

## Câblage et connectique

En sonorisation, en éclairage rien ne peut fonctionner correctement sans un câblage adéquat. Ce qui veut dire que chaque câble devra être adapté à l'utilisation que l'on veut en faire. Pourtant, on pourrait se dire que ce ne n'est jamais qu'un bout de métal par lequel passe un signal électrique. Malheureusement, ce n'est pas si simple...

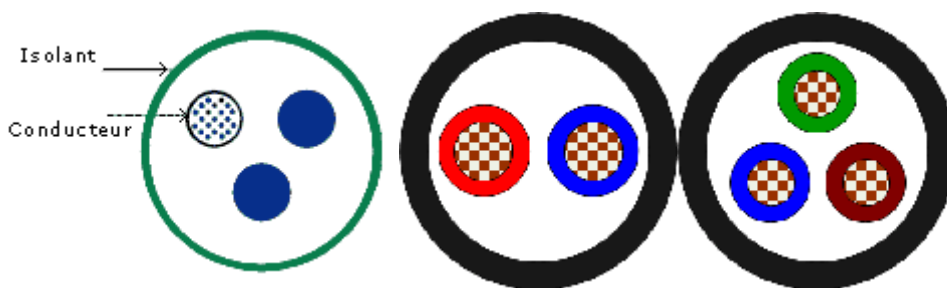
Ce dossier a pour but d'illustrer les principales caractéristiques d'un câble, sans pour autant entrer dans d'incompréhensibles démonstrations et formules mathématiques.

Certains électriciens ou électroniciens trouveront donc ce dossier incomplet ou trop simplifié. Mais mon but n'est pas de remplacer des ouvrages spécialisés mais bien de faire simple...

### 1. En règle générale...

Un câble est composé de un ou plusieurs conducteurs. Chacun de ces conducteurs est entouré par un isolant. Ces mêmes conducteurs sont également composés de un ou plusieurs brins métalliques.

Il arrive également qu'une tresse métallique (ou un feuillard d'aluminium) entoure les différents conducteurs, permettant une protection du signal utile par rapport aux interférences. On parlera alors de câble blindé.



Ces conducteurs ont leurs propres caractéristiques et peuvent être soumis à différents effets. Tout ceci est décrit ci-dessous.

#### 1.1 L'effet résistif

Chaque conducteur possède une certaine résistance. Celle-ci dépend de plusieurs paramètres :

- Influence de la nature du conducteur

En fonction du métal ou de l'alliage utilisé pour les conducteurs, la résistance de ceux-ci variera.

En effet, certains matériaux possèdent plus d'électrons libres par unité de volume que d'autres. Et plus ce nombre est élevé, plus le matériau est bon conducteur. Il offre donc moins de résistance au passage du courant.

Ou tout simplement, plus il y a de charges porteuses dans un conducteur, moindre est la charge de chacun par rapport à l'énergie totale.

Ce qui a pour conséquence que la quantité d'énergie convertie en chaleur à cause des collisions avec les atomes métalliques est réduite.

Un conducteur d'argent est par exemple moins résistant qu'un conducteur de cuivre de même section.

Par rapport à la nature d'un conducteur, on va alors parler de résistivité du conducteur, ce qui correspond à la résistance d'un conducteur ayant une longueur de 1 mètre et une section de 1 mètre carré.

Ce phénomène est expliqué par le nom de la loi de Pouillet :

La loi de Pouillet nous donne la relation suivante :

La résistance d'un conducteur est directement proportionnelle à sa résistivité ( $\rho$ ) et à sa longueur (L) ; elle est inversement proportionnelle à la section (S) de ce conducteur.

$$R = \rho \times L / S$$

Avec R la résistance électrique du conducteur en ohm

$\rho$  résistivité de la matière en  $\text{mm}^2/\text{m}$

L longueur du conducteur en m

S section du conducteur en  $\text{mm}^2$

Pour rappel, la section d'un câble suivant son diamètre se calcule comme suit :

$$S = \pi \times d^2 / 4 \text{ ou suivant son rayon : } S = \pi \times r^2$$

Quelques exemples de valeurs en  $\text{mm}^2/\text{m}$  à 20°C:

Cuivre 0.017

Argent 0.016

Alu 0.028

Fer 0.1

#### - Influence de la température

Dans la plupart des cas théoriques, on considère que la température reste constante à 20°C. Or, c'est rarement le cas.

