

# Automobile Data Cables

LIVRE BLANC



 **ACOME**

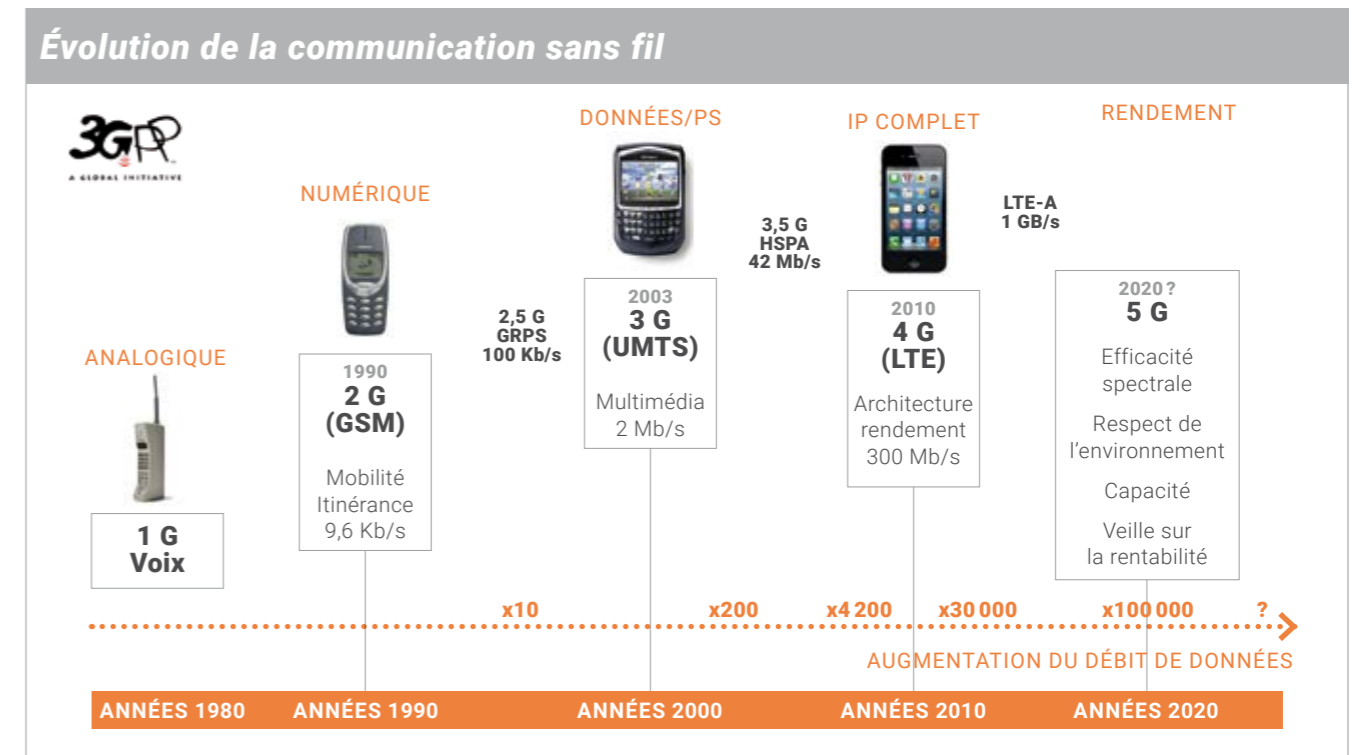
# Sommaire

- 1. Le contexte de la mobilité connectée ..... 1
  - 1.A. État actuel de l'art : que signifie un taux de high speed data en automobile ? ..... 1
  - 1.B. Services embarqués ..... 2
- 2. ACOME Telecom – Expertise automobile ..... 4
- 3. Open Alliance, autres standards et recommandations ..... 5
  - 3.A. Communications unifiées ..... 5
  - 3.B. Câbles spécialement conçus pour la transmission de high speed data dans les applications automobiles ..... 5
- 4. Du câble électrique au bus de communication (différences et défis) ..... 8
  - 4.A. Le conducteur ..... 8
  - 4.B. La géométrie... Le rendez-vous de l'automobile et des télécoms ..... 9
  - 4.C. L'isolation ..... 9
  - 4.D. L'environnement de la paire de conducteurs ..... 11
  - 4.E. Assemblage en paires torsadées ..... 12
  - 4.F. Blindage ..... 13
  - 4.G. Ensemble blindage ..... 14
- 5. Recommandations métrologiques ACOME ..... 16
  - 5.A. Différentes mesures pour différentes applications ..... 16
  - 5.B. Maîtrise des procédés de mesure ..... 18
- 6. Recommandations produits par ACOME ..... 19

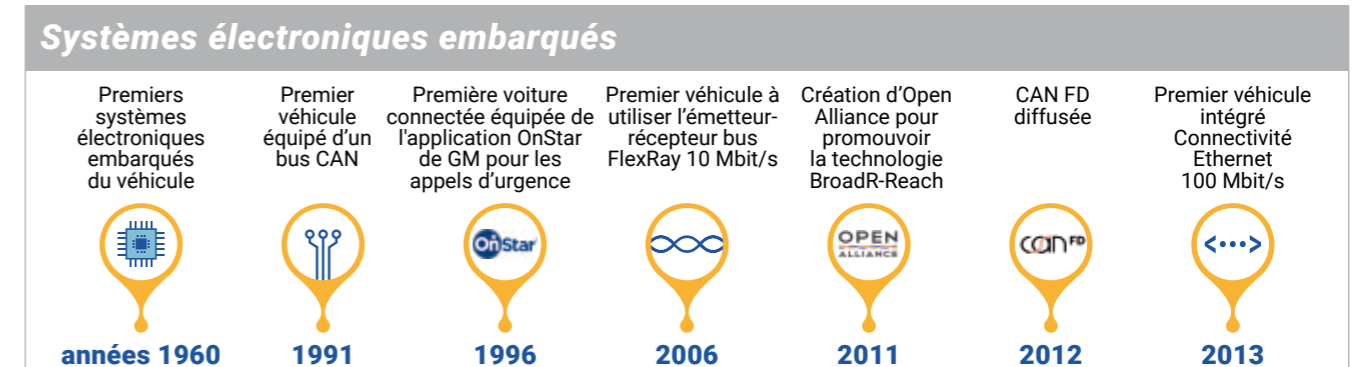
# 1. Le contexte de la mobilité connectée

## 1.A. État actuel de l'art : que signifie un taux de high speed data en automobile ?

Alors que la révolution numérique s'accélère, les voitures doivent suivre cette tendance majeure en devenant plus intelligentes et encore plus connectées. L'un des aspects de cette révolution est l'augmentation de la bande passante des réseaux télécoms depuis les années 1980, ouvrant la voie à de plus en plus de services de mobilité.



L'électronique et les systèmes de communication sont devenus des composants automobiles de plus en plus importants au cours des dernières décennies. Aujourd'hui, une série de fonctions essentielles, telles que la gestion du moteur, et les fonctions de sécurité comme l'ABS et l'ESP, sont gérées par un ECU (unité de commande électronique) exécutant des protocoles spécifiques. Afin de garantir un fonctionnement et des performances corrects du véhicule, tous les composants communiquent entre eux en utilisant des protocoles dédiés au niveau de la couche physique appropriée.



Les systèmes de communication embarqués commencent à être largement connectés aux réseaux de télécommunication externes, ce qui leur permet de recevoir et de transmettre des données externes. Cette évolution accroît encore le volume déjà élevé des données transmises à l'intérieur du véhicule.

## 1.B. Services embarqués

Le plus grand défi lié au véhicule est de parvenir à un système de conduite entièrement autonome, autrement dit de remplacer complètement le conducteur. L'industrie automobile a maintenant atteint le troisième niveau indiqué dans le tableau suivant, et les constructeurs automobiles sont engagés dans une concurrence féroce pour être à l'avant-garde en matière d'automatisation complète.

Niveau SAE	Désignation	Définition narrative
0	<b>Pas d'automatisation</b>  YEUX OUVERTS MAINS SUR LE VOLANT	Performance permanente du conducteur humain sur tous les aspects de la conduite dynamique, même lorsqu'elle est améliorée par des systèmes d'avertissement ou d'intervention.
1	<b>Aide à la conduite</b>  YEUX OUVERTS MAINS SUR LE VOLANT	Exécution spécifique au mode de conduite par un système d'assistance au conducteur de la direction ou de l'accélération/décélération en utilisant des informations sur l'environnement de conduite et en s'attendant à ce que le conducteur humain exécute tous les aspects restants de la tâche de conduite dynamique.
2	<b>Automatisation partielle</b>  YEUX OUVERTS MAINS TEMPORAIREMENT SUR LE VOLANT	Exécution spécifique au mode de conduite par un ou plusieurs système(s) d'assistance au conducteur de la direction et de l'accélération/décélération en utilisant des informations sur l'environnement de conduite et en s'attendant à ce que le conducteur humain exécute tous les aspects restants de la tâche de conduite dynamique.
3	<b>Automatisation conditionnelle</b>  YEUX TEMPORAIREMENT FERMÉS MAINS TEMPORAIREMENT SUR LE VOLANT	Performances spécifiques au mode de conduite par un système de conduite automatisé de tous les aspects de la conduite dynamique, en s'attendant à ce que le conducteur humain réponde de manière appropriée à une demande d'intervention.
4	<b>Haute automatisation</b>  YEUX FERMÉS MAINS LIBRES	Performances spécifiques au mode de conduite par un système de conduite automatisé de tous les aspects de la conduite dynamique, même si un conducteur humain ne répond pas de manière appropriée à une demande d'intervention.
5	<b>Automatisation complète</b>  YEUX FERMÉS MAINS LIBRES	Performances à plein temps d'un système de conduite automatisée de tous les aspects de la conduite dynamique dans toutes les conditions routières et environnementales pouvant être gérées par un conducteur humain.

