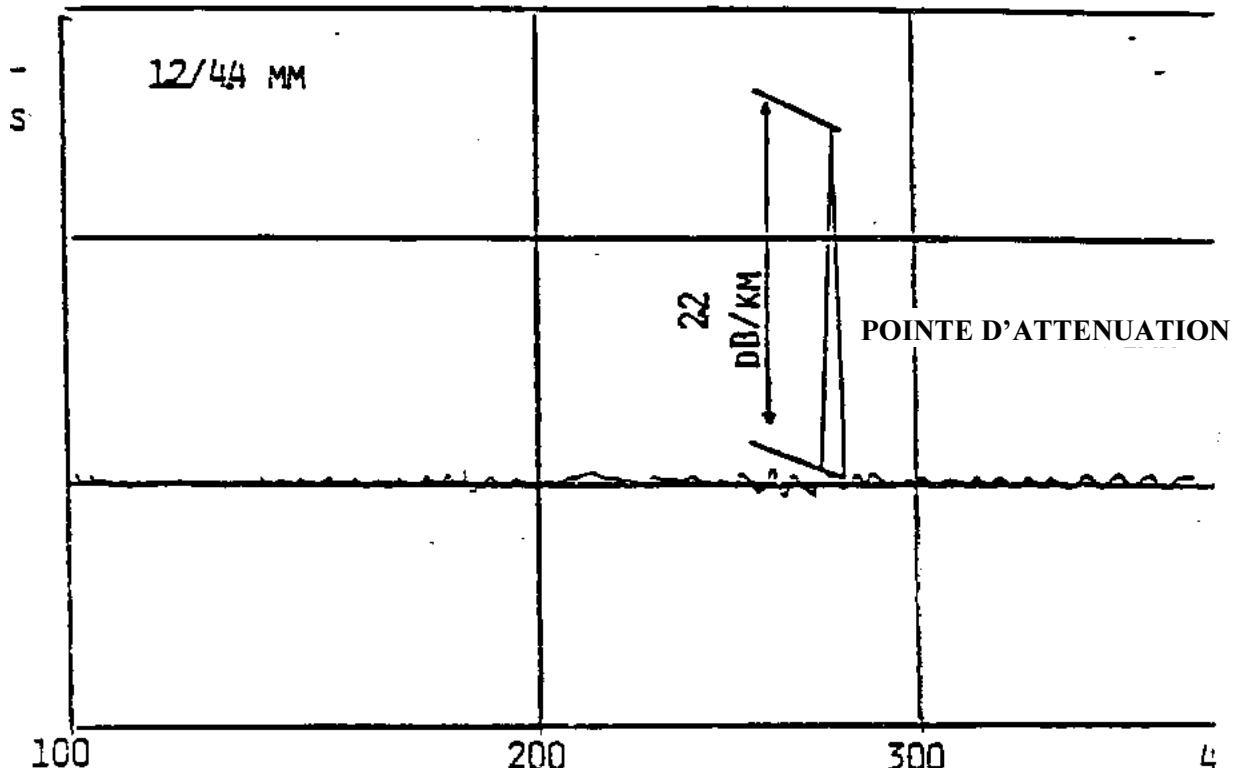


Figure 9 : Câble coaxial - Irrégularités d'impédance

D.2 Niveau de standardisation

Voir point D.1.

D.3 Structure de coût, applications

Il est nécessaire de faire une distinction entre les câbles coaxiaux existants (équipée complètement ou en partie avec système FDM à convertir en système TDM) et les nouveaux systèmes à câble coaxiaux. Si le câble existe déjà, l'équipement en système TDM est une alternative très compétitive pour les parcours LD et l'entre des liaisons pour station radio. Si un nouveau câble coaxial est demandé, le système à câble coaxial peut résulter plus cher que le système à fibres optiques, voir fig.10.