En effet, on remarque que la résistance d'un conducteur va augmenter avec la température. Il existe cependant certains matériaux dont la résistance diminue avec la température (Supraconducteurs) ; ceux-ci ne nous intéressent pas dans ce dossier.

Cette relation est expliquée par la loi de Mathiessen et s'exprime par la formule suivante :

$$R_t = R (1 + \alpha t)$$

$R_t$  est la valeur de la résistance à la température t

R est la valeur de la résistance à la température de 0°C

$\alpha$  est le coefficient de température du conducteur

t est l'écart de température en degrés centigrades

Quelques valeurs de  $\alpha$  :

- Cuivre, aluminium 0.004

- Tungstène 0.0065

- Argent 0.00377

- Bronze 0.0005

Cette loi de Mathiessen va également s'appliquer à la résistivité du matériau. En effet, celle-ci va également augmenter avec la température.

### **L'effet joule**

Tout conducteur parcouru par un courant s'échauffe. C'est ce qu'on appelle l'effet joule.

Ce dégagement de chaleur est directement proportionnel :

- au temps de passage du courant dans le conducteur
- au carré de l'intensité du courant
- à la valeur de la résistance

Ceci s'exprime par la formule suivante :

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t$$

Q en joule  
R en ohm  
I en ampère  
t en seconde

Cet effet se traduit pratiquement par une élévation de la température d'un conducteur si il est traversé par un courant trop intense. L'isolant peut alors être détérioré ou pire, complètement brûlé.

Un mauvais contact peut aussi provoquer une élévation de la température. Cet échauffement peut se révéler dangereux pour les prises, les soquets, les fiches,...

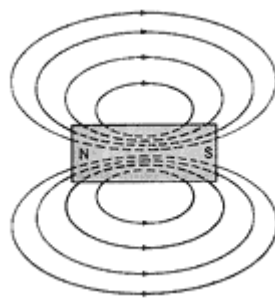
*Remarque :*

Lorsqu'on parle de résistance d'un câble, il ne faut pas oublier de tenir compte de la résistance opposée au passage du courant par les deux conducteurs ! C'est-à-dire du conducteur servant à « l'aller » du signal et du conducteur servant au « retour » du signal.

## 1.2 L'effet magnétique

On sait qu'un conducteur parcouru par un courant va créer un champ d'induction magnétique. La valeur de ce champ magnétique sera proportionnelle à l'intensité du courant.

Il n'y aura donc pas de champ magnétique lorsqu'il n'y a pas de circulation de courant.



Lorsque deux conducteurs sont côte à côte, chacun va créer un champ magnétique qui va influencer l'autre conducteur.

Un exemple simple de cet effet est le ronflement provoqué par la proximité d'un câble 220 volts à un câble micro. Dans ce cas, la fréquence de 50 Hz du câble électrique va se propager via le champ magnétique vers le câble micro. Cette fréquence va se répercuter sur le signal audio.

La solution la plus simple pour éviter ce phénomène est tout simplement d'écarter les plus possible les deux câbles.

Une autre solution serait de croiser les câbles à 90° afin de minimiser l'effet magnétique.

### 1.3 L'effet capacitif

Un condensateur est composé de deux armatures ou de deux surfaces conductrices placées l'une en face de l'autre et séparées par un isolant. La qualité de l'isolant, la distance entre les armatures et la surface des armatures vont déterminer la capacité du condensateur.

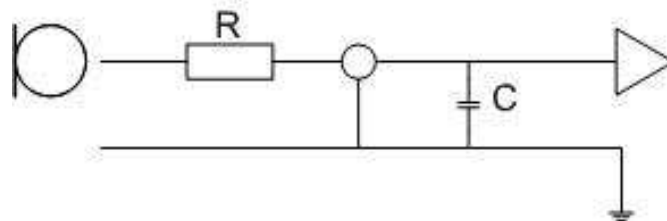
Un câble correspond parfaitement à cette caractéristique puisque deux conducteurs placés à proximité l'un de l'autre constituent un condensateur. Condensateur dont la capacité est proportionnelle à la surface et inversement proportionnelle à la distance qui les sépare.