Désormais libérée des tâches liées à la conduite, l'attention humaine peut être portée sur d'autres tâches qui, à leur tour, entraîneront l'émergence de nouveaux services embarqués.

Il y a deux domaines évidents : les loisirs et le travail.

### Services de loisirs :

- Musique et films (par exemple, les films 4K nécessitent une bande passante de 20 Mb/s)
- Jeux, etc.

### Services professionnels :

- Conférences téléphoniques embarquées
- Accès au serveur cloud, etc.

D'autre part, une automatisation accrue exigera un niveau de communication plus complexe entre les véhicules autonomes et leur environnement extérieur pour assurer la sécurité routière. Par exemple, un véhicule doit être en mesure de communiquer sa position, sa vitesse et sa trajectoire prévue aux autres usagers de la route pour éviter les collisions. Ceci sera fait grâce à la communication entre le véhicule et le véhicule (communication V2V). Cette technologie permet aux véhicules de diffuser et de recevoir des messages omnidirectionnels par communication sans fil).

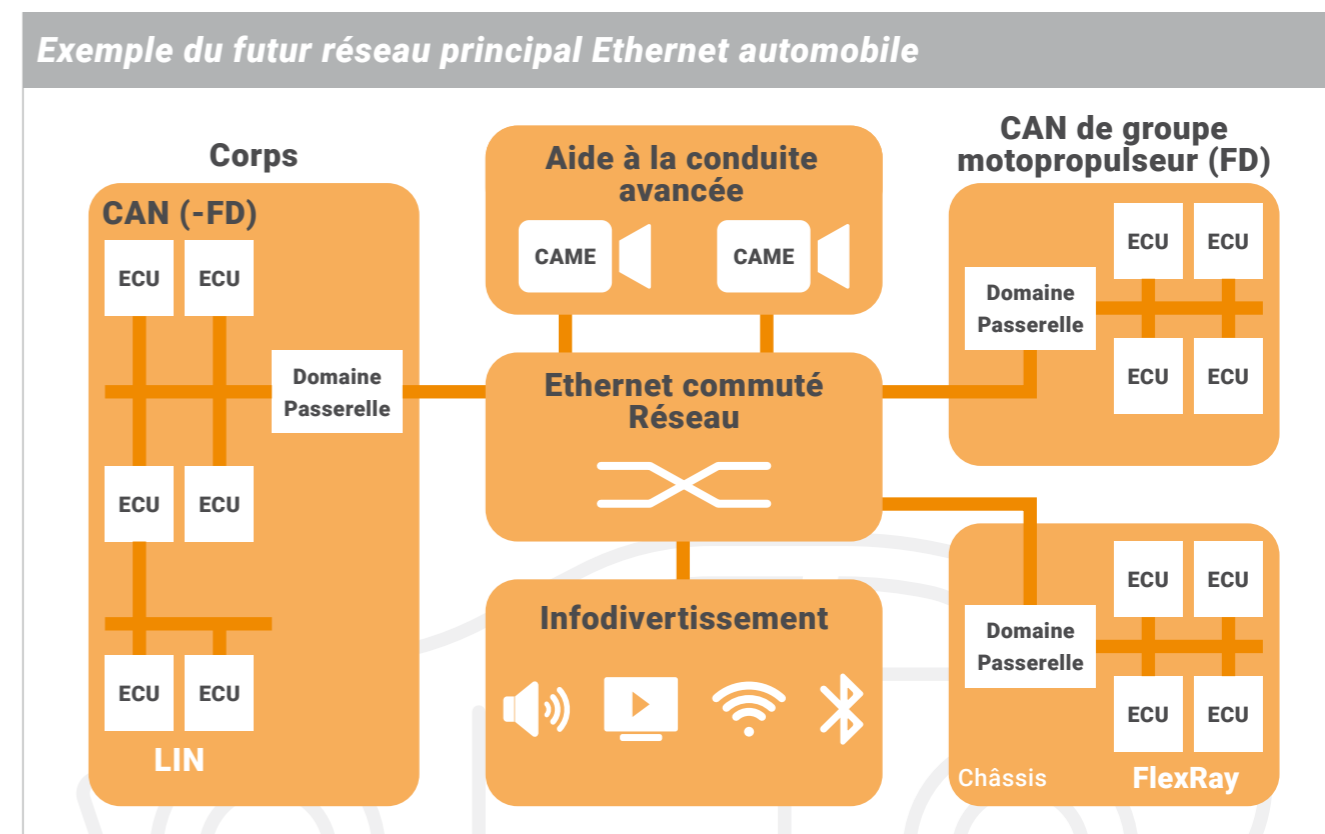
Un véhicule doit être conforme aux systèmes de régulation du trafic pour faciliter la circulation. Véhicule to Infrastructure (V2I) assurera cette communication sans fil et bidirectionnelle entre les véhicules et les équipements routiers. .

La conduite autonome générera une énorme quantité de données à gérer, à transmettre et à traiter. Les capteurs traduiront les informations environnementales en données numériques nécessitant une consommation de bande passante aussi importante (20 Mb/s LiDAR - Light Detection And Ranging - monocanal).

Le réseau intégré doit donc être très réactif afin d'éviter les risques routiers en toute sécurité. Par exemple, une voiture roulant à 130 km couvre plus de 35 mètres par seconde.

Enfin, les voitures connectées doivent offrir des niveaux de sécurité et de fiabilité extrêmes. Avec des vies humaines en jeu, sinon des défaillances mineures du réseau peuvent avoir des conséquences dramatiques.

Fournir une telle assurance nécessite une hiérarchie des niveaux de sécurité du réseau. La séparation entre les niveaux peut être physique ou définie par logiciel.



Source : <http://automotive.electronicsspecifier.com/air-conditioning/real-time-automotive-ethernet>

## 2. ACOME Telecom – Expertise automobile

ACOME dispose de tous les moyens pour répondre efficacement aux futurs défis du secteur automobile.

ACOME livre chaque année plus de 300 000 km de paires et 5 millions de kilomètres de fibre optique à ses clients télécoms, tandis qu'ACOME Automotive fabrique chaque année environ 4 millions de kilomètres de câbles et fils. Depuis sa création il y a 90 ans, ACOME participe activement au développement du secteur des télécoms. ACOME maîtrise les technologies de pointe nécessaires à la conception et à la réalisation de câbles sécurisés et fiables pour le transport des données sensibles. Aujourd'hui, ACOME a la capacité de proposer des produits LAN conformes aux dernières normes et des câbles coaxiaux spécifiquement conçus pour les antennes des réseaux de téléphonie mobile.

Catégories de produits ISO 11801	Plage de fréquence	Débit binaire (distance)
Cat. 5e	jusqu'à 100 MHz	1 Gbit/s (100 m)
Cat. 6	jusqu'à 250 MHz	10 Gbits/s (56 m)
Cat. 6A	jusqu'à 500 MHz	10 Gbits/s (100 m)
Cat. 7	jusqu'à 600 MHz	10 Gbits/s (100 m)
Cat. 7A	jusqu'à 1000 MHz	10 Gbits/s (100 m)
Cat. 8	jusqu'à 2000 MHz	40 Gbits/s (30 m)

Au-delà de cette expertise, ACOME a une expérience de plus de 70 ans dans la fourniture de câbles aux fabricants de faisceaux automobiles.

ACOME dispose de connaissances et de compétences approfondies dans les deux domaines clés pour proposer des solutions dédiées aux véhicules autonomes et connectés :

La première est la technologie du câble de transfert de high speed data, et la seconde est notre expérience dans l'industrie automobile, qui nous donne une compréhension complète des contraintes sévères imposées par l'environnement du câblage automobile : vibrations, températures extrêmes, abrasion, attaque chimique, etc.

## 3. Open Alliance, autres standards et recommandations

### 3.A. Communications unifiées

**Parmi l'ensemble des protocoles disponibles, l'Ethernet à une paire (normalisé par l'OPEN (One Pair EtherNet) Alliance) est particulièrement prometteur. Bien que la technologie Ethernet ne soit pas très répandue dans l'automobile, la disponibilité de câbles à une paire (moins chers et moins lourds) dans des longueurs adaptées à l'industrie automobile (15-40 mètres) permettra à ce protocole de devenir plus répandu dans l'industrie automobile.**

Ethernet offre un certain nombre d'avantages par rapport aux autres technologies de transmission de données. Il s'agit notamment de son utilisation massivement répandue dans l'industrie des télécommunications, qui permettra le partage de la conception des composants électroniques, ce qui réduira les coûts. Ethernet et IP apportent également la possibilité d'unifier les communications provenant de différentes sources. À l'avenir, cela pourrait potentiellement conduire les véhicules à disposer d'une seule et unique architecture unifiée de transmission de données. Certaines fonctionnalités, en ce compris les fonctionnalités de sécurité, nécessiteront une faible latence et/ou une bande passante dédiée, et peuvent exiger un niveau de qualité de service qu'Ethernet ne fournit pas à l'origine. Le dimensionnement généreux de l'architecture de transmission de données rendu possible par l'utilisation de composants et d'incrustations à faible coût (tels que TSN) garantira le fonctionnement sécurisé de tous les matériels et fournira les capacités et la fiabilité en temps réel indispensables à ces fonctions. Initié par BroadR-Reach et d'abord spécifié par l'alliance OPEN, Ethernet mono-paire est désormais normalisé par le groupe de travail IEEE802.3 responsable de toutes les normes Ethernet. Initialement centrée sur un débit de 100 Mbps, cette technologie sera étendue à d'autres débits (10 Mbps, 1 Gbps et même plusieurs Gbps).