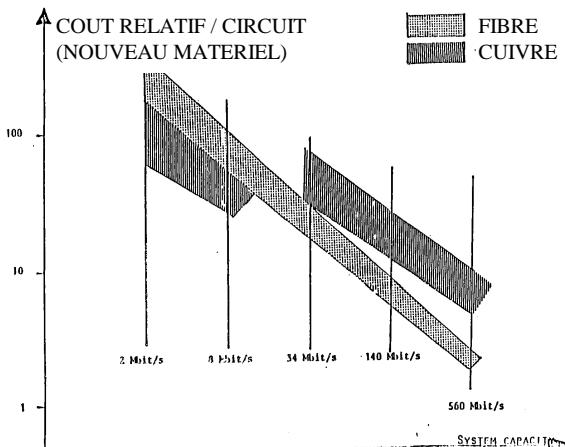


Figure 10
Coût relatif/circuit (nouveau équipement) / Capacité du Système

D.4 Ingénierie

Voir le point D.1 concernant les problèmes trouvés éventuellement lorsqu'on utilise les câbles coaxiaux du type ancien. Sinon l'étude technique est la même pour les systèmes FDM concernant l'alimentation en énergie, etc. Il est vrai que les systèmes sont élaborés pour être compatibles avec la longueur de la section du répéteur pour les systèmes FDM avec une capacité de canal correspondant (ou un peu supérieur).

E. Systèmes à fibre optique

E.1 Caractéristiques techniques

Les traits de ce système sont:

- perte faible;
- grande largeur de bande;
- petit diamètre;
- photopoid;
- faible courbure de rayon;
- liberté de diaphonie;
- absence des interférences électromagnétiques.

Ces propriétés offrent un nombre d'avantages comme moyens de transmission tels que:

- grand espace du répéteur;
- grande capacité de transmission;
- simple à installer.

La configuration du système à fibres optiques est montrée en Figure 10a et en Figure 11 on montre la construction d'un câble non conventionnel. La partie optique est constituée d'un noyau et d'une gaine.

