

Note Technique

Le cordon coaxial : composant essentiel de la chaine hyperfréquence, à définir au mieux !



Définition, Réalisation et Mesure

Le cordon coax est une liaison permettant la transmission d'un signal électromagnétique entre 2 équipements. Il est composé d'un câble et de deux connecteurs à chacune des extrémités du câble.

Le câble coaxial est défini par les éléments principaux suivants :



- Âme centrale ① : elle peut être monobrin (plus rigide, moins de pertes) ou multibrins (plus souple, plus de pertes). C'est la partie conductrice du signal. Elle est généralement en cuivre, cuivre argenté, voire en acier cuivré.

- Isolant ② : matériau diélectrique entourant l'âme centrale. Le diélectrique est souvent une matrice PE, PU, PTFE, PTFE microporeux, FEP...

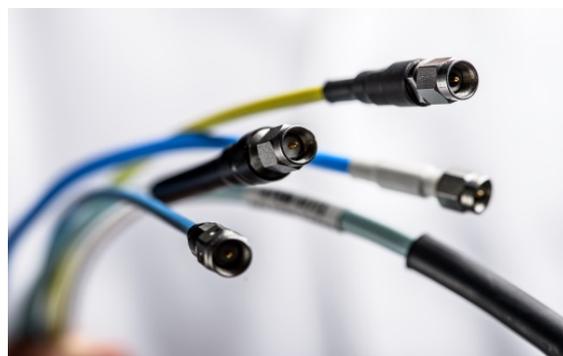
- Blindage ③-④ : une ou plusieurs tresses conductrices entourent le diélectrique de manière à assurer le blindage du câble. L'objectif est de réduire les interactions électromagnétiques entre l'environnement ambiant et le câble, permettant ainsi de transmettre le signal avec le moins de perturbation possible (principe de la cage de Faraday)

- Gaine protectrice ⑤-⑥-⑦ : la gaine vient protéger le câble de l'environnement extérieur. Cette gaine s'adapte aux contraintes environnementales externes (température, humidité, protection contre un fluide, résistance aux UV...) et aux conditions d'utilisation (écrasement, contraintes

mécaniques...). Le câble peut avoir plusieurs couches de gaine de protection : douchette métallique ⑥, gaine élastomère ⑤, gaine de protection thermique ⑦...

Chez Atem, nous répartissons les câbles HF dans les catégories suivantes :

- Câbles souples : **câbles souples ①** à distinguer entre « standards » et « techniques ». Les câbles souples dits « standards » ont des performances RF définies suivant différentes normes (RG, KX...). Les câbles souples dits « techniques » présentent des performances RF optimisées suivant le procédé du fabricant : notamment très faibles pertes et stabilité en phase (température et flexion). Ils sont souvent utilisés pour les applications spécifiques défense, aéronautique...



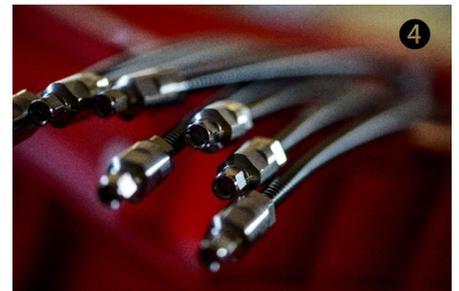
ATEM
CUSTOMIZED CONNECTIVITY

- Câbles Semi-rigides : les câbles semi-rigides **2** sont utilisés pour des applications où l'intégration des cordons est très contrainte en termes d'encombrement mécanique. Le **cordon semi-rigide** est mis en forme (cintrage) lors de sa fabrication dans les 3 dimensions au besoin suivant un plan ou un modèle CAO. Certains cordons souples techniques peuvent être une bonne alternative au semi-rigide (facilité d'intégration).



- Câbles conformables : les câbles conformables sont utilisés avant tout pour faire du prototypage (ils présentent notamment un risque de dégradation plus important en cas de stress vibratoire). Ils sont déformables manuellement. Cette mise en forme est moins stable dans le temps par rapport au cordon semi-rigide, certains ont tendance à garder la forme (le **conformable**) et d'autres reviennent naturellement à leur position initiale (le **malléable ou l'ultra-malléable** **3**).

- Câbles puissance **4** : capacité à pouvoir faire passer des impulsions de l'ordre de plusieurs kW. C'est un câble qui peut être de type **corrugué**.



Avant de réaliser la liaison coaxiale, il est nécessaire de procéder au dénudage des câbles via une machine à dénuder, soit automatique, soit manuellement. Le dénudage s'effectue selon une longueur de coupe spécifique normée pour chaque type de connecteur, permettant ainsi la mise en place des connecteurs. Nous utilisons différents types de connecteurs standards (SMA, BNC, N, SMB, SMP, 2.9, 2.4...) en fonction des fréquences d'utilisation et nous sommes également en capacité de pouvoir en faire développer en fonction des applications. Nous utilisons aussi tous les types de connecteurs femelle, male, coudé, droit existant sur le marché.