### 3.B. Câbles conçus spécifiquement pour la transmission de high speed data dans les applications automobiles

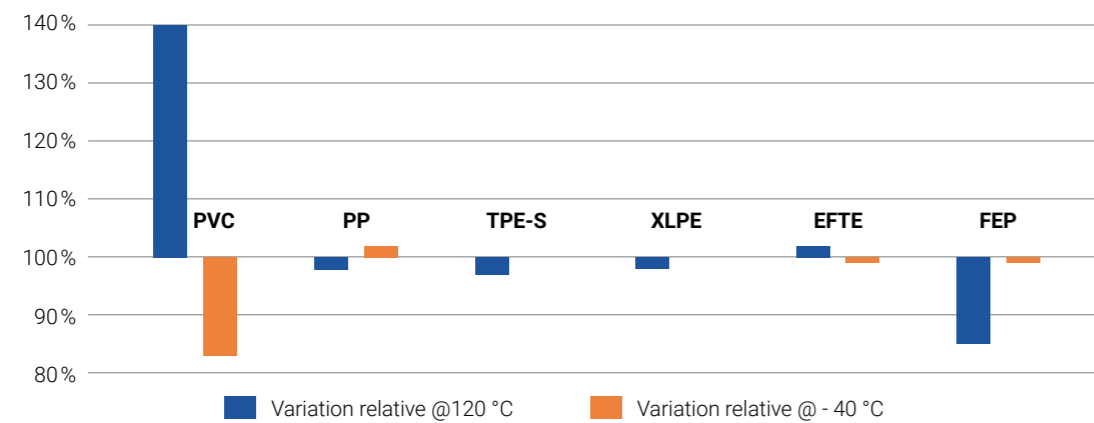
Cette augmentation des débits binaires supportés va de pair avec le besoin de supports de transmission de haute qualité. Pour transmettre ces vitesses, la conception et la fabrication du câble doivent être soigneusement contrôlées afin de limiter l'impact du câble sur les signaux transmis. Lors du passage d'un câble, le signal est modifié : une partie est absorbée par le câble (atténuation) et une autre est renvoyée à l'émetteur (pertes de retour). La symétrie des signaux est également essentielle pour éviter le bruit électromagnétique, puisque la transmission est en mode différentiel (ou symétrique). Pour réussir à résoudre ces paramètres, il est crucial que les dimensions ainsi que les matériaux des câbles et des fils soient méticuleusement contrôlés pour tous les composants des câbles : conducteur, isolation, gaine et blindage.

Le contrôle dimensionnel de tous les composants des câbles est essentiel. Afin d'illustrer l'ordre de grandeur impliqué, une variance de diamètre de fil de 100 µm pour une paire de fils de 0,35 mm<sup>2</sup> modifie l'impédance caractéristique de près de 10 %, et les tolérances de symétrie sont encore plus exigeantes.

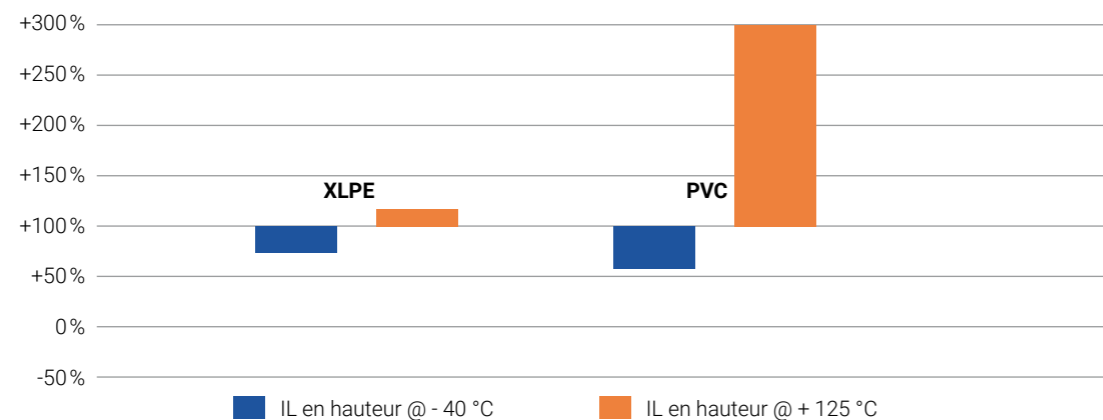
Une maîtrise aussi stricte de l'isolation et plus particulièrement de ses caractéristiques diélectriques est également indispensable. Toutes ces caractéristiques doivent bien sûr être assurées non seulement en fin de fabrication, mais également dans des environnements standards et hostiles (température, vieillissement.).

À ce titre, tous les matériaux et les constructions de câbles ne sont pas égaux. Le PVC en particulier ne fournit pas de bonnes performances de transmission du signal, étant donné que ses performances varient en fonction de la température, ce qui rend très difficile le maintien des spécifications aux températures extrêmes basses et hautes.

## Variation de capacité avec température (100%@20°C)



## Impact de la température sur l'atténuation @1GHz (réf.@23°C)



De même, le maintien des performances de compatibilité électromagnétique (CEM) peut nécessiter que tout blindage de câble utilisé soit conçu avec un haut niveau de précision afin de fournir les performances requises sans surcoût ni augmentation de poids inutile.

Choisir un fabricant de câbles possédant une expertise en matière d'environnement et de transmission de données offre une assurance fiable de la qualité et des performances des câbles dans toutes les situations.

## À propos d'ACOME...

**Fort de son expérience dans les domaines de l'automobile et des télécoms, ACOME dispose de toutes les connaissances pour relever ces défis.**

## Glossaire – Terminologie de la transmission des signaux

**Signal** est le terme utilisé pour décrire la forme physique des données à transmettre d'une extrémité du câble à l'autre. C'est une onde électromagnétique qui transporte l'énergie d'un émetteur vers un récepteur. L'émetteur crée le signal et le récepteur doit l'interpréter pour reconstruire les informations qu'il contient. Le canal reliant les deux doit minimiser toute détérioration du signal.

Le **bruit** décrit l'ensemble des événements contenant de l'énergie sous la même forme que le signal - quelle que soit sa source (pas nécessairement l'émetteur) - et ne contenant aucune information. Au récepteur, cette énergie est ajoutée au signal et la contamine. Le niveau de bruit doit être raisonnable par rapport au niveau de signal reçu si le récepteur doit interpréter correctement le message.

Le **canal de communication** est l'ensemble des composants formant la liaison de transmission (câbles, connecteurs, etc.) entre deux cartes électroniques. Ses performances électriques doivent répondre à des critères spécifiques pour permettre une transmission efficace du signal. Ces critères de performance comprennent :

**IL (perte d'insertion)** : pour être correctement interprété par le récepteur et ne pas être oblitéré par le bruit, le signal doit avoir suffisamment d'énergie lorsqu'il arrive à l'extrémité réceptrice du canal. Malheureusement, une partie de son énergie est perdue lors de sa transmission par le canal. L'énergie perdue entre l'entrée du canal et la sortie est l'IL. Ces pertes peuvent avoir des origines multiples.

**L'impédance (Zc)** peut être interprétée comme l'environnement vu par le signal lorsqu'il se propage à travers le canal ; elle dépend de variables telles que les dimensions du canal, la vitesse du signal, etc. Cet environnement doit être le plus régulier possible pour éviter les reflets lors du passage de l'émetteur vers le connecteur vers le câble, et inversement. On commence par définir une impédance nominale (par exemple 100 Ohms) à laquelle tous les composants doivent se conformer au plus près.

**RL (Return Loss)** : lorsque l'impédance change, une partie de l'énergie du signal est réfléchié via le canal de transmission. Ce signal réfléchi est appelé RL. Cette énergie de signal circule dans le sens inverse et peut donc interférer avec l'émetteur et/ou le récepteur en créant du bruit.

**Diaphonie** : lorsque plusieurs canaux sont proches, une partie de leur énergie peut passer d'un canal à l'autre, créant ainsi une diaphonie. Cette partie du signal n'étant plus dans son canal dédié, elle devient une énergie indésirable, donc un bruit. Si ce bruit arrive à l'extrémité de l'émetteur du canal, il est appelé NEXT (Near End Crosstalk). S'il arrive à l'extrémité du récepteur, il est appelé FEXT (Far End Crosstalk). Cette diaphonie est décrite comme endogène lorsqu'elle provient d'un même câble (multicanal) ou exogène lorsqu'elle provient d'un câble séparé, auquel cas elle est appelée diaphonie extraterrestre. Par rapport à la valeur d'atténuation, ce niveau de diaphonie donne un rapport signal/bruit, ce qui donne un bon indicateur de la qualité globale du canal. Dans ce cas précis, le rapport résultant est appelé rapport d'affaiblissement à la diaphonie (ACR), qui peut être soit ACR-N (fin proche) soit ACR-F (fin lointaine).