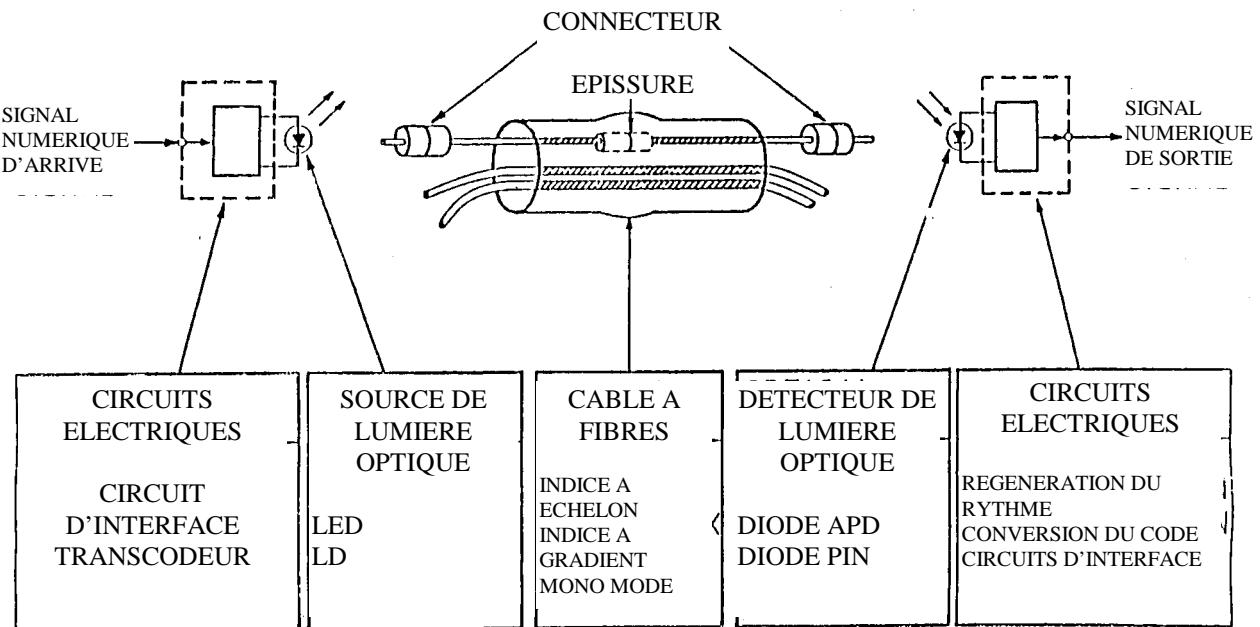


Figure 10a : Premier système optique. Configuration de base

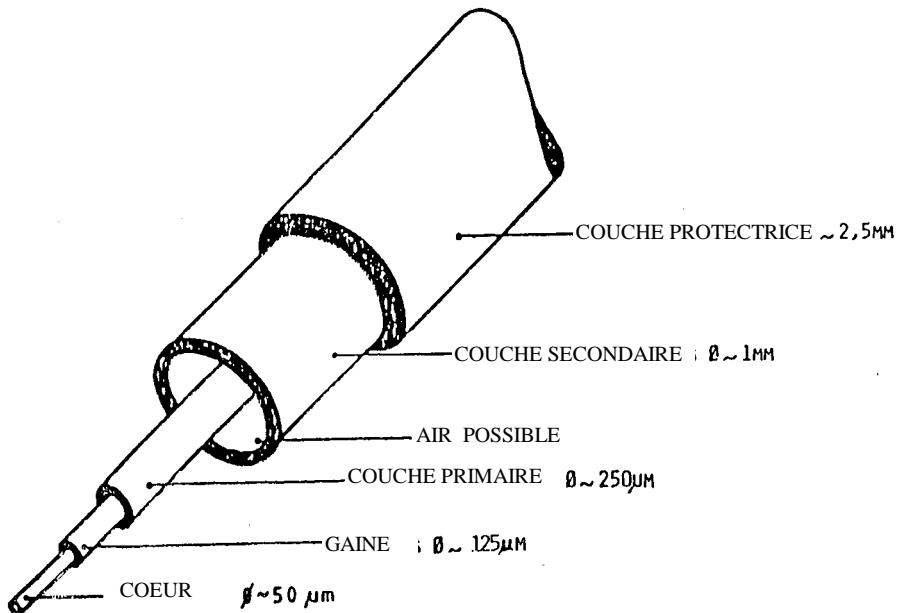


Figure 11 : Câble a fibres

Les fibres optiques sont classées selon les aspects suivants (voir, p.e., Figure 12):

- Mode de propagation: a) multi-mode b) mono-mode;
- Profil de l'indice réfractif: a) index graduel b) indice synchronisé;
- Matériel.

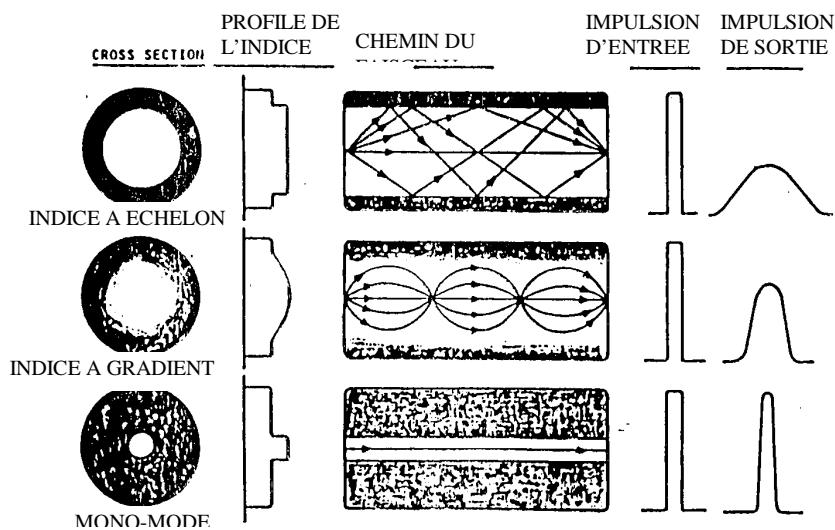


Figure 12 : Résumé sur les types de Fibres

Concernant les pertes, atténuation varie, actuellement, entre 0,2 et 10 dB/km en gamme d'onde de 0,8-1,7 μm . Le facteur principal qui cause des pertes est l'absorption (voir Figure 13).