Dans le cas d'une liaison audio, la capacité du câble va se combiner à l'impédance de charge de l'appareil auquel il est relié. Cette association d'une résistance et d'un condensateur correspond à un filtre passe- bas :

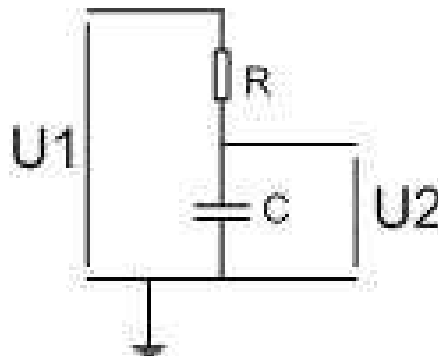
Dans un câble coaxial, le blindage entoure complètement le ou les conducteurs internes. La surface est donc importante. Ce qui a pour conséquence que la capacité d'un tel câble est relativement plus élevée que pour un câble d'alimentation électrique. Ceci entraîne une conduction d'une partie du signal audio transitant via le conducteur central vers le blindage, vers la masse.

Pour rappel, un condensateur présente une impédance inversement proportionnelle à la fréquence du signal. Il ne permet donc pas le passage du courant continu mais bien du courant alternatif.

Lorsqu'un micro d'impédance de sortie de 200 ohms est relié au préamplificateur d'une console via un câble, on peut le schématiser comme suit :



Le schéma électrique équivalent est celui-ci :



Ceci illustre parfaitement qu'il s'agit bien d'un filtre passe- bas, correspondant exactement aux filtres passifs du premier ordre (atténuation de 6 dB/ octave) utilisés dans les enceintes acoustiques.

La formule nous permettant de calculer la valeur du condensateur nécessaire à ce type de filtre est la suivante :

$$C (F) = 159000 / Z ( ) \times f (Hz)$$

Avec C la capacité du condensateur en microfarad.

Z l'impédance en ohms

F la fréquence en Hertz

Cette formule va également nous permettre de connaître à quelle fréquence le signal subira une atténuation de 6 dB :

$$f = 159000 / Z \times C$$

Exemple : Reprenons notre micro dont l'impédance de sortie est de 200 ohms. Le câble que nous utilisons possède une capacité de 150 pF/mètre.

Dans notre cas, nous utiliserons la formule suivante :

$$f = 159\,000 / Z \times C$$

$$\text{Soit } f = 53\,000 \text{ Hz.}$$

La fréquence de 53 000 Hz est donc la fréquence à laquelle le signal subira une atténuation de 6 dB.

La capacité du câble est donc un paramètre important dans le cas de circuits à hautes impédances principalement, tel le raccordement entre les guitares électriques et les amplis par exemple. Cette capacité dépend, dans un câble coaxial, de la distance séparant le conducteur interne et le blindage et plus la liaison est longue, plus elle est importante. Il est donc préférable que la capacité du câble soit la plus petite possible, et d'utiliser des liaisons relativement courtes pour les circuits à haute impédance.

Ce lien vous permettra de calculer la réponse en fréquence de vos câbles audio: <http://www.mogami.com/e/cad/mic-cable.html>

#### 1.4 L'effet inductif

En courant alternatif, l'inductance d'un circuit électrique est la propriété qui tend à s'opposer à toute variation de courant qui le parcourt. Dans un conducteur rectiligne tel que les câbles, l'inductance est faible et on peut la négliger. C'est seulement dans le cas de fréquences élevées qu'il y a lieu d'en tenir compte.

#### 2. Fiches techniques

Suivant le type de câble, son utilisation,... un tas d'indications seront notées sur leur fiche technique. On trouvera par exemple :

- Son diamètre extérieur en mm

Cette information peut être utile à regarder... Histoire de s'assurer que le câble passe bien dans la fiche, le connecteur,...

- Le nombre de conducteur

Chaque câble est composé de un ou plusieurs conducteurs. Le blindage d'un câble micro par exemple n'est pas considéré comme un conducteur en tant que tel. On parle alors de x conducteurs + masse.

- La section de chaque conducteur en mm<sup>2</sup>

La section de chaque conducteur est donnée en mm<sup>2</sup>.

- Le nombre de brins par conducteur

Chaque conducteur peut être composé de un ou plusieurs brins de cuivre le plus souvent. En règle générale, plus ce nombre est élevé, plus les brins qui composent un conducteur sont fins et plus le câble sera souple.

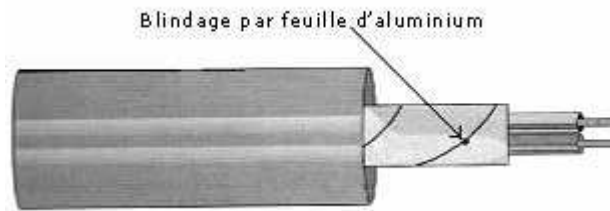
L'effet de peau est également un critère qui influencera le nombre de brins métalliques. Nous en reparlerons dans le paragraphe des câbles haut-parleurs.