**Atténuation du balourd** : lors de l'utilisation d'une paire torsadée, la symétrie est cruciale. Les deux fils transportent des signaux exactement opposés (mode de transmission différentielle), et la paire doit être parfaitement symétrique pour maintenir ces signaux opposés dans tout le canal au récepteur. Sinon, une partie de l'énergie du signal devient du bruit de mode commun rayonné pour créer du bruit dans d'autres canaux tout en étant perdu pour les besoins de la transmission. De même, une telle asymétrie permet aux interférences de s'accumuler dans le mode différentiel et d'atteindre le récepteur en tant que bruit qui perturbe le signal. Ces asymétries peuvent soit induire un retour du signal vers l'émetteur (Longitudinal Conversion Loss ou LCL) soit transformer le signal par sa propagation vers le récepteur (Longitudinal Conversion Transfer Loss ou LCTL).

## 4. Du câble électrique au bus de communication (différences et défis)

Les réseaux de communication ont d'abord été introduits dans les applications automobiles pour relier les unités de commande électroniques (ECU). Depuis lors, la nécessité de répondre aux exigences des systèmes embarqués individuels a conduit au développement de plusieurs protocoles (LIN, CAN, LVDS, CAN FD, FlexRay, MOST, etc.).

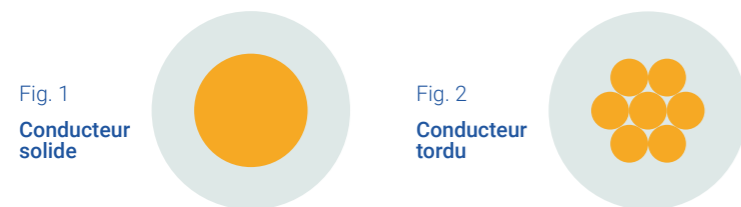
Aujourd'hui, l'accent est mis sur le protocole Ethernet et l'utilisation d'une seule paire en raison de la grande capacité de bande passante que ce protocole peut fournir et de ses avantages en termes de coûts inférieurs et de maturité technologique. Les détails donnés dans cette section se fondent sur le bus de communication à simple paire et examinent comment il diffère du câble électrique standard et les défis impliqués.

### 4.A. Le conducteur

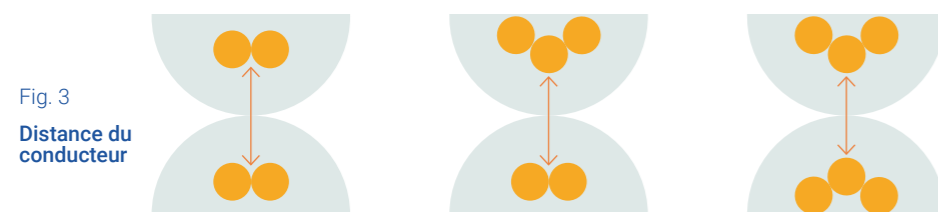
Il existe une différence significative entre la conception des conducteurs automobiles et télécoms. L'industrie des télécommunications utilise principalement des conducteurs solides (cuivre), tandis que les applications automobiles utilisent des conducteurs multibrins.

Du point de vue des télécommunications, plus le conducteur est circulaire et régulier, plus la construction du fil est précise et la qualité de transmission élevée (Fig.1).

D'un point de vue automobile, plus il y a de brins dans la construction des conducteurs, plus le niveau de performance mécanique fourni par le produit résultant est élevé (Fig.2).



La conception multibrins utilisée pour la transmission de données de véhicules est plus complexe que la conception télécom circulaire en raison de l'irrégularité de la forme extérieure. La distance entre les deux conducteurs varie le long du câble (Fig. 3), ce qui peut affecter les performances du câble et de la transmission (la stabilité de construction repose principalement sur l'impédance –  $Z_c$ ).



Pour une explication plus détaillée du comportement des conducteurs assemblés, il est d'abord nécessaire de comprendre les effets de peau et de proximité.

Tout matériau conducteur peut être utilisé pour le conducteur.

Aujourd'hui, l'industrie des télécoms utilise principalement du cuivre, tout comme l'industrie automobile. Néanmoins, des alternatives existent. Le cuivre laminé (ou matériaux à base de cuivre, tels que les alliages de cuivre, le cuivre étamé, etc.) est préféré par l'industrie automobile pour sa flexibilité, son comportement mécanique et sa durée de vie électrique (Fig. 4).

Pour certaines applications, l'humidité / l'eau ou la température peuvent avoir un effet sur les solutions de cuivre nu, auquel cas le cuivre étamé peut apporter une solution. La durée de vie du cuivre étamé est beaucoup plus longue que celle du cuivre nu, et il offre une excellente résistance à la corrosion, en particulier en conditions humides (corrosion, fatigue progressive et rupture).

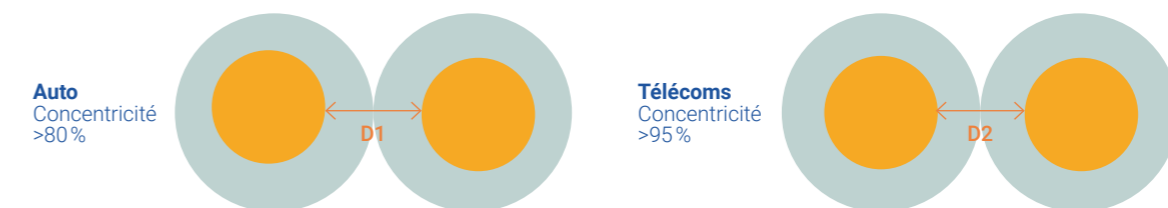


### À propos d'ACOME...

ACOME dessine et torse des conducteurs en interne. Le Groupe maîtrise la qualité de ses conducteurs.

### 4.C. La géométrie... Le rendez-vous de l'automobile et des télécoms

Dans les télécommunications, la conception de haute précision des câbles à paires torsadées est essentielle pour maintenir un espacement constant entre les deux conducteurs afin d'assurer la stabilité de la capacité et donc l'impédance caractéristique. Le consortium de l'industrie automobile pour le bus de communication à protocole Ethernet a déterminé 100 Ohms comme norme pour l'impédance caractéristique des câbles, et pour d'autres composants liés aux câbles. Une expertise en géométrie variable est nécessaire pour s'assurer du respect des paramètres adéquats. Dans l'industrie automobile, une concentricité supérieure à 80 % est nécessaire, alors que les applications de télécommunication exigent une concentricité supérieure à 95 %. Cependant, l'industrie automobile converge désormais avec la valeur télécom pour atteindre les meilleurs paramètres de transmission.



Concentricité du conducteur où  $D1 \neq D2$  suite aux leçons de stabilité de centrage apprises dans les deux industries

Comme mentionné précédemment, l'impédance caractéristique ( $Z_c$ ) est liée à la capacité ( $C$ ) et donc aux variables telles que diélectrique ( $\epsilon_r$ ), conducteur ( $d$ ), spécifications de conception et dimensionnelles. D'où l'importance d'avoir des conducteurs aussi circulaires que possible en section transversale ( $D$ ) afin d'éviter toute disparité d'espacement.

Ceci est exprimé par la formule suivante:

Fig. 5 Formule d'impédance caractéristique

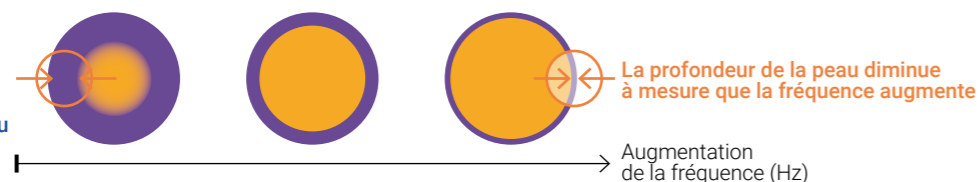
$$\text{En HF: } Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad C = \frac{\pi \cdot \epsilon_o \cdot \epsilon_r}{L_n \left( \frac{D}{d} + \sqrt{\left( \frac{D}{d} \right)^2 - 1} \right)}$$

Avec :  $\epsilon_o = 8,84 \times 10^{12} \text{F/m}$

Pour comprendre plus en détail ce qui se passe, il faut se concentrer sur les effets de peau et de proximité. Dans un conducteur isolé solide, l'effet de peau est la tendance du courant à circuler à l'extérieur du centre du conducteur à mesure que la fréquence augmente. Pour les hautes fréquences, le courant est ainsi réparti sur une section transversale inférieure qui augmente la résistivité (Fig.6)

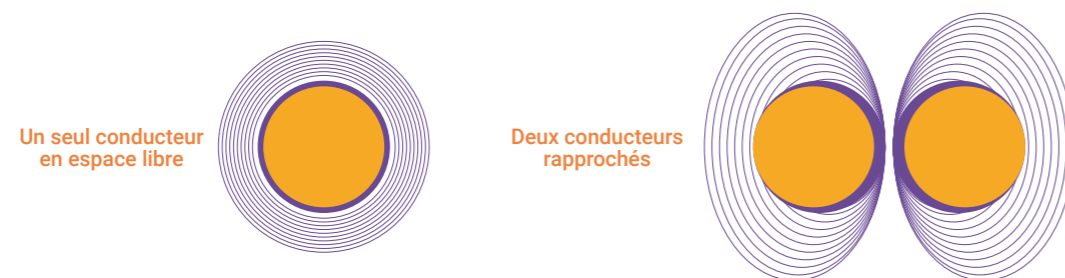
Distribution du courant en violet

Fig. 6  
Effet de peau



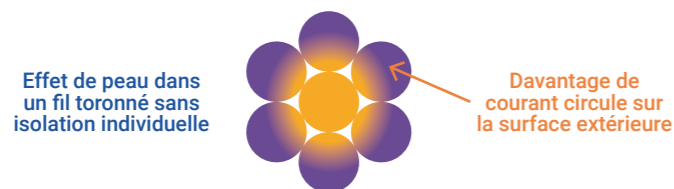
Lorsque deux conducteurs isolés sont proches l'un de l'autre, la distribution du courant change et se concentre à la surface des conducteurs adjacents : c'est l'effet de proximité. De la même manière que l'effet de peau, plus la fréquence est élevée, plus la concentration de surface change (Fig.7).