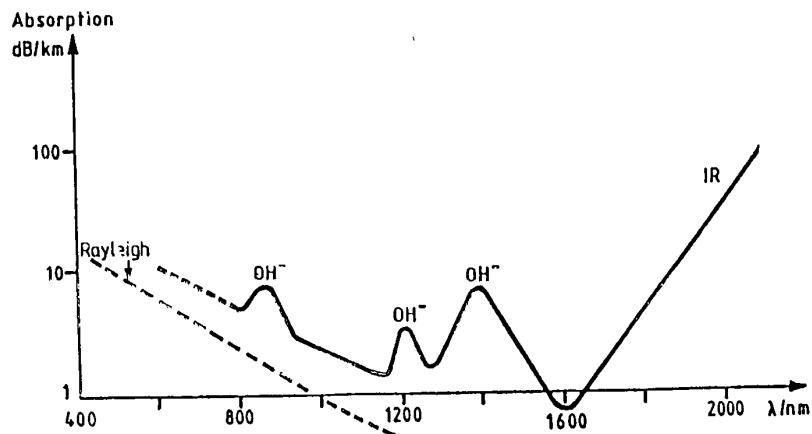


Figure 13 : Absorption

Il y a deux sources adéquates de lumière pour les systèmes de transmission. Elles sont les LED (lumière émettant du diode) et les LD (laser à diode) - voir Figure 14.

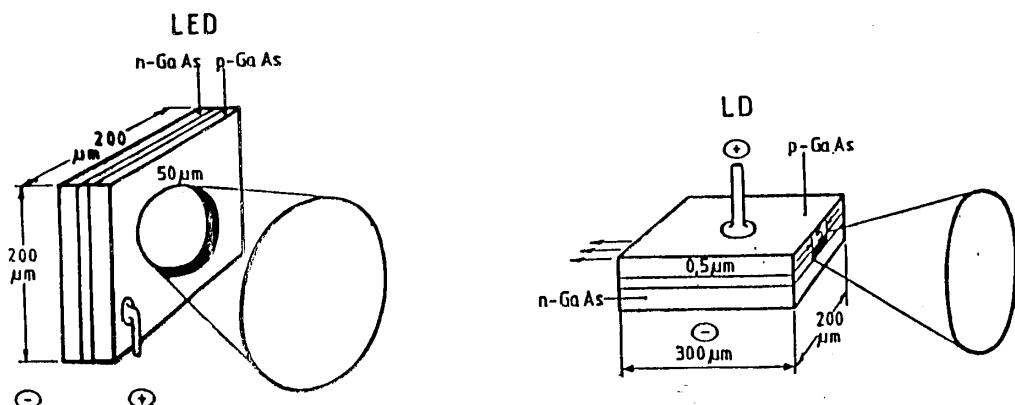


Figure 14 : Emetteurs Optiques

Les convertisseurs O/E (opto -électriques) approprié sont les PD (photo diode) et les APD (avalanche photo diode). La fig.15 montre quelques données typiques des systèmes à fibre optique.

PARAMETRE ↓	45 Mbit / s				140 Mbit / s					
	LD / APD SW / GI		LD / PIN-FET LW / GI		LD / APD SW / GI		LD / PIN-FET LW / SM			
LONGUEUR D'ONDE (nm)	830		1300		830		1300			
PIUSSANCE MOYENNE DE SORTIE ¹⁾ (dBm)	-3		-3		-3		-10			
SENSIBILITE DU RECEPTEUR ^{1), 2)} (dBm)	-50		-41		-42		-37			
PERTES DU CONNECTEUR (dB)	2		2		2		2.5			
LARGEUR DE BANDE DE LA FIBRE ³⁾ (Mhz * km ^γ)	700	400	400	1000	700	700	600	400	>10000	>10000
AFFAIBLISSEMENT DE LA FIBRE ⁴⁾ (dB/km)	2.4	2.7	3.5	0.7	1.0	2.4	2.7	3.5	0.5	0.8
AFF. ADD. A 830 nm (dB/km)	0.3			-		0.3			-	
PERTE DE L'EPISSURE (dB / km)	0.2			0.2		0.2			0.25	
MARGE DE REPARARTION DE L'EPISSURE (dBm)	0.2			0.2		0.2			0.25	
MARGE DE SECURITE (dB)	3			3		3			3	
ESPACEMENT DES REPETEURS (km)	13.5	12.3	10.0	30.0	23.6	11.0	10.0	8.1	21.5	16.5

