

Câbles rayonnants & "Leaked cables" Généralités et applications



Crédit d'images FILORADIO  N e x a n s

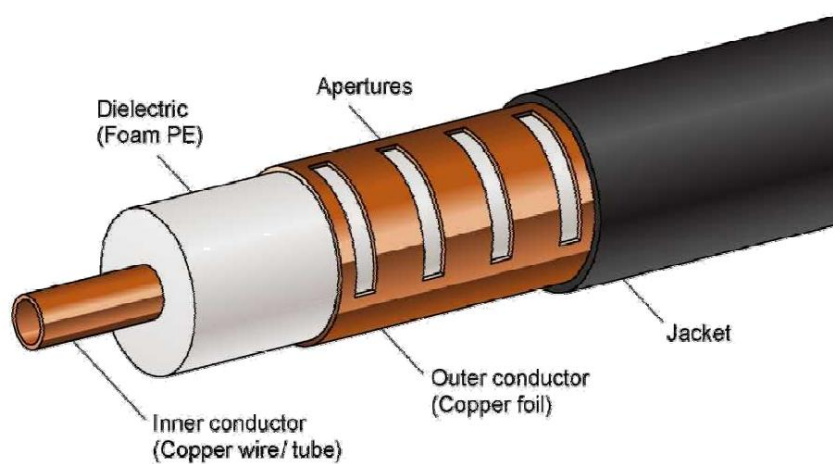


TABLE DES MATIERES

LES CABLES RAYONNANTS

INTRODUCTION.....	3
1 PROPRIETES ET AVANTAGES.....	3
2 APPLICATIONS	4
3 FREQUENCES UTILISEES	5
4 ETUDE DE CAS	5
5 BILAN DE PUISSANCE.....	6
6 CARACTERISTIQUES	7
6.1.1 CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES.....	7
6.1.2 CARACTERISTIQUES MECANQUES – INSTALLATION	8
6.1.3 CARACTERISTIQUES D’ENVIRONNEMENT.....	8
7 TESTS A REALISER APRES INSTALLATION	8
8 INSTALLATION DES CABLES RAYONNANTS	9
9 MODE RAYONNE – MODE COUPLE	10
9.1.1 MODES COUPLES.....	11
9.1.2 MODES RAYONNES	11
10 CARACTERISTIQUE DE LA PERTE DE COUPLAGE.....	11
10.1.1 PERTE DE COUPLAGE.....	11
10.1.2 VALEUR A 50%	11
10.1.3 INTENSITE DU CHAMP	12
10.1.4 PERTES LONGITUDINALES	13

LES CABLES RAYONNANTS

INTRODUCTION

Les câbles rayonnants sont connus depuis longtemps comme un moyen de communication efficace dans les tunnels.

Aujourd'hui, le champ d'application des câbles rayonnants s'est étendu aux autoroutes, aux réseaux de communications mobiles, aux communications à l'intérieur des bâtiments ou encore aux systèmes de sécurité ferroviaire.

Cependant, les bases des câbles rayonnants ne sont pas très claires et les ingénieurs qui ont besoins d'utiliser ses câbles manquent souvent des informations techniques nécessaires.

Dans un tunnel, par exemple, la propagation naturelle (espace libre) n'est pas réaliste car on assiste à plusieurs phénomènes :

- des effets guides d'ondes : les parois du tunnel sont souvent conductrices et le tunnel agit comme un guide d'onde. Des fréquences sont complètement absorbés alors que d'autres sont au contraire complètement réfléchies. Cela produit de fortes distorsions dans le signal d'origine que l'on nomme fading de rayleigh. Ce fading (évanouissement) est renforcé par les virages, les structures métalliques et change en fonction des dimensions du tunnel.
- Absorption : le tunnel est souvent un guide d'onde de très mauvaise qualité . Des murs peu conducteurs induisent des pertes de conductivité très importantes et la présence d'humidité ne fait que rajouter à ses pertes diélectriques. La propagation quand elle est possible est fortement atténuée.
- trajets multiples :les réflexions multiples sur les parois du tunnel amènent des interférences et des fadings du signal. Quand le récepteur se déplace, l'intensité du signal varie fortement et des zones d'ombres de plusieurs mètres peuvent apparaître dans le tunnel.
- Effets de masques : des écrans métalliques comme les trains ou les véhicules peuvent couper la transmission radio. L'utilisation d'antennes classiques est donc souvent interdite par ce dernier phénomène.