Fig. 7  
Effet de proximité



Les conducteurs multibrins sont désavantagés à cet égard, car le courant sera concentré moins uniformément que dans un conducteur solide, et les écarts entre les brins amplifieront l'effet de peau résultant de champs magnétiques sur la surface de chaque brin de fil.

Fig. 8



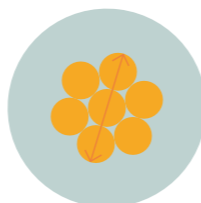
### À propos d'ACOME...

**ACOME est un expert reconnu des télécoms et un fournisseur fort de plus de 90 ans d'expérience dans le développement de solutions de transmission de données basées sur la maîtrise minutieuse de la géométrie des câbles et l'utilisation de procédés de haute précision.**

## 4.C. L'isolation

Pour une bonne transmission du signal à travers le câble, le principal facteur à prendre en considération pour l'isolation reste ses propriétés diélectriques. C'est l'un des enjeux les plus importants pour les applications télécoms et automobiles. Les propriétés diélectriques et leur stabilité dans des conditions environnementales difficiles sont des facteurs déterminants pour la performance à long terme des câbles.

Fig. 9  
Fil isolé  
Isolation : propriété diélectrique

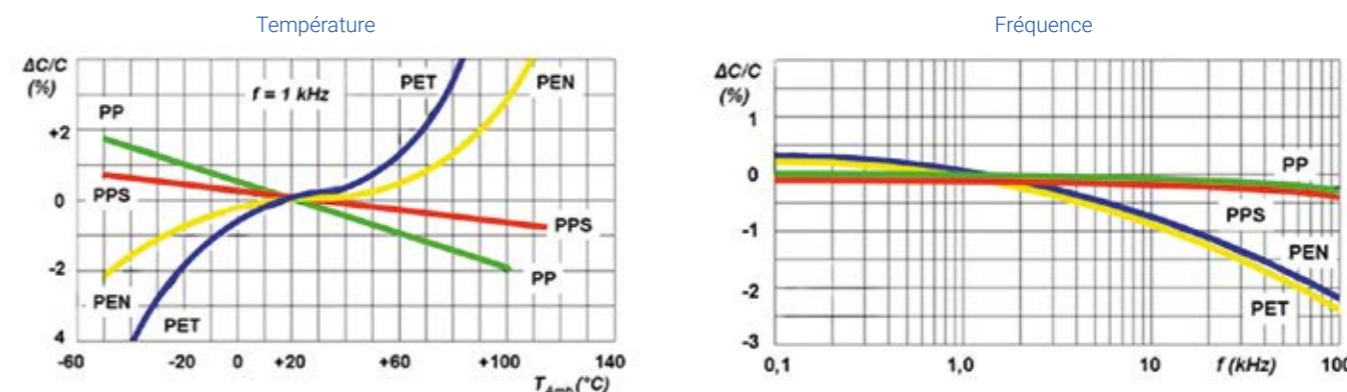


### À propos du matériel

Les enduits utilisés dans les thermoplastiques affectent leurs performances diélectriques et doivent être soigneusement spécifiés afin d'atteindre les niveaux requis de performance en matière de résistance au feu/à la chaleur. L'ajout de charges à un polymère naturel affectera la permittivité diélectrique du matériau et, lorsqu'il est utilisé pour une paire, ce facteur influencera son impédance et sa capacité caractéristiques.

## Matériaux utilisés

La température et la fréquence sont deux facteurs qui peuvent influencer les performances de permittivité diélectrique des matériaux et la nature de cette influence diffère d'un matériau à l'autre.



Source : web – [https://en.wikipedia.org/wiki/Film\\_capacitor](https://en.wikipedia.org/wiki/Film_capacitor)

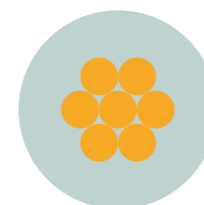
Le PVC est l'un des matériaux utilisés dans les applications automobiles, mais ce matériau est clairement instable en réponse aux changements de température/fréquence et doit être évité pour les applications de transmission.

À l'inverse, les matériaux à base de PP et de PE offrent une assez bonne stabilité en matière de transmission et de performances thermo-mécaniques, et sont raisonnables en termes de coûts.

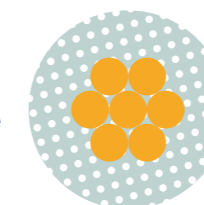
Pour les applications à haute température, d'autres matériaux présentant un plus grand potentiel de conformité aux exigences doivent être envisagés.

La forme du matériau est également un facteur important. Par exemple, les matériaux en mousse sont souvent utilisés dans l'industrie des télécommunications. L'injection de gaz dans l'isolant diminue la permittivité diélectrique et améliore les performances. Cependant, l'utilisation de la mousse pour les applications dans les environnements difficiles n'est pas si simple, car elle réduit les propriétés mécaniques de l'isolation.

Isolation solide



Isolation en mousse



### À propos d'ACOME...

**ACOME développe ses propres composés et dispose des capacités requises pour développer précisément la spécification de matériaux nécessaire afin de répondre aux attentes des clients et de respecter les paramètres d'extrusion.**

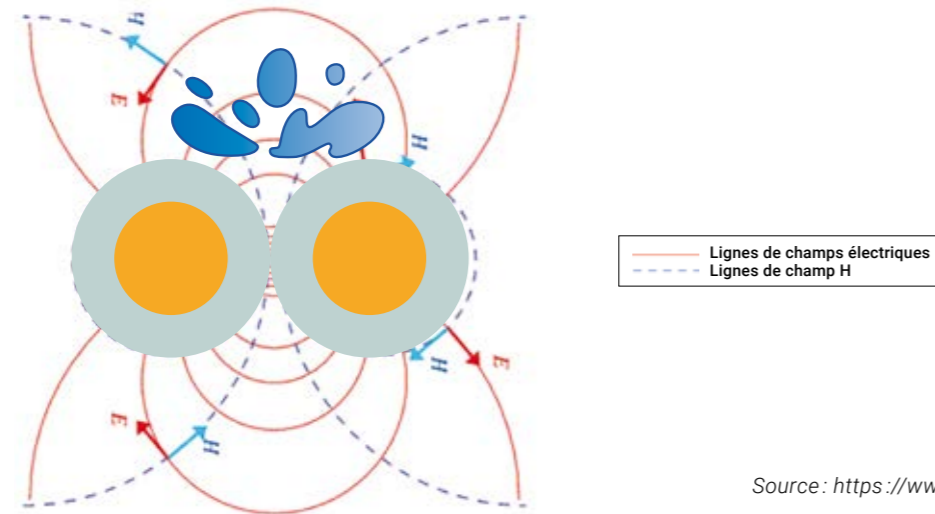
## 4.D. L'environnement de la paire de conducteurs

Des fréquences plus élevées augmentent la sensibilité de la solution en réduisant la profondeur de la peau et en augmentant la concentration des ondes électromagnétiques. Les solutions doivent donc être les plus stables possible dans leur construction.

Comme pour la fréquence, la température affecte également les propriétés diélectriques des matériaux utilisés pour l'isolation. La formule de capacité de la paire (Fig. 6) comprend la variable diélectrique. Cette formule influence également l'impédance caractéristique.

L'humidité entre les deux fils torsadés peut également affecter l'impédance caractéristique et la transmission. Généralement, lorsqu'un autre matériau intervient entre deux fils associés à un matériau diélectrique, il affectera à la fois le flux électrique et la capacité. Pour éviter de tels problèmes, il convient de tenir compte de la mise en portefeuille lors de la conception de la construction du câble.

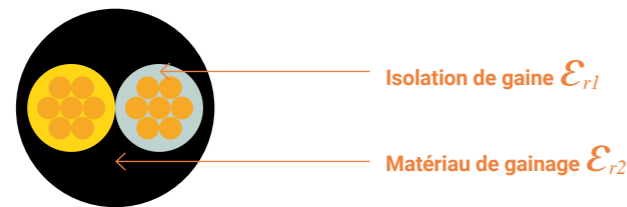
Fig. 10  
Motif EH entre une paire parallèle de fils similaires



Source : <https://www.st-andrews.ac.uk>

Lorsqu'un matériau est inséré intentionnellement entre des fils, comme c'est le cas avec une enveloppe pleine, le diélectrique équivalent change. Même lorsque les caractéristiques du matériau et ses propriétés diélectriques sont connues, la formule de capacité ne fournira pas un niveau de fiabilité suffisant, et il sera plus difficile de prévoir les résultats. Une nouvelle valeur de permittivité équivalente devra par ailleurs être identifiée.

Fig. 11  
Paire isolante



### À propos d'ACOME...

L'ingénierie d'ACOME utilise des programmes de calcul développés en interne, ainsi que des systèmes CAO spécifiques pour simuler des définitions de solutions plus complexes.