1) cas des chiffres les plus mauvais, y compris la marge de dégradation

2) y compris la marge de dispersion

3) $\gamma = 0.7 - 1.0$ dépendant de la largeur de bande et de la longueur d'onde

4) câble a fibre a 850 nm ou 1300 nm

Figure 15

E.2 Niveau de standardisation

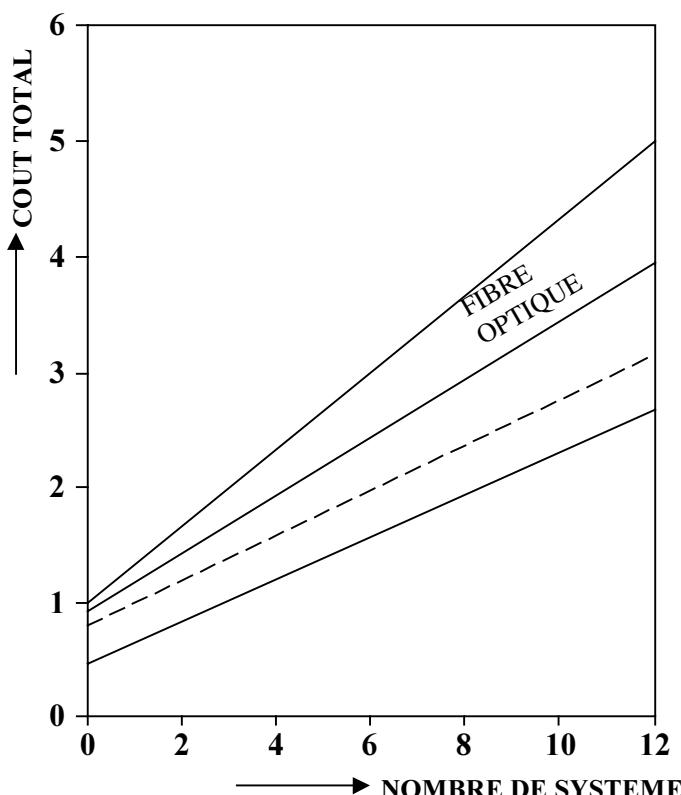
Les niveaux de standardisation réalisés jusqu'à présent (1982) sont très bas, mais un type de fibre, dont les études pratiques d'utilisation sont les plus modernes est déjà répertorié dans Rec.G.651, article intitulé : "Les caractéristiques des câbles à fibre optique dont l'indice est gradué à 50/125μm".

E.3 Structure du coût, applications

En comparant le câble à paire existant et le câble à paire spécial en Figures 16-17, on voit une nette économie de moyens, du moins à un taux de 34 Mbit/s.

D'autres comparaisons montrent une zone d'application principale, à présent, dans les réseaux métropolitains.