Une fois le câble coaxial dénudé et les connecteurs sélectionnés, l'assemblage peut être réalisé. Plusieurs procédés sont possibles et ils sont tous maîtrisés en interne par nos opérateurs :

Note technique – Le cordon coaxial, un élément essentiel de la chaîne HF à définir au mieux !

- Sertissage avec pince sertisseuse : procédé le plus répandu convenant très bien pour des bandes de fréquences plutôt faibles (< 1GHz) ;
- Presse étoupe ;
- Pince à braser ou pince à effet joule ;
- **Brasage avec micro-chalumeau** : procédé majoritairement utilisé chez Atem et quasiment obligatoire lorsque les cordons sont techniques et les fréquences recherchées élevées (plus de 10 GHz). Cette technique assure un apport de chaleur très directif et localisé pour optimiser la quantité de matière étain/plomb à appliquer pour assurer la brasure correcte du connecteur sur le câble et ne pas dégrader les éléments du cordon.



Note : Tous nos opérateurs sont IPC-620 et une formation en continue assure la maîtrise du procédé (non dégradation du connecteur et du câble, pas de bulle d'air, répétabilité du procédé...).



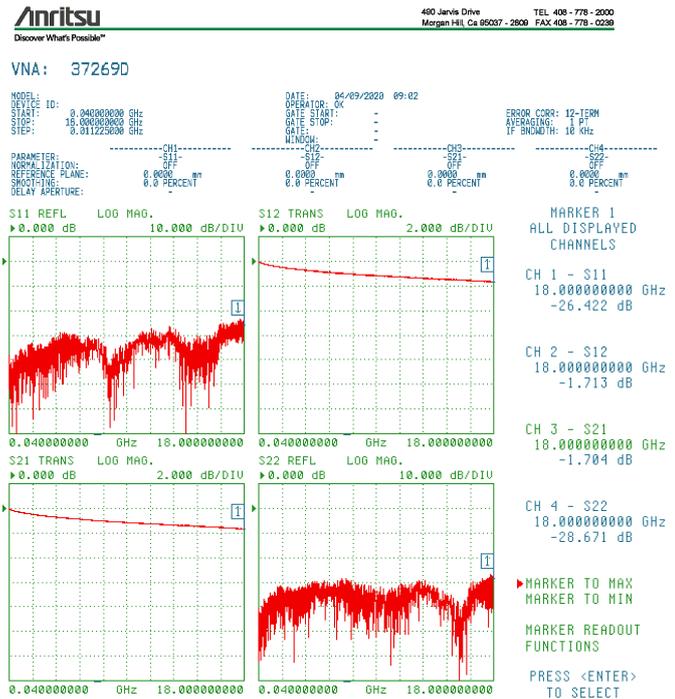
Chaque cordon répond à un plan de marquage souhaité par le client. Atem peut également ajouter un numéro de série permettant d'assurer la traçabilité des différents composants du cordon : **chaque cordon est ainsi unique !**

Une fois que le cordon est fabriqué, il est contrôlé dans notre laboratoire de tests et mesures. Les résultats sont tracés et archivés (il est possible de retrouver les fiches de test plusieurs années après). Les relevés de mesure sont les **paramètres S** du cordon. Les paramètres S relient les ondes incidentes avec les ondes réfléchies par les ports du dispositif (dans notre cas les 2 connecteurs à chaque extrémité du câble). Ainsi, un dispositif hyperfréquence est décrit complètement comme il est « vu » au niveau de ses ports :

- S11 : coefficient de réflexion à l'entrée lorsque la sortie est adaptée (éviter les réflexions)
- S12 : coefficient de transmission inverse lorsque l'entrée est adaptée
- S21 : coefficient de transmission direct lorsque la sortie est adaptée
- S22 : coefficient de réflexion à la sortie lorsque l'entrée est adaptée

Les paramètres S11 et S22 permettent de quantifier le ROS (Rapport d'Onde Stationnaire). Le Rapport d'Onde Stationnaire ou Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) est le rapport d'un maximum à un minimum adjacent d'une composante particulière du champ électromagnétique. Plus le ROS est proche de 1, meilleure sera la transmission du signal (peu de réflexion parasite). Les paramètres S12 et S21 permettent de quantifier les pertes de la liaison. Ces mesures sont réalisés par des analyseurs de réseau VNA. Chez Atem nous avons 3 VNA nous permettant de conduire des mesures jusqu'à 40GHz.

Dans l'exemple ci-contre, l'atténuation est de 1,7dB à 18GHz pour un signal retour de -26dB, ce qui revient à un ROS de 1,1.



A noter que pour des applications spécifiques multi-antennes et multi-voies, la mise en phase entre cordons, aussi appelée « appairage en phase », est une étape clé du bon fonctionnement du système. La mise en phase des signaux implique une longueur électrique identique pour chaque cordon et donc une capacité de coupe très précise. En pratique, ceci nécessite une reprise de la longueur de chaque câble après une mesure RF intermédiaire.

Il est aussi possible de réaliser un appairage en amplitude ou en temps de propagation d'un groupe de cordons.