## 4.E. Assemblage en paires torsadées

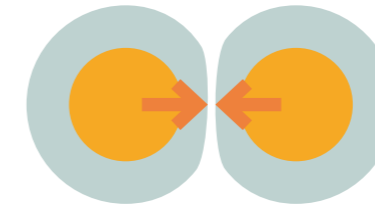
La façon dont la paire torsadée est assemblée est une autre variable, car la longueur de torsion peut affecter la stabilité dimensionnelle, et donc la transmission du signal. Les fils de torsion serrés ensemble entraînent l'isolation de chaque fil exerçant une pression sur l'autre, ce qui peut entraîner des déformations dimensionnelles. Les fils doivent être assemblés de manière suffisamment serrée pour éviter tout relâchement entre les deux, mais ne doivent pas être torsadés exagérément au point d'imposer des niveaux élevés de contrainte mécanique, voire une rupture.

Ensemble filaire



Toutefois, une pression trop faible pendant le processus de torsion peut générer une instabilité de la transmission du signal si les fils sont assemblés de manière trop lâche.

Fig. 12  
Pression des fils



Les changements géométriques peuvent affecter la capacité en rapprochant les conducteurs et en modifiant la zone de transmission des flux électriques.

Ces changements résultent non seulement de la torsion de la paire et de la longueur de la pelouse, mais aussi de la souplesse du matériau. Le choix des matériaux est donc très important. Un pas de torsion court augmente la pénétration des deux matériaux, comme indiqué précédemment, et modifie la distance entre conducteurs. Les changements de température peuvent également modifier les propriétés des matériaux : le choix approprié du matériau thermoplastique est donc important.

### À propos d'ACOME...

Les laboratoires ACOME analysent les assemblages, et conçoivent et produisent de nouveaux matériaux pour éviter les problèmes d'assemblage des câbles.

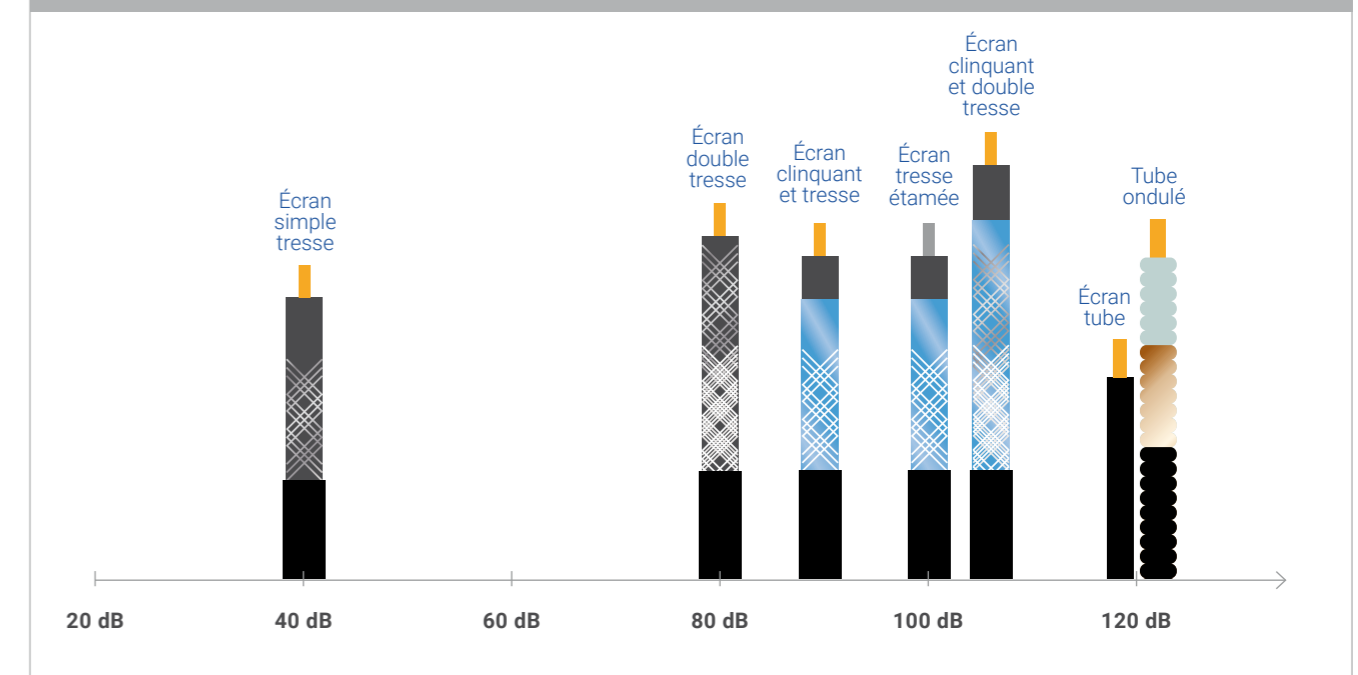
## 4.F. Blindage

À mesure que le nombre d'appareils électriques et électroniques embarqués augmente, leur taille diminue. Cette miniaturisation des appareils répond au défi posé par la réduction du poids. Réduire la taille du système ne réduit pas la capacité des systèmes à émettre des ondes électromagnétiques, et ce fait a un impact direct sur la complexité du câble et le coût de fabrication. Le secteur automobile ayant de plus en plus recours à l'électronique, maintenir les interférences électromagnétiques (EMI) entre appareils et systèmes devient un défi de plus en plus difficile à relever.

Le blindage affecte l'efficacité, l'atténuation, la flexibilité et le coût.

Le schéma suivant présente quelques exemples de solutions de blindage.

### Exemples de solutions de blindage





D'une manière générale, les câbles de transmission de données utilisent une feuille métallique (par ex. en aluminium) et une tresse métallique (par ex. en cuivre étamé). L'efficacité du blindage est définie par l'impédance de transfert (mOhms) ou l'atténuation de l'écran (dB).

L'efficacité de blindage de la feuille métallique dépend principalement de l'épaisseur de la feuille et de la méthode d'assemblage utilisée.

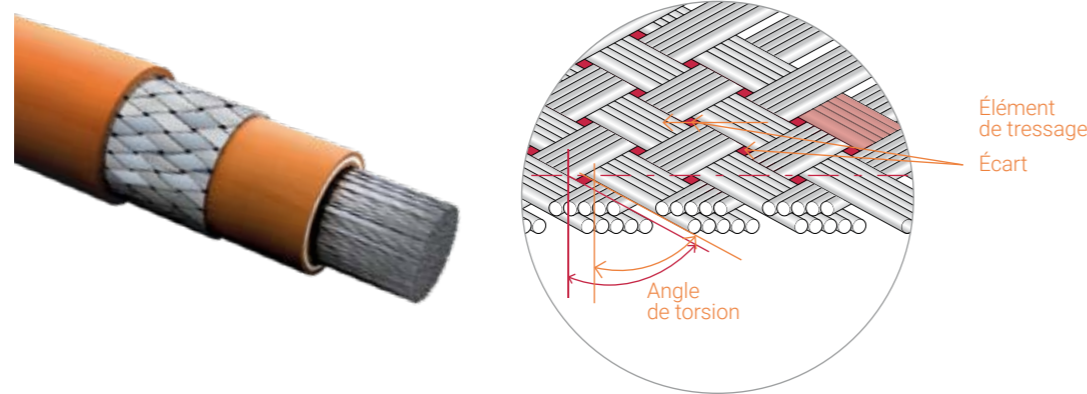
Fig. 13  
Câble paire torsadée blindée



L'efficacité de blindage de la tresse métallique dépend non seulement de la récupération optique, mais aussi de nombreux facteurs : nombre de brins, taille des brins, angle, taille des fentes et pas.

Répondre aux spécifications de l'industrie automobile implique d'assurer la flexibilité en utilisant les plus petits brins possibles et l'angle de torsion tout en garantissant l'efficacité du blindage.

Fig. 14  
Câble HT (blindage tressé)



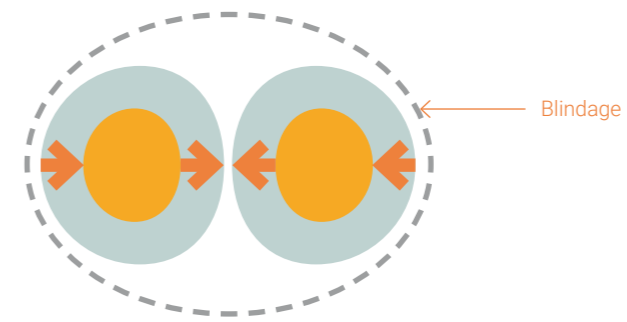
### À propos d'ACOME...