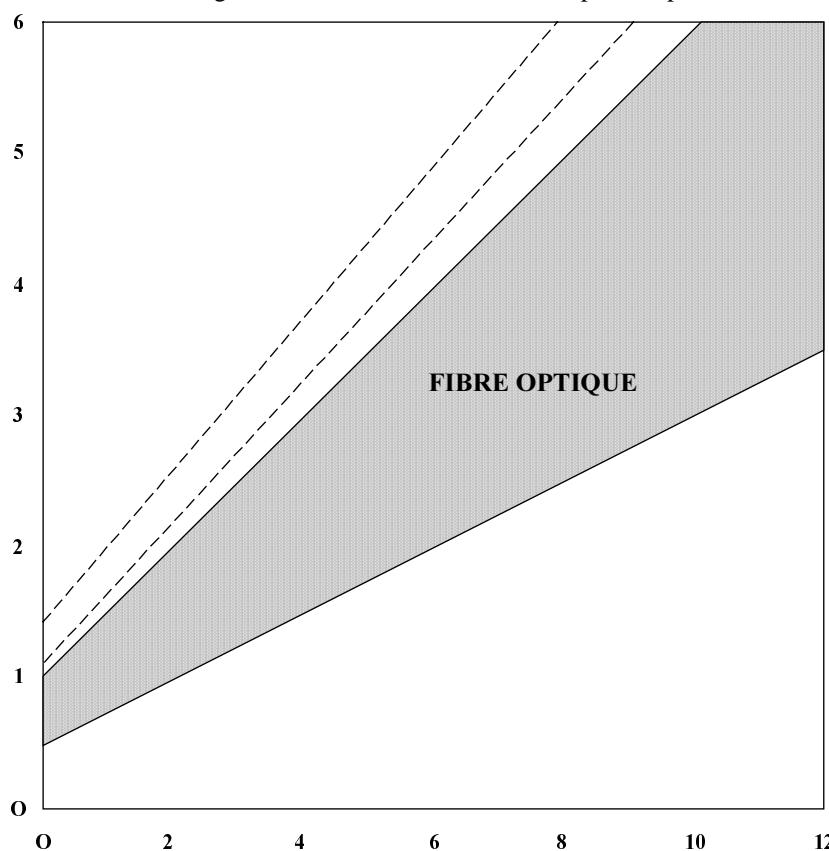
Figure 16 : 8 Mb/s - FOS vs. câble spécial à paire



FOS : LED / APD
5 dB / km perte de la fibre optique
8 km espacement de répéteur

CABLE A PAIRE:
4 km espacement de répéteur

Figure 17 : 34 Mb/s - FOS vs. câble spécial à paires



FOS : LASER / APD
5 dB / km perte de fibre optique
3 ns / $\sqrt{\text{km}}$ dispersion de l'impulsion
8.2 km respacement du répéteur

CABLE A PAIRE :
2 km espacement du répéteur

F. Compte - rendu (hiérarchie du CEPT)

Un compte - rendu des systèmes de transmission MIC jusqu'à 140 Mbit/s est donné en Figure 18. La figure 19 donne un autre compte-rendu des moyens de transmission et quant à la figure 20, elle montre le relevé de la section du répéteur.