Tous ces phénomènes existent dans un tunnel mais se retrouvent dans d'autres milieux : Zones urbaines, autoroutes semi enterrées, bâtiments, tankers ... L'accroissement de la demande et l'évolution du client qui tolère de moins en moins les zones de non qualité a relancé l'intérêt des câbles rayonnants.

Les câbles rayonnants sont insensibles à ces différents phénomènes : ils permettent de limiter l'influence des trajets multiples et semblent moins affectés par les problèmes de masques.

1 PROPRIETES ET AVANTAGES

- Réciprocité :

Un câble rayonnant peut être utilisé comme une antenne d'émission ou comme une antenne de réception.

- Large bande :

Toutes les fréquences de 1 Hz à 2000 MHz passent au travers d'un simple câble coaxial.

Indépendance par rapport à l'environnement :

Même si le milieu est métallique, fortement absorbant, homogène ou pas, le câble rayonnant peut assurer une transmission correcte. Il peut s'accomoder des virages et le signal qu'il délivre peut traverser les murs et couvrir plusieurs niveaux à partir d'un simple émetteur.

- Configurable :

Si des zones doivent être couvertes alors qu'elles sont éloignées des zones denses, comme par exemple pour la couverture mobile le long des autoroutes, le câble rayonnant est une des solutions du problème.

Si l'on parle pratiquement, le câble rayonnant est un câble coaxial avec des ouvertures qui ont été mise en œuvre sur le conducteur extérieur. Plusieurs technologies ont du être développées pour aboutir à des câbles rayonnant efficaces.

2 APPLICATIONS

- Tunnels :

C'est la plus classique application des câbles rayonnants. Dans la plupart des tunnels, des précautions extrêmes doivent être prises pour des problèmes de sécurité : toxicité chimique, émission de fumée, propagation du feu.

- Zones urbaines :

Sur les périphériques, dans les parkings souterrains, le long des voies rapides, la continuité des réseaux mobiles ou radio peut être assurée par des câbles rayonnants reliés à des systèmes de réception et d'amplification pour diffuser le signal.

- Petits immeubles :

Un réseau sans fil peut être implanté dans ces immeubles pour assurer la connexion des outils informatiques ou du réseau de téléphonie de l'entreprise. La diffusion des signaux est alors réalisée au moyen de câbles rayonnants implantés dans les cloisons ou plafonds de l'immeuble.

- Contrôle de locaux techniques :

Un câble rayonnant connecté à un générateur entoure ce ou ces locaux et les illumine. Si un défaut apparaît à l'intérieur du local, un capteur renvoie un signal et peut avoir en retour soit l'émission d'une alarme soit une action correctrice à l'intérieur du local.

- Guidage automatique de véhicules :

Le développement de trains automatiques implique une communication efficace entre la voie et le train : un câble rayonnant placé le long de la voie permet la transmission de communications téléphoniques, d'images vidéo ou de signaux de contrôle.

Dans le même esprit, une usine automobile peut, grâce à des câbles rayonnants placés dans le sol, assurer le transfert d'information à des robots chargés du transport de matériel dans l'usine.

- Gestion de personnel :

Dans un hôpital, dans une base militaire ou dans une prison par exemple, un câble rayonnant implanté sur le site permet de contacter n'importe quelle personne disposant d'un appareil récepteur.

- Milieux métalliques :

Trains, avions, bateaux, immeubles militaires, terminaux offshore agissent comme de parfaites cages de Faraday : les communications obtenus à l'intérieur de ces zones sont souvent obtenus par la mise en œuvre de câbles rayonnants. Le tunnel sous la manche a ainsi été équipé d'un câble rayonnant pour la diffusion des émissions radio aux voitures situées dans le shuttle.

- Services autoroutiers :

Les câbles rayonnants sont utiles le long des routes car ils permettent la diffusion d'informations sur le trafic routier soit par la voie soit par un système RDS.