**ACOME dispose de nombreuses années d'expertise dans les techniques d'assemblage des blindages pour les applications télécom et a développé ses propres processus et solutions internes. Ce même niveau d'expertise est appliqué par ACOME Automotive, dont les solutions de blindage vont désormais de 0,13 mm<sup>2</sup> à 100 mm<sup>2</sup> et au-delà.**

## 4 G. Ensemble blindage

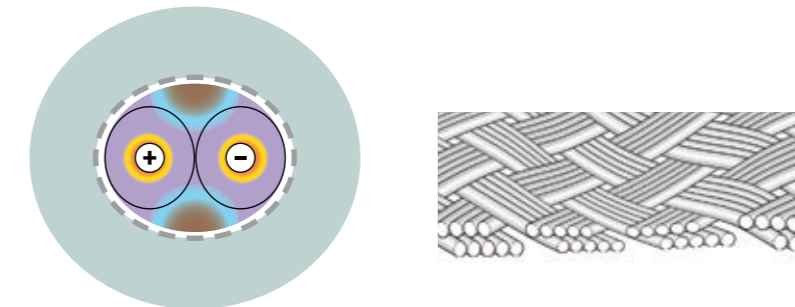
Compte tenu de la complexité des architectures de câblage, des interférences d'environnement externe et des interférences internes générées par les câbles, il est très important d'éviter tout problème fonctionnel supplémentaire en envisageant le blindage. La façon dont les éléments de blindage sont assemblés dépend principalement du niveau de protection requis et peut, à terme, affecter le comportement du câble ainsi que ses performances électriques. Dans les câbles de données, le problème principal est la diaphonie. L'interférence électromagnétique pouvant influencer le câble et les paramètres de mesure, les ensembles de blindage doivent être suffisamment efficaces pour empêcher l'interférence électromagnétique externe d'affecter le signal traversant le câble. La méthode d'assemblage du blindage peut imposer des pressions supplémentaires sur les fils torsadés, ce qui peut affecter leurs paramètres électriques

Fig. 15  
Ensemble blindé



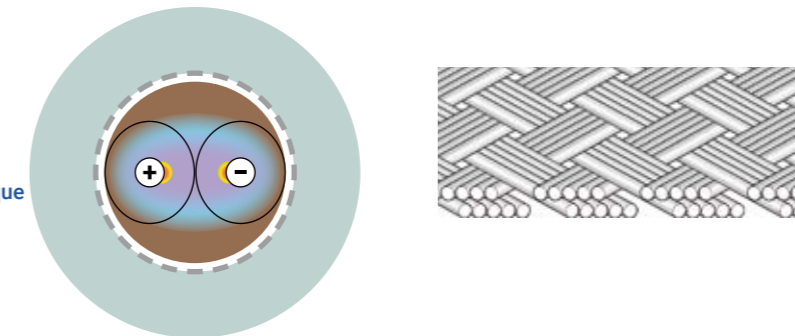
La proximité du blindage affecte la transmission électrique. Il s'agit là encore de l'effet de proximité résultant du voisinage étroit des éléments métalliques de blindage avec le conducteur isolé. Les assemblages à feuilles asymétriques et à tresses peuvent également perturber la distribution du courant.

Fig. 16  
Blindage asymétrique



Une solution pour éviter l'effet de proximité est de séparer le blindage des conducteurs.

Fig. 17  
Blindage symétrique



La fréquence déterminera la meilleure solution. Plus la fréquence est élevée, plus le câble doit être géométriquement précis et symétrique. Cela peut également influencer le blindage et le poids.

### À propos d'ACOME...

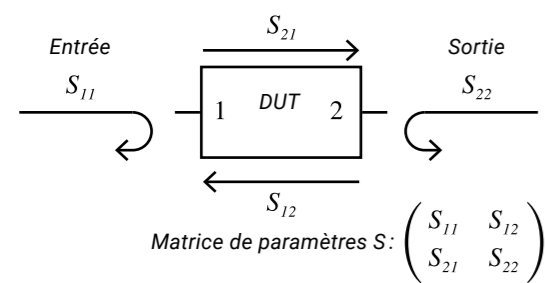
**L'expertise transverse d'ACOME en matière d'utilisation de différentes méthodes de blindage de la haute tension aux câbles de données est bien connue et respectée dans ses industries clientes. Elle est le résultat de notre capacité à développer nos propres produits dans notre laboratoire d'essais interne et les installations associées.**

# 5. Recommandations métrologiques ACOME

## 5.A. Différentes mesures pour différentes applications

**Les câbles et les composants nécessitent une gamme de mesures différentes, chacune étant importante car elle caractérise un type particulier de performance : mesures de transmission (en termes de fréquence ou de temps), mesures de symétrie et mesures CEM.**

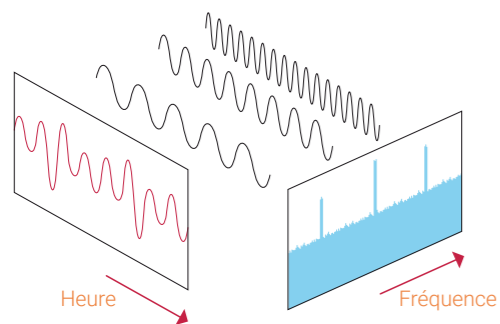
### 1. Paramètres S



Lors de la mesure des paramètres de transmission, IL, impédance et RL (qui donne la même indication que l'impédance) sont mesurés sur une seule paire. Pour plusieurs paires, les paramètres de diaphonie NEXT et FEXT doivent également être mesurés. Cette mesure est basée sur la transmission d'énergie sous forme d'onde RF à travers l'élément à tester et sur la mesure où et comment cette énergie est émise. Une matrice est alors produite pour représenter la distribution de la sortie d'énergie (paramètre Diffusion ou paramètre S).

### 2. Impédance caractéristique

La mesure d'impédance caractéristique permet de vérifier la compatibilité entre un élément d'une voie d'émission et le reste de la voie. Le fait est que chaque variation d'impédance dans le canal de transmission crée des réflexions, où une part du signal est réfléchi vers l'émetteur. Outre une partie de l'énergie perdue pour les besoins de la transmission, l'énergie réfléchi peut également interférer avec l'émetteur. Cette interférence est d'autant plus critique que, comme c'est le cas avec les câbles Ethernet à paires torsadées, les liaisons sont bidirectionnelles sur le même canal (lorsque des informations sont transmises simultanément dans les deux sens sur la même paire, on parle de liaison full duplex).



### 3. Mesure de fréquence

Les mesures de fréquence sont effectuées pour caractériser la bande passante du câble ou du canal. Pour les signaux de type Ethernet transmis en bande de base, la bande passante doit être ouverte du signal continu (0 MHz) à la fréquence maximale utilisée (66 MHz à 200 MHz conformément aux paramètres 100 MHz, et 600 MHz pour 1 Gbps). Pour les transmissions modulées, qui sont utilisées principalement pour les liaisons radio, seule une bande étroite doit être active

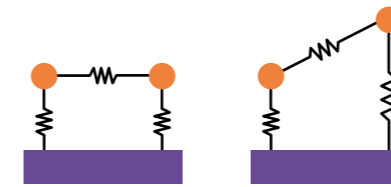
(malgré le fait que les systèmes de câblage fonctionnent sur des bandes larges). En pratique, les longueurs sur lesquelles les câbles sont mesurés signifient que les fréquences inférieures ne reflètent plus la qualité du câble, mais plutôt celle de la mesure et de l'adéquation du système. Donc, si la bande passante garantie et la mesure IL sont nécessaires sur toute la bande, la mesure RL est pertinente uniquement à partir de 4MHz sur 100 m et de 40MHz sur 10 m.

### 4. Mesure de domaine temporel (TDR)

Il est également possible de mesurer certains paramètres temporels, notamment l'impédance à l'aide de la TDR (Time Domain Reflectometry). Ce type de mesure révèle la manière dont l'impédance évolue dans l'ensemble du canal et à quel point il est donc important là où l'impédance est susceptible de varier. Un seul câble enroulé

sur un tambour ou posé sur un banc présente peu de variation, mais cette mesure est propre à l'évaluation de l'impact d'un connecteur ou d'un cheminement particulier d'un câble lorsqu'il est installé dans un véhicule (courbure serrée, passage par des cloisons ou autres structures.). Il peut également être utile pour mesurer des composants plus courts (généralement des connecteurs ou des canaux courts).

### 5. Mesure de symétrie



Lignes couplées équilibrées et déséquilibrées

Les paramètres de symétrie, LCL et LCTL (ou TCL et TCTL) sont mesurés en termes de fréquence, et nécessitent une configuration spécifique. Lorsque les paramètres de transmission sont mesurés en mode symétrique (ou différentiel), la mesure des paramètres de symétrie est hybride : un signal asymétrique est injecté dans le système pour être mesuré en symétrie. Cette mesure est importante car les émetteurs-récepteurs ne sont sensibles qu'au mode symétrique. La partie du signal qui arrive sous forme asymétrique leur est donc perdue. Plus

important encore, l'interférence électromagnétique prend généralement la forme d'énergie asymétrique, de sorte qu'une conversion dans le câblage créera un bruit de mode symétrique auquel le récepteur sera très sensible. La symétrie améliore donc encore l'immunité électromagnétique du système.

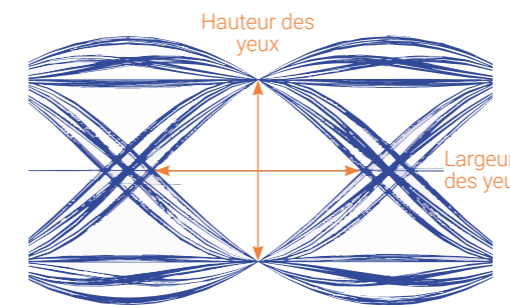
### 6. Mesure CEM



Une autre mesure est celle qui caractérise la performance CEM du câble pour quantifier l'interférence électromagnétique générée par le câble dans son environnement externe, et inversement, la susceptibilité du câble aux

interférences externes. À de basses fréquences, le câble est caractérisé par son impédance de transfert ( $Z_t$ ), et aux hautes fréquences par l'atténuation des couplages ( $A_c$ , pour les paires) et l'atténuation des écrans (comme pour les coaxiaux mono-conducteurs, les câbles d'alimentation et autres câbles). Ces mesures sont adaptées aux câbles blindés.