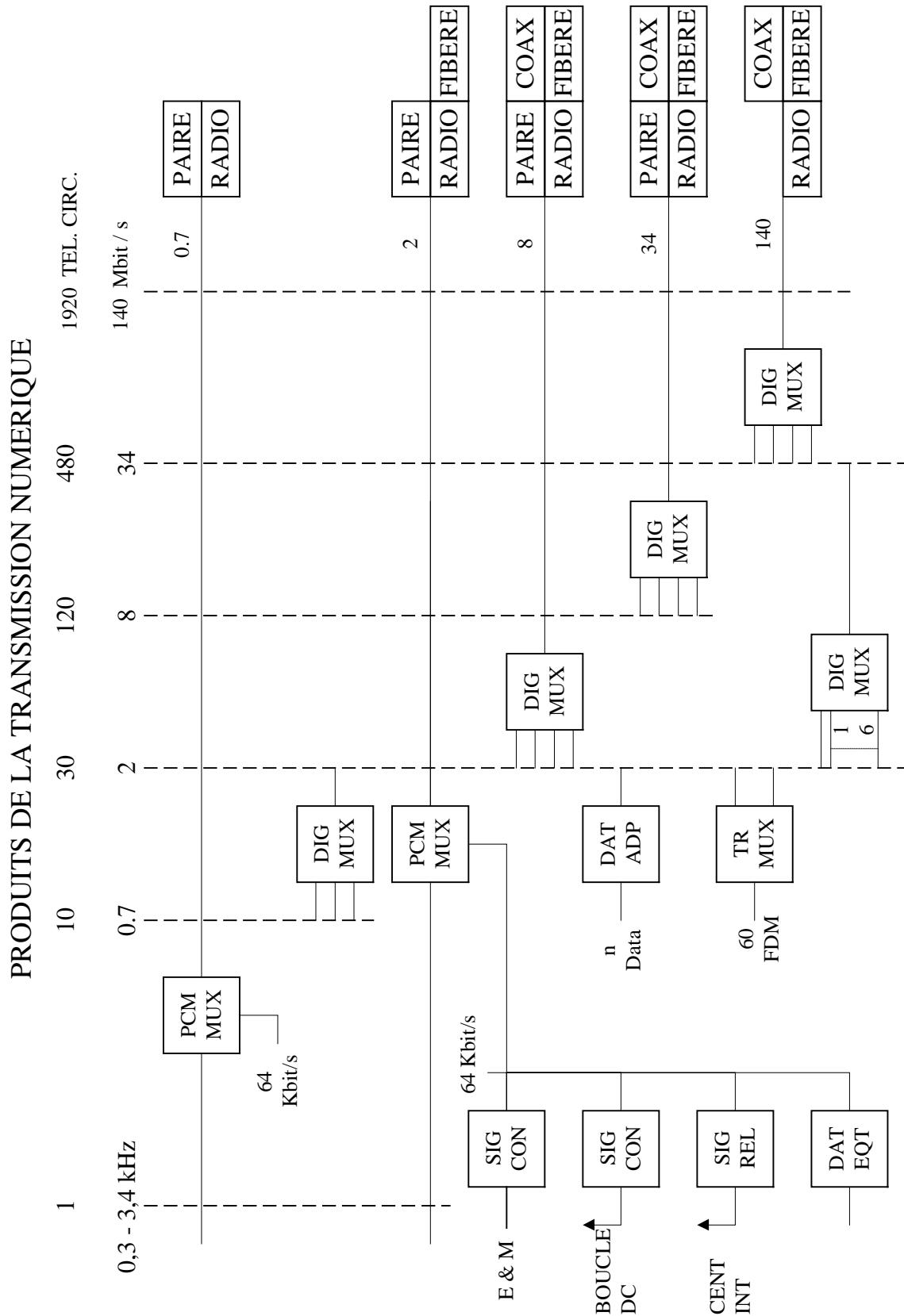


Figure 18 : Produit de la transmission numérique

Figure 19: Transmission Media for PCM Systems (CEPT Hierarchy)

SYSTEME		MOYEN	MOYEN APPROPRIE POUR LES LIAISONS D'ENTREES AUX SYSTEMES MW NUMERIQUES
MBIT / S	CIRCUITS/SYST.		
2	30	câble a paires symétrique normal. câble a paire symétrique dédiés. MW numérique. (fibre optique)	câble a paires symétriques (normal - dédié)
8	120	MW numérique. fibre optique câble micro coaxial câble spécial a paires symétriques	câble spécial a paire. câble a paire dédié (deux opérations de câble). câble micro coaxial . fibre optique.
34	480	idem pour 8 Mbit / s + petit câble a diamètre coaxial	spécial câble a paire. micro coaxial / petit câble a diamètre coaxial . fibre optique
140	1920	MW numérique. petit / normal câble a diamètre coaxial . fibre optique	petit / normal câble a diamètre coaxial. fibre optique
560	7680	câble coaxial de diamètre normal.	

Figure 20 : Longueurs des sections des répéteurs (guidage)

SYSTEMES MIC (HIERARCHIQUE) nombre de circuits	1 30	2 120	3 480	4 1920	5 7680
Câble "Normal" a paire symétriques	1.2 - 3 km (une opération de câble)	1 - 2 km (deux opérations de câble)			
Câble spécial a paires (filtre)		\leq 4 km	\leq 2 km		
Câble micro coaxiaux		\leq 4 km	\leq 2 km	\sim 1 km	
Câbles coaxiaux a petit diamètre		\leq 8 km	\leq 4 km	\leq 2 km	
Câbles coaxiaux a diamètre normal		\sim 18,5 km	8 - 9 km	4 - 4.6 km	1.5 - 1.6 km
Câbles a fibres opt. 4 dB / km, 850 nm	\sim 10 km (LED)	\sim 9 km (LED)	\sim 8 km (LASER)	\sim 7 km (LASER)	
MW numérique		5 - 50 km			