3 FREQUENCES UTILISEES

Toutes les fréquences radio peuvent être utilisées :

30 MHz : Services d'urgence

70 MHz : Services de maintenance

100 MHz : diffusion radio FM

150 MHz : Police

225 MHz : Réseaux LAN sans fils

450 MHz : Téléphones mobiles

600 MHz : TV

900 MHz : Téléphones mobiles GSM

1800 MHz : Téléphones mobiles GSM

4 ETUDE DE CAS

Utilisation de plusieurs émetteurs

Le signal provient de la source via des fibres optiques ou des câbles coaxiaux. Atteindre le réseaux de câbles rayonnant par le milieu permet d'étendre la couverture avec un minimum de puissance d'entrée.

Répéteurs bidirectionnels

Des amplificateurs bidirectionnels permettent de poser une grande longueur de câble reliée à un unique émetteur

Extension de cellule

Une cellule de réseau mobile peut être étendue à l'intérieur d'un tunnel. Le signal est capté par une antenne extérieure (donneuse) puis amplifié et enfin redistribué dans la zone d'ombre.

Energie déportée et antenne de terminaison

Le conducteur interne du câble rayonnant peut être utilisé pour transmettre de l'énergie à des amplificateurs bidirectionnels. D'autre part, une antenne située en bout de câble peut permettre de couvrir par exemple une station de métro.

5 BILAN DE PUISSANCE

Le bilan de puissance lorsque l'on utilise des câbles rayonnants utilise des règles spécifiques, qui prennent en compte les paramètres spécifiques des câbles rayonnants :

- Pertes de couplage (50% ou 90% dépendant de la couverture requise)
- Facteur de sécurité : pour prendre en compte les autres fluctuations de la puissance (influence du taux d'humidité, des masques ...). Un facteur de sécurité de 10 dB est en général suffisant pour les calculs.

Calculs

Dans le but d'informatiser vos calculs, vous devez disposer des éléments suivants :

- puissance d'émission
- gain d'amplification
- Pertes dues aux diviseurs de puissance
- Perte longitudinale du câble rayonnant (dépend de la fréquence) : c'est le produit exprimé en dB de l'atténuation linéique du câble (dB/100m) par sa longueur en mètre divisée par 100.
- Pertes de couplage du câble (dépend de la fréquence)
- Pertes des bretelles de jonction (dépend de la fréquence)
- Sensibilité du récepteur

Exemple :

On suppose que l'on a un très long tunnel et on veut savoir quelle longueur de tunnel on peut couvrir sans répéteur. La solution point-milieu est choisie. La fréquence est de 450 MHz et on utilise un diviseur de puissance (3 dB de perte pour la division de puissance et 3 dB de pertes d'insertion). La longueur du câble est inconnue.

	Gain	Pertes
Puissance d'entrée (dBm)	+37	
Pertes bretelles (dB)		2
Division de puissance (dB)		6
Pertes de couplage (dB)		60
Gain d'amplification (dB)	0	
Facteur de sécurité (dB)		10
Total	37	78
Gain - Pertes	$37-78 = -41$	
Sensibilité du récepteur	-107	
Possibilité de pertes longitudinales	$-41-(-107) = +66$	

Cela signifie donc qu'avec une atténuation linéique de 35 dB / Km, 2 fois 1880 m peuvent être couverts sans faire appel à un répéteur

6 CARACTERISTIQUES

6.1.1 CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Standard Valeur (exemple)

Fréquences d'utilisation 430-470 MHz

900-960 MHz

Impédance IEC96 XX $50 \pm 2,5$ Ohms

Pertes de couplage (50%, 1,5m) IEC96 XX 450 MHz < 60 dB

900 MHz < 50 dB

Pertes longitudinales IEC96 XX 450 MHz < 4 dB/100m

900 MHz < 9 dB/100m

VSWR IEC96 XX < 1.3 (-18 dB) dans les bandes utiles

Niveau de puissance IEC96 XX 1 W dans les bandes utiles

6.1.2 CARACTERISTIQUES MECANIKES – INSTALLATION

Poids < 750 Kg/km

Rayon de courbure minimum < 200 mm

Messenger wire Metallic

Distance minimum des murs 180 mm

Clamp spacing < 2m

Max drum size 2 m

6.1.3 CARACTERISTIQUES D'ENVIRONNEMENT

Température -10° / +50°

Retardateur de flamme IEC 332-1 Yes

Retardateur de feu IEC 332-3 Yes

Emission de fumée IEC 1034 Yes

Toxicité des fumées IEC 754-1 Halogen free jacket

6.1.3.1 DIVERS

Connectique N

Capuchons Retardateur de flamme

Kits de mise à la terre Sur connecteurs

Fixations Non métalliques

Charges 1 Watt

7 TESTS A REALISER APRES INSTALLATION

Pertes de couplage

VSWR

Les principaux paramètres qui définissent un câble rayonnant sont de deux natures : électriques et mécaniques.

