

Franck Ernould

Câblage et connectique pour l'audiovisuel

Guide pratique

DUNOD

Photo de couverture : © Alexey Laputin – Fotolia.fr

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autori-

sation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2019

11 rue Paul-Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-076918-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

AVANT-PROPOS XI

REMERCIEMENTS ET HOMMAGES XIII

CHAPITRE 1 – CÂBLE ET ÉLECTRICITÉ

1.1.	À propos du signal électrique...	2
1.1.1.	Niveau	3
1.1.2.	Impédance	3
1.2.	Masse et terre	7
1.2.1.	La terre	7
1.2.2.	La masse	8
1.3.	Signal symétrique/asymétrique	8
1.3.1.	Signal asymétrique	9
1.3.2.	Signal symétrique	11
1.3.3.	Passage d'asymétrie en symétrique et inversement	13
1.4.	Comment circule un courant électrique ?	15
1.4.1.	Vitesse de l'électricité	15
1.4.2.	Vitesse de déplacement des charges	15
1.4.3.	L'effet de peau	16
1.5.	Le son des câbles	16
1.5.1.	Les opinions	16
1.5.2.	Quelques considérations concrètes	17
1.5.3.	Des enjeux très différents	18
1.5.4.	Une amélioration marginale	18

CHAPITRE 2 – ANATOMIE D'UN CÂBLE

2.1.	Brin, conducteur, câble, blindage, coaxial, cordon...	21
2.1.1.	Les brins	21
2.1.2.	Câble monobrin/multibrin	22
2.1.3.	Câble blindé	23
2.2.	Les constituants d'un câble	27
2.2.1.	Le(s) conducteur(s)	27
2.2.2.	L'isolant	27
2.2.3.	La bourre	28
2.2.4.	Le fil de drain	29
2.2.5.	La gaine	30
2.3.	Les paramètres techniques d'un câble	31
2.3.1.	Paramètres physiques	32
2.3.2.	Paramètres mécaniques	33
2.3.3.	Paramètres électriques	35
2.4.	Les différents types de câbles	38
2.4.1.	Câble secteur	38
2.4.2.	Câble haut-parleur	39
2.4.3.	Câble coaxial audio	43
2.4.4.	Câble coaxial vidéo	46
2.4.5.	Câble triaxial	50
2.4.6.	Câble réseau	50
2.4.7.	Câbles multipaires	54
2.4.8.	Câbles combinés	54
2.5.	Les différentes sortes de cuivre « sans oxygène »	55
2.5.1.	OFC (<i>oxygen-free copper</i>)	55
2.5.2.	OFHC™ (<i>oxygen-free high-thermal conductivity</i>)	56
2.5.3.	OCC (<i>ohno continuous casting</i>)	56
2.5.4.	LGC (<i>long grain copper</i>)	56
2.5.5.	CCA (<i>copper clad aluminium</i>)	56
2.6.	Qu'est-ce qu'un câble de qualité ?	57
2.7.	Câble ou cordon ?	58

— CHAPITRE 3 – LES CONNECTEURS AUDIO (ANALOGIQUES ET NUMÉRIQUES) —

3.1.	Quelques généralités sur les connecteurs	59
3.1.1.	Fiches, prises, embases...	59
3.1.2.	Les matériaux	60
3.1.3.	Étanchéité	60
3.1.4.	Quelques marques	61
3.2.	XLR	62
3.2.1.	XLR 3 points	63
3.2.2.	XLR 4 points	64
3.2.3.	XLR 5 points	64
3.2.4.	XLR 6 points	64
3.2.5.	XLR 7 points	65
3.2.6.	XLR 8 + 2 points (Neutrik Data Power)	65
3.2.7.	Variante XLD	66
3.2.8.	Mini-XLR (Tini-QG, TQG, TA3/4/5/6)	66
3.2.9.	XLR C (Combo)	67
3.3.	Jack	67
3.3.1.	Jack 6,35 mm	67
3.3.2.	Jack 3,5 mm	69
3.3.3.	Mini-mini-jack 2,5 mm (sub-mini)	71
3.3.4.	Bantam (TT)	72
3.3.5.	Pentaconn	73
3.4.	RCA/cinch/Phono	74
3.4.1.	Utilisation en analogique	75
3.4.2.	Utilisation en numérique	76
3.5.	Euroblock/Phoenix	79
3.6.	SpeakON	80
3.6.1.	SpeakON 2 points	81
3.6.2.	SpeakON 4 points	81
3.6.3.	SpeakON 8 points	82
3.6.4.	PowerCON	82
3.7.	Fiches banane, cosses et borniers	82
3.7.1.	Les fiches banane	82
3.7.2.	Les cosses	83
3.7.3.	Les borniers à pince/ressort	83
3.7.4.	Les borniers à vis	84
3.7.5.	Les barrettes à visser	84