Une fois que toutes les opérations ont été bien décrites et les définitions posées, attachons-nous à définir les étapes en vue de définir les cordons coaxiaux utiles à vos applications.

Comment définir son cordon coaxial ?

Les grandes étapes permettant de choisir sa liaison coaxiale sont les suivantes :

1. Définition de la gamme de fréquence : celle-ci est donnée par le domaine de fréquence concerné par le système hyperfréquence. La fréquence d'utilisation a un impact direct sur la définition des connecteurs et sur les câbles à sélectionner. En parallèle il est nécessaire de connaître l'application recherchée : secteur d'application, les performances clés par rapport à l'application, le nombre de connexions/déconnexions envisagés, le besoin de souplesse du câble, les contraintes en stabilité... ;
2. Définition de la longueur : quels sont les éléments du système à relier par un cordon, quels sont leur espacement ? Atem s'adapte à tout type de longueur à fournir (la longueur du câble va avoir un impact direct sur les pertes admissibles par la liaison). Pour des intégrations de câble semi-rigide (dans le cas où le rayon de courbure d'un câble souple ne pourrait pas être atteint), Atem est en mesure de réaliser une étude 3D pour déterminer les longueurs et leur mise en forme requise. La plage de fréquence avec la distance permet d'estimer les pertes admissibles dans la liaison. En fonction de ce niveau de perte admissible, la famille de câble pourra être déterminée ;
3. Définition du type de connecteurs : Atem propose ses propres références fabricant ou utilise les références souhaitées. La société est en capacité de développer des connecteurs spécifiques pour son client en fonction des demandes ;
4. Détermination des performances : les performances des liaisons coaxiales sont « drivées » par celles du système. Le concepteur va ainsi définir un niveau de perte admissible, une puissance du signal recherché, une stabilité... ;
 - a. Il peut être essentiel de transférer de la puissance par le câble comme cela peut être le cas pour des radars actifs, ou nécessaire de réduire au maximum les pertes dans la liaison ce qui est le cas des systèmes de connectivité à bord, soit il est essentiel d'avoir une stabilité en phase ou en amplitude lorsqu'il est indispensable de faire du traitement fin du signal ou lorsqu'il y a une multitude de voies
 - b. A partir du système, le Bureau d'Etudes d'Atem est en mesure de définir les performances à atteindre par les liaisons coaxiales
5. Prise en compte de l'encombrement mécanique : un autre point clé dans le dimensionnement des liaisons est l'aspect mécanique. L'espace disponible peut à la fois limiter le diamètre maximal possible (plus le diamètre sera important et plus il sera simple de réduire les pertes dans la liaison), mais aussi les rayons de courbure admissibles. Attention dépasser le rayon de courbure admissible engendre une discontinuité locale dans le diélectrique, ce qui endommagerait de manière définitive le cordon et ses performances ;
6. Prise en compte des contraintes en environnement : Afin d'assurer la longévité requise du cordon en environnement stressé (vibratoire, thermique, présence de fluide, rongeurs etc...), il est possible d'ajouter une gaine de protection du cordon. De même si les cordons sont susceptibles d'être soumis à un écrasement (utilisation terrain), il est possible de renforcer le

Note technique – Le cordon coaxial, un élément essentiel de la chaîne HF à définir au mieux !

cordons d'une douchette métallique. Toutes ces considérations sont en prendre en compte pour déterminer la gaine protectrice à installer. Le choix de câble et des connecteurs doit également respecter l'ensemble des contraintes opérationnelles et en environnement à prendre en compte durant la vie du système HF.

Questions relatives au management de projet : en fonction de l'application du cordon, celui-ci devra respecter une norme qualité (EN 9100 pour l'aéronautique par exemple), ce qui va avoir des conséquences sur l'organisation de la société et la traçabilité des cordons. C'est un point majeur pour des secteurs exigeants et très focalisés sur la sécurité. Il sera nécessaire de prendre en compte les exigences à la fois de traçabilité, mais aussi de documentation. La réalisation de liaisons coaxiales technique requiert la disponibilité des câbles et connecteurs et donc une anticipation sur les délais d'approvisionnement qui sont des contraintes très structurantes. Atem est certifié EN 9100, gère un réseau de fournisseurs partout sur le globe et investit dans la relation avec ses fournisseurs pour être en mesure de proposer un délai attractif à ses clients.



L'approche sur-mesure d'Atem permet de proposer la meilleure combinaison possible en fonction de l'ensemble des paramètres décrits ci-dessus avec un prix de vente attractif.

Atem a une expertise technique et manufacturière de plus de 30 ans dans les liaisons assemblées. L'étude de votre besoin pour déterminer le bon couple câble/connecteurs fait partie de notre ADN. C'est souvent aux interfaces que les erreurs s'invitent, alors n'hésitez pas à faire appel à notre expertise pour vous assister dans ce choix important et vous fournir la liaison assemblée répondant à votre juste besoin !

**Notre maîtrise des hyperfréquences
accompagne vos projets les plus exigeants**



www.atem.com



ATEM
CUSTOMIZED CONNECTIVITY

Concepteur et fabricant de solutions de connectivité