Les caractéristiques électriques sont :

ROS >> Bande de fréquence

Atténuation longitudinale >>longueur efficace

Facteur de couplage moyen à 50%

Variation du couplage / couplage à 90%

Sensibilité à l'environnement / effet de masque

Les caractéristiques mécaniques sont :

Diamètre – poids – rayon de courbure

Tenue à la traction

Brouillard salin

Effets thermiques :

- faible opacité des fumées
- faible toxicité des gaz – sans halogène
- Non propagateur de flamme
- Non propagateur de l'incendie
- Résistance au feu >>> 7/17 mn à 750°

8 INSTALLATION DES CABLES RAYONNANTS

Eléments :

Position du câble

Dans un tunnel, la meilleure position est habituellement au centre du tunnel : cela assure une bonne répartition du signal et permet de s'affranchir au maximum des effets de masques. D'autres positions donnent de bons résultats à partir du moment où il n'est pas masqué par des éléments métalliques ou par d'autres câbles et qu'il soit à une distance correcte du mur.

Distance aux murs

Il est recommandé de placer les câbles rayonnants à une distance approximative de 100 mm des murs. S'il était situé plus près, cela augmenterait les pertes longitudinales du câble et les pertes de couplage pourraient être affectées.

Espacement des fixations

Dans des conditions normales, une distance de 1,5 m entre chaque collier est recommandée pour des câbles de grosses sections (5/8 " jusqu'à 1 5/8 ")

Résistance à l'eau

Des capuchons doivent être utilisés pour empêcher l'eau d'entrer au niveau des connecteurs. Il est recommandé de les positionner après que les mesures de performances du système aient été faites.

Mise à la terre – Charges

Les kits de mise à la terre se fixent au niveau des connecteurs et éventuellement au niveau des courbures du câble. Chaque câble doit également être terminé par une charge ou par une antenne pour se prémunir des ondes stationnaires.

Mesures sur site

Le meilleur test est bien entendu la mesure de la perte de couplage car c'est la valeur la plus dépendante des conditions d'utilisations. C'est aussi la plus délicate à réaliser. Pour les gros systèmes avec des tronçons de câbles de 500 ou plus, au moins un des tronçon doit être testé.

Si la perte de couplage ne peut être mesurée, les pertes longitudinales donnent des informations utiles. La mesure du VSWR permet de détecter d'éventuels défauts de montages ou des chocs qu'aurait subi le câble coaxial.

Etapes :

- 1 – Reconnaître les lieux en identifiant les éléments métalliques, la distance aux murs et la dimension maximum pour le véhicule d'installation.
- 2 – Calculer la longueur des câbles coaxiaux et des bretelles . Trouver les positions pour les coupleurs et amplificateurs éventuels.
- 3 – Préparer les zones de travail et le Plan de prévention.
- 4 – Préparer l'installation des fixations .
- 5 – Installer les câbles, connecteurs et charges.
- 6 – Mesures.
- 7 – Mise en place des capuchons.

9 MODE RAYONNE – MODE COUPLE

Un câble rayonnant ne peut pas être mesuré comme une antenne normale en raison de l'extension dans une direction donnée du câble et de la proximité du récepteur.

Dans ce cas, les concepts d'onde plane, de diagrammes de rayonnement et de gain d'antenne ne sont plus valides.

Comme pour un câble coaxial, des coordonnées cylindrique sont ajoutés au problème. Quant on résout

les équations de Maxwell dans ce système de coordonnées, deux catégories de solutions apparaissent (modes) :

9.1.1 MODES COUPLES

Les modes couplés désignent les solutions qui montrent un flux de puissance parallèle à l'axe du câble. L'énergie électromagnétique est concentrée au cœur du câble et décroît rapidement avec la distance. Ces modes sont souvent appelés à ondes de surfaces.

Les modes couplés sont toujours présents quelque soit la technologie utilisée pour le câble. Ces modes confinés autour de l'axe du câble sont diffractés par les obstacles ou par les discontinuités. Une partie infime de la puissance est ainsi rayonnée radialement de manière aléatoire.