#### - Blindage

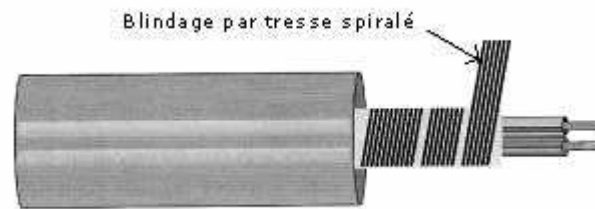
L'efficacité d'un blindage va dépendre du taux de recouvrement de celui-ci par rapport aux conducteurs internes. En effet, plus les longueurs d'onde des interférences potentielles sont courtes, plus elles peuvent pénétrer par des ouvertures de petites dimensions.

Lorsqu'un câble est blindé, il peut l'être de plusieurs façons :

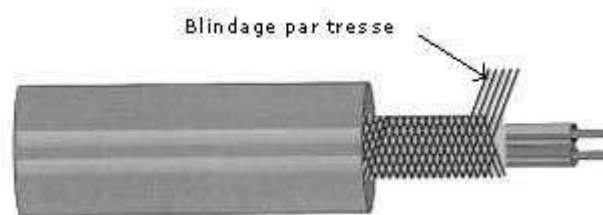
**Le blindage par un feuillard d'aluminium :** Ce type de blindage est principalement destiné aux câbles pour les installations fixes. Il permet d'assurer un recouvrement de 100 % et donc d'assurer une protection maximale aux basses fréquences.



**Le blindage par une tresse spiralee :** Les câbles audio peuvent être blindés par une torsade de cuivre. L'avantage est d'avoir une grande souplesse mais une moins bonne résistance mécanique que pour un blindage par tresse classique. La qualité du blindage dépend du coefficient de recouvrement, généralement indiqué sur la fiche technique.



**Le blindage par tresse :** Il s'agit d'une tresse de cuivre. La qualité de ce type de blindage est également liée au coefficient de recouvrement.



#### - Température d'utilisation

Ca peut paraître bête mais mieux vaut savoir que son câble est prévu ou pas pour de hautes températures ; pour l'alimentation du soquet d'une ampoule halogène par exemple.

#### - Son poids au mètre

Peut être aussi inattendu que pour la température d'utilisation mais un câble de 5 x 16 mm<sup>2</sup> de 50 mètres, ça pèse...

#### - Capacité métrique de conducteur à conducteur

Exprimée en Pico Farad.

- Capacité métrique de conducteur à un écran

Egalement exprimée en Pico Farad.

- Résistance kilométrique

Résistance du câble pour une longueur de 1 Km, exprimée en ohm.

- Impédance caractéristique

L'impédance caractéristique est l'impédance qu'aurait un câble de longueur infinie. Cette notion n'intervient qu'en haute fréquence. Les valeurs les plus courantes sont de 50 ohms, 75 ohms (en vidéo) et de 110 ohms (en signal numérique). Il y a éventuellement d'autres caractéristiques qui peuvent apparaître selon le type de câble. Et toujours suivant le type de câble, certains paramètres peuvent très bien ne pas être mentionnés.

### 3. Les câbles, différents modèles

Il y a autant de câbles différents que d'utilisations possibles... Cependant, on peut généraliser en quatre grandes catégories :

- Le câble « classique »

C'est le style de câble qu'on utilise pour les allonges électriques 220 volts ou pour les câbles haut-parleur. Il est composé de un ou plusieurs conducteurs entourés par une gaine isolante.

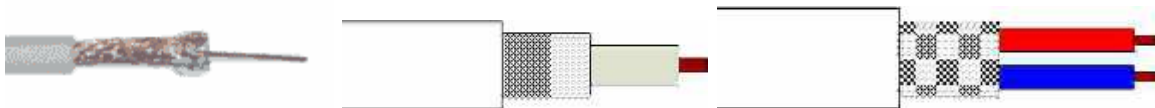


Câbles 220V et câble haut-parleur

Suivant les marques et le modèle de câble, les conducteurs seront soit numérotés soit repérés par des couleurs différentes.

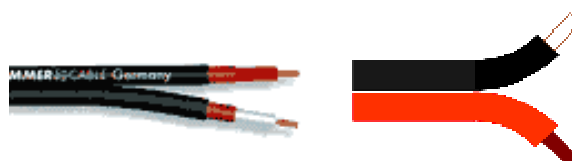
- Le câble blindé, coaxial

Un câble coaxial est un câble dont le ou les conducteurs sont entourés par un blindage. Il s'agit par exemple du câble utilisé pour les micros, le signal audio en général,... ou pour la vidéo par exemple.