3.8.	Les connecteurs DIN	85
3.8.1.	DIN 3 points	86
3.8.2.	DIN 5 points	87
3.8.3.	DIN 8 points	87
3.8.4.	DIN variante HP	88
3.9.	Les connecteurs multipoints	88
3.9.1.	Harting	88
3.9.2.	Socapex	89
3.9.3.	Autres connecteurs multipoints	89
3.10.	Quelques modèles confidentiels	90
3.10.1.	LEMO	90
3.10.2.	Hirose	91
3.10.3.	MicroDot	91
3.11.	Les placages or ou argent	91

CHAPITRE 4 – AUTRES CONNECTEURS

4.1.	BNC et mini-BNC	93
4.1.1.	Vidéo	94
4.1.2.	Audionumérique	95
4.1.3.	Audio analogique	96
4.1.4.	Lampes d'éclairage console	96
4.2.	Mini-DIN et assimilés	97
4.2.1.	Ushiden	97
4.2.2.	ADB (<i>Apple desktop bus</i>)	98
4.2.3.	PS/2	99
4.3.	RCA/cinch	100
4.4.	HDMI, Mini HDMI, Micro HDMI	100
4.5.	Les connecteurs USB	103
4.5.1.	Connecteur USB Types A et B	104
4.5.2.	Connecteurs USB Type A et B 3.0	105
4.5.3.	Connecteur Mini USB («Mini-A et Mini-B»)	106
4.5.4.	Connecteur Micro USB («Micro-B»)	106
4.5.5.	USB Type-C	107
4.5.6.	Comparaison Micro USB/Lightning/USB Type-C	108
4.5.7.	Les câbles USB	109
4.5.8.	Les ferrites	110

4.6.	Thunderbolt	111
4.7.	Lightning	113
4.8.	DisplayPort, mini DisplayPort (mDP)	114
4.9.	« Dock » 30 points	116
4.10.	FireWire (IEEE1394), iLink	118
4.11.	Sub-D (ou D-Sub) 25 points	119
4.12.	RJ45 et autres	120
4.13.	DIN	121
4.13.1.	En informatique	121
4.13.2.	En éclairage	121
4.13.3.	Le MIDI	122

CHAPITRE 5 – L'APPROCHE RÉSEAU (AUDIO)

5.1.	L'approche réseau en audio	125
5.1.1.	Du point à point au réseau	125
5.1.2.	Les avantages du réseau audio	127
5.1.3.	Les inconvénients du réseau audio	127
5.2.	Les réseaux audio sur Ethernet (AoE)	128
5.2.1.	CobraNet	128
5.2.2.	L'EtherSound	128
5.2.3.	Le Dante	129
5.2.4.	Le Ravenna, le Livewire et le Q-LAN	130
5.2.5.	L'AVB/TSN (audio video bridging/time sensitive networking)	131
5.2.6.	L'AES67	132
5.3.	Autres formats de réseaux audio non Ethernet	132
5.3.1.	AES50	133
5.3.2.	REAC (Roland Ethernet audio communication)	133
5.3.3.	MegaCOMMS (Cadac)	134
5.3.4.	RockNet (Riedel)	134
5.3.5.	A-Net32 ou 64 (Aviom)	134
5.3.6.	NEXUS (Stage Tec)	135
5.3.7.	YDIF (Yamaha digital interface).	135
5.4.	Les réseaux « multimédia » fermés	135
5.4.1.	MediorNet	136
5.4.2.	Optocore	136

CHAPITRE 6 – LA FIBRE OPTIQUE

6.1.	Transport par fibre optique	137
6.2.	Avantages et inconvénients de la fibre optique	139
6.2.1.	Les avantages de la fibre optique	139
6.2.2.	Les inconvénients de la fibre optique	139
6.3.	Fibre multimode/monomode	139
6.3.1.	Fibre multimode	139
6.3.2.	Fibre monomode	140
6.3.3.	Les connecteurs « fibre »	140
6.4.	Quelques exemples d'application	145
6.4.1.	Liaison optique S/PDIF ou ADAT	145
6.4.2.	Liaison point par point ou réseau avec console de mixage numérique	146
6.4.3.	Convertisseurs fibre	147
6.4.4.	Adaptateurs fibre	147
6.4.5.	Jarretière optique, <i>pigtail</i> (brassage)	148

CHAPITRE 7 – ET LE SANS-FIL ?