9.1.2 MODES RAYONNES

Les modes rayonnés correspondent à un flux de puissance rayonné radialement. Ces modes se caractérisent par des ouvertures définies et pour des fréquences de modes rayonnés définies.

Ces modes n'apparaissent pas en bande étroite.

9.1.2.1 PROPRIÉTÉS DE BASE

Les modes rayonnés sont beaucoup plus efficaces que les modes couplés : le flux de puissance est dirigé vers l'antenne de réception, la décroissance de la puissance est lente et les fluctuations de la puissance reçue sont faibles.

Les câbles à pertes (leaky cables) sont basés sur les modes couplés alors que les câbles rayonnants (avec des fentes régulièrement espacées) sont basés sur les modes rayonnés.

10 CARACTÉRISTIQUE DE LA PERTE DE COUPLAGE

Un câble rayonnant peut être considéré comme l'association d'un câble coaxial et d'antennes.

On retrouve donc les paramètres habituels du câble : pertes longitudinales, VSWR, impédance ... et un paramètre pour caractériser l'efficacité antennaire appelé " perte de couplage " (coupling loss).

10.1.1 PERTE DE COUPLAGE

Elle est définie comme le rapport entre la puissance reçue sur un dipôle demi-onde placé à 1,5 m de l'axe du câble et la puissance à l'intérieur du câble. Elle est exprimée en dB avec une valeur comprise entre 50 et 80 dB. Ce paramètre n'est pas standardisé et plusieurs définitions sont utilisées notamment en fonction de la distance au câble.

10.1.2 VALEUR A 50%

Pour des raisons pratiques, la puissance reçue au niveau de l'antenne est fortement dépendante du point mesuré. Il est donc nécessaire de réaliser des moyennages pour obtenir la valeur de la perte de couplage. Le plus souvent, c'est la valeur à 50% qui est utilisée : cela signifie que 50% des points mesurés auront une valeur inférieure ou égale à la perte de couplage donnée. Pour des transmissions numériques, la

valeur à 90 ou 95% est le plus souvent utilisé. Lors de la réalisation du bilan de puissance, cet aspect doit être pris en compte : la valeur statistique sur la perte de couplage est au moins aussi importante que la valeur moyenne de cette perte de couplage.

10.1.3 INCERTITUDES

Toutes les pertes de couplage sont donnés dans les catalogues avec une tolérance, comme par exemple " 60dB ± 5 dB ". Cela ne signifie pas que la valeur de la perte de couplage fluctue entre 55 et 65 dB mais que la valeur moyenne est connue avec une incertitude de 5 dB.

Comme pour toute mesure de rayonnement, la perte de couplage peut varier avec les conditions expérimentales.

10.1.4 INTENSITE DU CHAMP

Connaissant le rayonnement d'un dipôle demi-onde, on peut définir une relation entre la perte de couplage et le champ électrique à 1,5 m de l'axe du câble.

$$E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} = P_{\text{in}} \text{ (dBm)} - P_{\text{couplage}} \text{ (dB)} + 75,1 + 20\log_{10}(\text{Fréq}) \text{ (MHz)}$$

Le tableau suivant donne directement la valeur à ajouter à la perte de couplage pour obtenir le champ en dB μ V/m pour une puissance d'entrée de 0 dBm.

Fréquence (MHz)	Terme de conversion
30	105
50	109
100	115
150	119
200	121
400	127
450	128
800	133
900	134
1000	135
1500	139
1800	140

10.1.5 PERTES LONGITUDINALES

Comme pour un câble coaxial classique, les pertes longitudinales d'un câble rayonnant croissent avec l'élévation de la fréquence. Etant données les ouvertures faites sur le conducteur extérieur, les pertes longitudinales d'un câble rayonnant sont souvent plus importantes que celles d'un câble coaxial d'un diamètre équivalent.

L'effet spécifique majeur est que les pertes longitudinales sont fortement influencées par l'environnement immédiat du câble. C'est pourquoi il est recommandé de respecter une distance minimale de 100 mm entre le câble et les murs pleins.

VSWR

La fabrication des fixations ou des ouvertures pratiqués dans le conducteur extérieur dégrade légèrement le VSWR du câble rayonnant : 1.3 est une valeur commune (-18dB).