### 7. Diagramme des yeux



La dernière option consiste à créer un diagramme des yeux basé sur l'affichage d'oscilloscope. Cette mesure ne convient pas aux composants passifs tels que les câbles, les connecteurs ou même les canaux, mais aux systèmes complets qui incluent les composants électroniques de destination. Ce test visuel mesure la qualité du signal à un point donné du canal en estimant la facilité avec laquelle un récepteur serait capable de discriminer les différents niveaux de signal. C'est donc un test utile pour les fabricants d'électronique et d'équipements.

La comparaison de plusieurs mesures de diagramme visuel effectuées à différents points du canal et l'analyse des résultats peuvent mettre en évidence les influences imposées par les caractéristiques de câblage telles que IL, RL ou le manque de bande passante dans le canal. Les dispositifs de mesure les plus récents sont même capables de générer des diagrammes oculaires à partir des mesures de ces caractéristiques de canal. Néanmoins, ce type de mesure nécessite des dispositions particulières, la réalisation de diagramme d'œil étant limitée aux liaisons simplex. Les liaisons Ethernet par paires torsadées étant full duplex, des modes d'émission spéciaux sont nécessaires pour éviter les signaux de retour, ainsi qu'un mode de test capable de générer les bons signaux à partir des émetteurs utilisés. En outre, l'utilisation d'encodeurs avancés, de pré-codeurs et d'annulateurs d'écho sur des protocoles Ethernet modernes rend l'interprétation directe des diagrammes oculaires beaucoup plus difficile. Ce test est donc plus utile avec certains protocoles mieux adaptés à ses techniques, mais il peut être utile dans le diagnostic ou la validation de certains liens.

## 5.B. Maîtrise des procédés de mesure

L'efficacité du contrôle qualité des produits reposant sur la possibilité de comparer les produits et d'assurer leur compatibilité avec les protocoles qu'ils devront transmettre, des méthodes de mesure clairement établies sont essentielles. Les moyens de mesure individuels des paramètres d'émission ou de compatibilité électromagnétique sont définis par les différents organismes de normalisation (IEEE, Open Alliance, IEC.). Le respect de ces recommandations est très important, mais l'expertise et les échantillons de mesure de mise en œuvre sont tout aussi essentiels, notamment pour les composants unitaires. Tout autre composant doit pouvoir être exclu, et un soin particulier doit être apporté à la mise en œuvre et au raccordement du dispositif de mesure. La mise en œuvre de mesures de compatibilité électromagnétique est d'autant plus critique. Toute mauvaise interprétation ou interprétation réalisée par une personne inexpérimentée peut fournir des résultats de performance qui sont davantage représentatifs de la mise en œuvre que du produit lui-même.

### À propos d'ACOME...

**Fort de son expérience du contrôle qualité et du contrôle des câbles de télécommunication, le Groupe ACOME maîtrise tous ces types de mesures. Nous menons également des campagnes de tests comparatifs avec des laboratoires de recherche et d'accréditation afin de nous assurer que les résultats sont constamment reproductibles dans chaque environnement de laboratoire. Cela garantit que les mesures sont fiables et directement comparables, ce qui constitue à son tour la base de la fiabilité du produit fini. ACOME est également membre des groupes de normalisation de ces méthodes de mesure pour se tenir informé des bonnes pratiques et de partager son expérience avec la communauté.**

Afin de refléter précisément les qualités intrinsèques de chaque composant, les méthodes de mesure sont adaptées en fonction de chaque type de composant, ils varient donc d'un type à l'autre. Des mesures individuelles doivent être effectuées sur les canaux complets et la mise en œuvre de chaque élément de canal. Tous les éléments du canal doivent être mis en œuvre conformément aux bonnes pratiques de pointe afin d'assurer les meilleures performances possibles. Ainsi, par exemple, lors de l'utilisation d'éléments différentiels de transmission, il faut veiller à assurer la symétrie dans l'ensemble du canal et éviter toute séparation des deux conducteurs ; dans le cas contraire, les performances globales seront complètement compromises. De même, un blindage n'est correctement efficace que lorsqu'il est connecté à chaque extrémité du canal, lorsqu'il définit la limite d'un espace clos par lequel les interférences électromagnétiques ne peuvent passer. Mal branchées, les performances du bouclier peuvent être annulées, voire même contre-productives en permettant au bouclier d'agir comme une antenne collectant toutes les interférences environnementales environnantes. Chaque composant doit respecter pleinement les pratiques de pointe afin de garantir les meilleures performances possibles de l'ensemble du système.

### À propos d'ACOME...

**ACOME dispose d'une grande expertise dans tous ces domaines et réalise des mesures fiables et conformes aux performances intrinsèques de ses câbles.**

## 6. Recommandations produits par ACOME

**Sur la base des recommandations formulées précédemment dans ce livre blanc, et dans un souci permanent de fiabilité et de qualité des solutions proposées, ACOME estime que la solution à paires torsadées présentée ci-dessous est conforme aux applications du protocole Ethernet 100 Mbps et 1 Gbps :**



Une définition optimale est indispensable pour éviter une qualité de solution trop élevée ; l'objectif final étant de définir le bon produit pour le bon besoin, auquel cas il est clairement très important de comprendre les bénéfices apportés par chaque solution.

	Type de construction	Modèle visuel	Avantages	Inconvénients
UTP	Paire torsadée standard			Pas de stabilité
	ACOME SIP (Steady Impedance Pair)		Géométrie stable même en l'absence de veste Solution la plus légère	Problème de connexion
J-UTP	Veste tubulaire + Paire torsadée standard		Solution plus légère par rapport à la gaine de pression	Perturbation potentielle du signal due au desserrage entre les fils même si ceux-ci sont coincés Ne convient pas à l'application scellée
	Veste de pression + Paire torsadée standard		Alternative à la gaine de pression	Pièce supplémentaire
	Veste isolante + Paire torsadée standard + Ruban		Géométrie/signal stable	Solution J-UTP la plus lourde
STP	Veste de pression + Tresse + Film + Paire torsadée standard		Solution pour utilisation haute fréquence Dimension la plus basse	Mode de conversion élevée
	Veste de pression + Tresse + Film + Matériau de pression + Paire torsadée standard		Définition stable Mode de conversion inférieur	Solution J-UTP la plus lourde

La définition du produit s'appuie sur plusieurs paramètres et ACOME a formulé un certain nombre de recommandations à partir des enseignements tirés de son expérience dans les secteurs des télécoms et de l'automobile, et des nouveaux enjeux de la transmission de données.

En ce qui concerne les conducteurs, il est recommandé d'utiliser du cuivre nu ou de l'alliage de cuivre lorsque cela est possible et faisable pour l'application concernée.

Comme indiqué précédemment, le cuivre étamé doit être pris en compte pour les études pour lesquelles des problèmes techniques particuliers s'appliquent. Pour ce qui est des dimensions, de la plus grande régularité de forme et de la nécessité de gérer des fréquences d'utilisation plus élevées, ACOME a défini les niveaux suivants :

- Conducteur toron comprimé
- Conducteur de toron semi-compacté (torons formés et assemblés)
- Conducteur solide (comme actuellement utilisé dans les applications télécoms actuelles)

En termes d'isolation, de matériaux supplémentaires ou de vestes, le paramètre le plus important est les propriétés diélectriques. Les caractéristiques diélectriques d'un matériau et son comportement dans différentes conditions sont les facteurs déterminants pour une bonne sélection.

Pour les applications automobiles actuelles, il est donc recommandé d'utiliser un matériau présentant de bonnes caractéristiques de stabilité, comme le PE ou le PP, dans la mesure du possible. Ces matériaux sont bien sûr limités à la plage de température standard allant jusqu'à 105 °/125 °C.

Dans d'autres conditions, il convient de tenir compte de l'utilisation de matériaux spéciaux compatibles avec toute exigence de fonctionnement à des températures plus élevées.

Une fois le conducteur et le matériau spécifiés, il est temps de considérer leur assemblage.

La première considération est le type de câble à produire, car comme nous l'avons vu, d'autres éléments intervenant entre et/ou autour des conducteurs peuvent affecter la qualité du signal. Cette combinaison peut générer une complexité supplémentaire, nécessitant l'utilisation de ressources spécialisées, telles que des outils CAO pour simuler les dimensions correctes des câbles et les effets de proximité.

Comme nous l'avons vu précédemment dans ce livre blanc, il est important de garder à l'esprit les effets produits par l'assemblage des fils en termes de concentricité, d'épaisseur et de souplesse, qui ont tous le potentiel d'affecter la stabilité du couple et le signal électrique transporté.

Enfin, le blindage doit être conçu de manière à ce que le câble délivre un niveau de performance suffisant, tout en évitant tout transfert de signaux parasites.

### **À propos d'ACOME...**

**Le Groupe ACOME est parfaitement conscient des enjeux et les connaît bien grâce à son très haut niveau d'implication dans l'industrie télécom à laquelle il fournit des solutions à paires torsadées depuis plus de 90 ans. Grâce à son expertise d'ingénierie de pointe et à son positionnement multi-métiers, ACOME a la capacité de proposer des solutions sur-mesure qui répondent et dépassent les attentes de ses clients.**

**N'hésitez pas à nous contacter pour toute question.**



52 rue du Montparnasse  
75014 Paris - France  
T. +33 1 42 79 14 00

[www.acome.com](http://www.acome.com)