- Le « côte à côte »

Il est composé de deux câbles mis « côte à côte ». Chacun des câbles peut contenir un ou plusieurs conducteurs.



#### - Câble multi – usages

Il existe également de nombreux câbles permettant de transporter dans une même gaine isolante plusieurs signaux de nature différente. Le son et une alimentation électrique, le son et de la vidéo,...

#### 4. Câble par câble

Puisqu'il n'existe pas de câble universel, nous allons étudier chaque type de câble séparément.

##### 4.1 Le câble électrique

Ce type de câble sert à l'alimentation électrique de tous nos appareils. Ici, le critère le plus important est la section des différents conducteurs.

Nous avons vu en effet qu'un conducteur parcouru par un courant trop important va s'échauffer par effet joule. Il est donc important d'adapter la section des câbles en fonction de la longueur et de l'intensité qui doit circuler via ceux-ci.

| <i>Section en mm<sup>2</sup></i> | <i>Intensité maximale</i> |
|----------------------------------|---------------------------|
| 1,5                              | 10 A                      |
| 2,5                              | 16 A                      |
| 4                                | 25 A                      |
| 6                                | 32 A                      |
| 10                               | 40 A                      |
| 16                               | 63 A                      |

Remarque : Dans le monde de la sonorisation, il est courant d'utiliser des multi- câbles (12 conducteurs, 18 conducteurs, 24 conducteurs,...) pour se simplifier la vie. Dans ce cas, on dispose de plusieurs circuits tout en installant un seul gros câble. L'inconvénient est que l'échauffement du câble en général est plus important que pour un simple câble composé de deux conducteurs... Il est donc prudent de s'accorder une marge de sécurité par rapport à l'intensité maximale qui passera par le câble. Prenons le cas d'un câble de 18 x 2.5 mm<sup>2</sup>. En 230 volts, la puissance maximale est de 3680 watts. Si au lieu des 3680 watts, on se base sur un maximum de 2000 watts par circuit, on s'autorise une grande marge de sécurité.

##### 4.2 Le câble haut- parleur

Le rôle principal du câble haut- parleur est de permettre la meilleure liaison possible entre l'amplificateur et les enceintes de façon à ce qu'un minimum d'énergie soit dissipée. Pour ce faire, la résistance des conducteurs doit être la plus faible possible, en regard de l'impédance de l'enceinte.

Un simple exemple pour comprendre :

Un amplificateur peut fournir une puissance de 200 watts sous 4 ohms, ou 100 watts sous 8 ohms. Si on relie une enceinte de 4 ohms à cet ampli à l'aide d'un câble dont la résistance est également de 4 ohms, l'amplificateur verra une charge équivalente de 8 ohms. Celui-ci ne délivrera donc que 100 watts, puissance dissipée à moitié par le câble et à moitié par l'enceinte... Cette enceinte ne recevra donc finalement que 50 watts...

Heureusement, la valeur résistive réelle des câbles est nettement inférieure mais cet exemple montre bien la nécessité d'utiliser des câbles de forte section et de longueur aussi courte que possible.

### **Facteur d'amortissement :**

La résistance des câbles aura également une incidence sur le facteur d'amortissement. Ce facteur d'amortissement est défini comme étant le rapport entre l'impédance du haut-parleur et l'impédance de sortie de l'amplificateur.

Cette indication chiffrée nous renseigne sur la manière que l'amplificateur a de contrôler les mouvements de la membrane d'un haut- parleur.

Un haut- parleur qui revient à sa position d'équilibre se comporte en effet comme un générateur de courant et non plus comme un récepteur. Ce phénomène sera donc beaucoup plus conséquent pour les basses fréquences que pour les hauts- parleurs de médium et d'aigu.

Un facteur d'amortissement de 100 pour une charge de 8 ohms signifie que l'impédance de sortie de l'amplificateur est égale à  $8/100$  soit 0.08 ohms.

Plus ce facteur sera élevé et plus la liaison amplificateur/ enceinte sera meilleure, l'amplificateur sera en mesure de « consommer » le courant produit par le haut- parleur. Une valeur de 200 étant convenable, l'idéal serait bien sûr une valeur nettement supérieure.

Lors du calcul du facteur d'amortissement, la résistance du câble doit être ajoutée à l'impédance de sortie de l'amplificateur. Ce qui fait que plus cette valeur est grande, plus le facteur d'amortissement sera moindre.