7.1.	La HF analogique	150
7.2.	La HF numérique	152
7.3.	Le protocole Neutrik DIWA	154
7.4.	Le Bluetooth	154
7.5.	Le Wi-Fi (ou wifi)	158
7.6.	L'infrarouge	162
7.7.	Le CPL	162
7.8.	Le Li-Fi	164

CHAPITRE 8 – LES ACCESSOIRES

8.1.	Adaptateurs mécaniques	165
8.2.	Câble sur enrouleur	167
8.3.	Les patches	168
8.4.	Adaptateurs électriques	168
8.5.	Extendeurs	170

8.6. Accessoires divers	171
8.6.1. Contrôleurs, testeurs...	171
8.6.2. Outils divers	171
8.6.3. Passages de câbles et gaines diverses	172
8.6.4. Nettoyants, désoxydants	174
8.6.5. La soudure	174

ANNEXE 1 – LE CUIVRE ET SON MARCHÉ MONDIAL

A1.1. Le cuivre et l'homme	177
A1.2. L'économie du cuivre : les producteurs, les cours...	179
A1.3. La fabrication du cuivre	180
A1.4. L'évolution	181

ANNEXE 2 – LA FABRICATION D'UN CÂBLE

A2.1. En amont : le tréfilage	183
A2.2. Fabrication du conducteur	184
A2.3. Ajout des diélectriques	184
A2.4. Cahier des charges des différents câbles	185
A2.5. Quelques vidéos sur les câbles	186

ANNEXE 3 – BOUCLES DE MASSE, PARASITES, PROBLÈMES DIVERS

A3.1. Les « boucles de masse »	189
A3.2. Les parasites	191
A3.3. La compatibilité électromagnétique (CEM)	194
A3.4. Quelques solutions de filtrage de bruits sur signaux audio	195
A3.5. En résumé...	197

INDEX	199
-------	-----

Avant-propos

Les câbles sont partout dans notre vie. Ils nous apportent à domicile l'électricité, donc l'énergie, les télécommunications ; ils transportent des signaux audio, vidéo, informatiques, de contrôle ; ils quadrillent nos routes, permettent aux chemins de fer et aux métros de rouler ; bref, ils constituent à la fois la colonne vertébrale et le système nerveux de nos sociétés modernes. C'est sans doute par milliards de kilomètres qu'ils sont posés dans le monde entier.

Il existe des connecteurs standardisés pour tous les usages : industrie automobile, applications médicales, machines-outils, aéronautique, machines de mesure, industrie ferroviaire... Dans cet ouvrage, nous avons limité notre propos aux câbles et aux connecteurs utilisés en audio professionnel et grand public, et, par extension, en vidéo et en informatique grand public, tous ces domaines ayant convergé ces dernières années vers des solutions techniques similaires. Les liaisons point à point sont majoritaires, mais on voit de plus en plus apparaître une approche « réseau », que ce soit dans le monde professionnel ou l'univers grand public – avec un développement remarquable des solutions « sans fil », passées au numérique et de qualité de plus en plus professionnelle.

Impossible de constituer un home studio, une chaîne hi-fi, une installation de Home Cinéma sans plusieurs mètres de câbles de différents types : signal audio, signal vidéo, secteur, haut-parleur. En numérique ou en analogique, en électrique ou en optique, voire sans fil, blindé ou non, plaqué or ou non...

Un univers mystérieux, où des embases jack peuvent être à la fois électrique et optique, où un même connecteur peut correspondre à une entrée ou à une sortie, des cordons peuvent se terminer par des connecteurs différents, compter deux ou trois fils... et plein de pièges, pertes de niveau, ronflettes, souffle, parasites divers...