Ceci illustre encore qu'il est préférable d'utiliser des câbles de forte section et de longueur aussi courte que possible...

Quelle section de câble utiliser ?

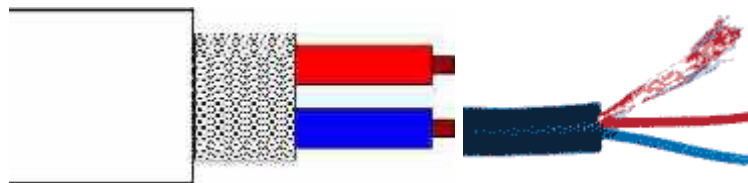
Prenons le cas d'un amplificateur délivrant une puissance de 2000 watts par canal sous 8 ohms. L'intensité résultante est donc la racine carrée de  $P/R$  (Puissance/ Résistance) soit 15,81 ampères...

Dans ce cas, un câble de section de 2.5 mm<sup>2</sup> est nécessaire, 4 mm<sup>2</sup> encore mieux.

En règle générale, une section de 2.5 mm<sup>2</sup> sera parfaite pour toutes les enceintes de petite et moyenne puissance et une section de 4 mm<sup>2</sup> est idéale pour les subs.

### 4.3 Le câble audio

Il s'agit tout simplement d'un câble coaxial composé de un ou plusieurs conducteurs entourés par un blindage.



Ce type de câble peut aussi bien servir au transport d'un signal de niveau ligne que pour un signal de niveau micro.

Il en existe de plusieurs types :

- Le simple câble composé d'un blindage et d'un ou deux conducteurs (photo ci-dessus). Son diamètre extérieur est souvent de 5 ou 6 mm pour les câbles destinés à des fiches XLR ou des jack. On en trouve du beaucoup plus fin pour les câbles destinés aux fiches cinch ou aux mini- jack par exemple.

- Le câble côte à côte, utilisé en général pour les liaisons stéréo des lecteurs cd,... Il s'agit donc de deux simples câbles mis côte à côte.

Pour un signal asymétrique, le câble sera composé d'un conducteur et du blindage. Pour un signal symétrique, le câble sera composé de deux conducteurs et du blindage. Un câble composé de deux conducteurs et d'une masse pourra également servir à un signal stéréo.

La section de chaque conducteur est en général de 0.22 mm<sup>2</sup>, 0.14 mm<sup>2</sup> pour les câbles de patch ou les multipaires.

#### 4.4 Le câble DMX

Le DMX est un signal numérique, au même titre que l'AES/EBU.

Une question souvent abordée est de savoir si le câble micro peut convenir aux liaisons DMX... L'USITT (United States Institute for Theatre Technology) indique simplement que les caractéristiques de capacité et d'impédance du câble audio ne sont pas compatibles avec un signal numérique. Logique, puisque le câble audio est prévu pour de l'analogique, le câble DMX pour du numérique... La valeur idéale d'impédance caractéristique est cependant donnée (entre 100 et 120 ohms) pour le câble DMX.

Ce même institut indique que des erreurs de transmission peuvent apparaître au-delà d'une distance de 10 mètres avec du câble micro. Il est donc primordial d'utiliser du câble adapté au signal DMX.

#### 5. Il n'y a plus qu'à...

... Tout brancher...

Le tout est de bien se rendre compte que chaque câble a son domaine de prédilection et que vouloir en changer est une mauvaise idée... Relier une enceinte à son ampli avec du câble micro est par exemple une grave erreur...

Acheter des câbles de bonne qualité (et donc un peu plus chers) est aussi un gage de longévité. Il n'y a rien de plus désagréable qu'un câble qui se tord dans tous les sens et qu'il faut jeter au bout de deux ou trois utilisations. Un câble n'est pas non plus une ficelle sur laquelle on peut tirer n'importe comment...

Bon amusement !

Didier Pietquin © 2006

#### Bibliographie

- Circuits électriques, Courant alternatif, Herbert W. Jackson, Editions Dunod, 1988
- Circuits électriques, Courant continu, Herbert W. Jackson, Editions Dunod, 1988
- Condensé de physique, Jean- François Lambert, Editions MPC, 1996
- Le son live, Paul White, Editions Eyrolles, 2001
- Electricité pratique, J.-M Fouchet, Editions Dunod, 1999
- Son & Enregistrement, F. Rumsey et T. McCormick, Editions Eyrolles, 2005