Le secteur du câblage et de la connectique industriels est énorme au niveau mondial. L'audio ne pèse que très peu dans ces milliards de dollars par an, et possède ses propres particularités. Pourtant, il est extrêmement difficile de trouver des informations sur le sujet. Une requête sur votre moteur de recherche

favori vous mènera vers des sites de courants forts, de connecteurs pour l'automobile, d'armoires d'alimentation secteur... et si vous trouvez des marques proposant des câbles pour l'audio, les sites ne proposent que très peu de matériel didactique.

Nous avons donc décidé de rassembler plus de 200 pages d'informations, photos, schémas, astuces... sur le câblage et la connectique, essentiellement dans le secteur audio pro et semi-pro. Inévitablement, nous avons été amenés à faire des incursions dans la vidéo, dans l'informatique et le réseau, et même dans les liaisons HF, y compris le Bluetooth et le Wi-Fi! C'est le prix de l'exhaustivité: aujourd'hui, toutes ces solutions sont disponibles, et même si on élimine un câble via une liaison HF, il faut toujours une prise BNC pour l'antenne et des câbles de sortie du récepteur d'un micro HF!

De même, pour bien saisir les enjeux, il faut comprendre ce qu'est une liaison symétrique ou asymétrique, les problèmes de masse, un boîtier de direct, un patch audio ou vidéo, etc. Ces notions sont également développées, de façon abordable. Enfin, nous avons sélectionné une série d'accessoires toujours pratiques.

Remerciements et hommages

25 ans après, cet ouvrage est l'occasion pour moi de compléter et d'approfondir le hors-série *Câblage et Connectique* du magazine Keyboards/Home Studio, paru en septembre 1994. Mes remerciements à Christian Braut, son rédacteur en chef, pour sa confiance, et à Richard Garrido, alors directeur général et directeur du marketing du distributeur SCV Audio, pour tout ce qu'il m'avait appris sur les câbles et les connecteurs, tant d'un point de vue théorique que pratique.

En ce qui concerne l'ouvrage tout à fait contemporain que vous tenez entre les mains, merci à Hugues Coffy et Maïté Champion (S2CEB, Groupe CAE), à Garry Baumeister (Cordial), à Claude Blanc (Klotz Câbles France), à Bruno Schramm (Sommer Cable), à François Glaser et Nicolas Durand (Neutrik France). Merci aussi à Jean-Baptiste Gugès (Dunod) de m'avoir fait confiance pour traiter un sujet peu exploré et à Eléna Chryssos (Dunod) pour avoir tiré le meilleur des éléments parfois disparates que je lui fournissais.

Ce livre est dédié à mon collègue journaliste et ami Étienne Lémery (1942-2017).

Chapitre 1

Câble et électricité

Un câble est, selon la définition du dictionnaire Larousse, un « ensemble de fils conducteurs isolés les uns des autres et enfermés dans une gaine commune qui les protège électriquement et mécaniquement ». Le mot est lâché : électricité !

Un courant électrique est un flux de porteurs de charges électriques, généralement des électrons, circulant au sein d'un matériau conducteur sous l'effet d'une différence de potentiel établie aux extrémités de ce conducteur. Ce déplacement est imposé par l'action de la force électromagnétique, dont l'interaction avec la matière est le fondement de l'électricité. Rappelons qu'en courant continu, les électrons circulent conventionnellement du pôle + vers le pôle -.

On peut prendre une analogie avec un courant d'eau circulant dans des tuyaux. Le générateur électrique s'apparente alors à une pompe, qui fait circuler sous pression l'eau ; la tension, ou différence de potentiel est alors la différence de pression entre deux points du circuit d'eau. Quant à l'intensité, il s'agit du débit de l'eau dans le tuyau. La résistance équivaldrait alors à l'inverse du diamètre des tuyaux : plus le tuyau est petit, plus l'eau a du mal à y passer, et plus il faut appliquer de pression (tension) pour obtenir un même débit (intensité).

Pour situer l'apparition de l'électricité, il faut remonter aux expériences d'Alessandro Volta, l'inventeur de la pile électrique en 1799. Il doit utiliser des câbles conducteurs pour transporter l'électricité produite dans son laboratoire. La première application à grande échelle de l'électricité est le câble télégraphique, vers 1850, transportant au maximum quelques dizaines de volts. Le cuivre des conducteurs est isolé par des fibres de jute, surmontées d'une gaine de plomb pour l'étanchéité.

L'électrification urbaine commence à la fin du XIX^e siècle. Elle s'appuie sur le développement de câbles à haute tension, utilisant un isolant en papier imprégné d'huile. La première ligne haute tension (25 000 V, 40 Hz, sur 175 km) est

construite en Allemagne en 1891. Le polyéthylène est mis au point en 1938, remplaçant le caoutchouc dans les applications électriques. Les câbles sous-marins arrivent ensuite, répondant à des contraintes spécifiques.

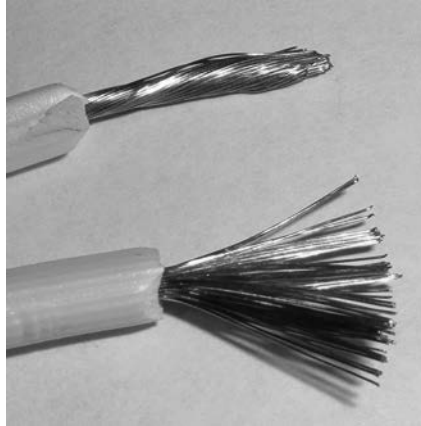


Figure 1.1 – Gros plan d'un câble secteur.
Le câble HP et le câble secteur sont d'une structure très proche.

Les premiers câbles « grand public » sont donc les câbles secteur. Le câble haut-parleur en est très proche, sauf que le transport d'un son concerne des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz, alors que la tension secteur est d'une fréquence pure : 50 Hz. Ensuite sont venus les câbles de modulation, transportant des signaux audio ou de contrôle. Mais au fait, un signal électrique, qu'est-ce que c'est ?

1.1. À propos du signal électrique...

Un signal électrique est une grandeur électrique (intensité, tension...) dont la variation dans le temps transporte une information, d'une source à une destination. Il peut s'agir d'une modulation d'amplitude, de phase, de fréquence ou de phase, notamment pour véhiculer des signaux numériques.

En audio analogique, on distingue le niveau micro, le niveau ligne et le niveau haut-parleur. Ils diffèrent par leur tension « de référence » et leur impédance de sortie.

En audio numérique, il s'agit essentiellement de coder des 0 et des 1 : la valeur de tension du signal transporté n'est pas critique en elle-même, c'est la présence ou l'absence de signal qui est importante.

1.1.1. Niveau

Le niveau d'un signal électrique audio est évidemment lié à la source de signal. Un micro à ruban, par exemple, possède une tension de sortie de l'ordre du millivolt ; un microphone dynamique à bobines mobiles, de quelques millivolts ; un micro statique, de quelques dizaines de millivolts, et un appareil au niveau ligne (baladeur, lecteur de CD...) de quelques centaines de millivolts. Le niveau de travail audio s'exprime souvent en dBu ou dBV, une échelle logarithmique

En vidéo, le niveau d'un signal noir et blanc varie globalement entre 0,3 et 1 V, les trames étant délimitées par des tops de synchronisation de 0,3 V montants ou descendants. En audionumérique, la tension transportée est généralement du même ordre de grandeur, mais peut parfois aller jusqu'à plusieurs volts.

1.1.2. Impédance

Le terme impédance est la déclinaison, pour des signaux alternatifs, du terme résistance en courant continu. Elle comporte une partie réelle (résistance) et une partie imaginaire (réactance).

◆ Impédance de sortie

L'impédance de sortie, qui se mesure en Ω , indique la faculté d'un appareil audio, à tension donnée, à fournir du courant (intensité). Par exemple, les micros d'une guitare électrique, compacts, aux bobinages de taille réduite, possèdent une impédance de sortie très élevée : quelques centaines de $k\Omega$. Un microphone dynamique, à ruban ou à bobine mobile, possède une impédance de sortie plus faible : quelques centaines d'ohms. L'impédance de sortie d'un appareil de studio est couramment de plusieurs dizaines de $k\Omega$.

On peut prendre une analogie avec un robinet d'eau : son débit sera faible si le tuyau qui lui est connecté est étroit ou bouché (impédance d'entrée élevée), puis plus fort si le tuyau est dégagé et de diamètre élevé (impédance d'entrée faible), jusqu'à un maximum déterminé par ce qui se passe avant le robinet, sur le réseau d'adduction.