

# LE POINT SUR LES DE HAUT-PA

L'article sur l'ampli à lampe puis sur l'ampli à IGBT dans lesquels nous avons abordé le problème des liaisons avec les Hauts parleurs nous a valu un abondant courrier de lecteurs audiophiles nous demandant de faire le point sur la qualité des câbles préconisés en Hi-Fi.



# CABLES RLEUR

*Fig.1 De nombreux types de câbles pour enceintes existent, mais il n'existe aucun câble capable d'améliorer la qualité d'un son, par conséquent du câble électrique normal peut très bien être utilisé. Ce câble doit avoir une section suffisante fonction de la puissance. Tout en dépensant beaucoup moins des résultats identiques à ceux obtenus avec un câble onéreux sont obtenus.*

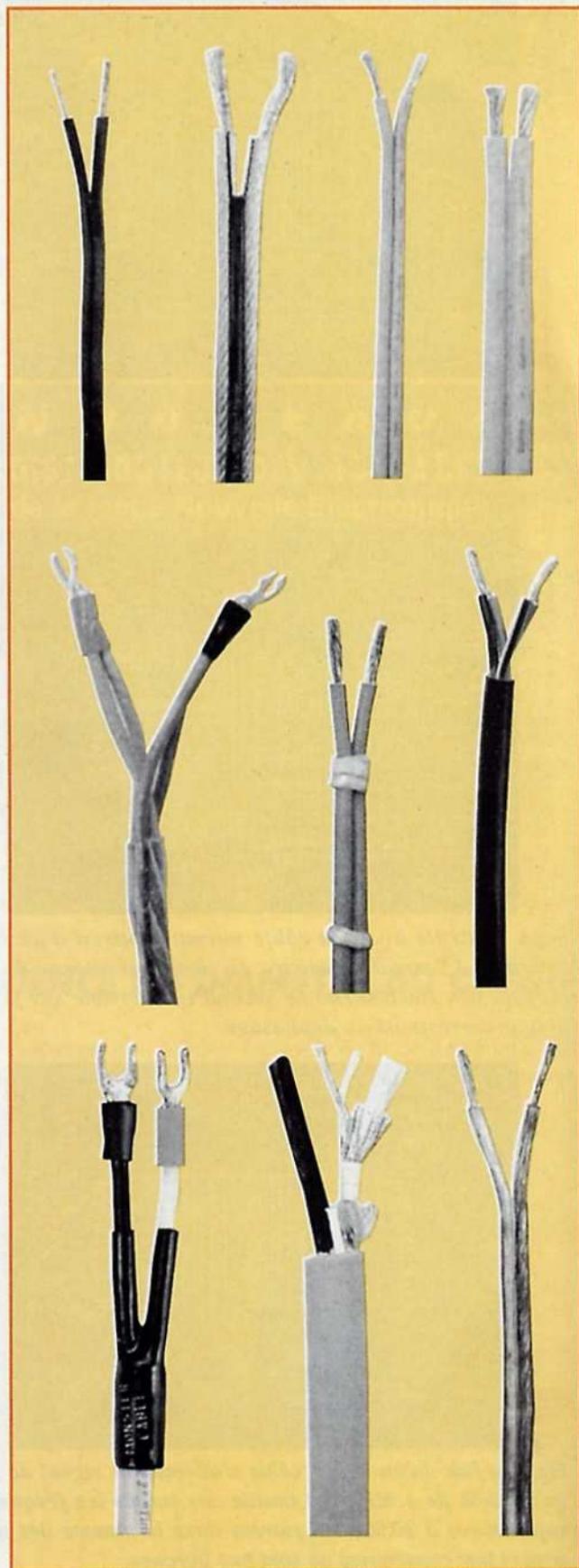
**L**es constructeurs de matériel Haute Fidélité ne se risquent pas à préconiser telle ou telle sorte de câble. L'un d'eux nous confirmait récemment que : "S'il était prouvé qu'il existe des câbles en mesure d'améliorer les caractéristiques d'une installation, nous serions les premiers à les conseiller dans les notices d'instruction. La liaison entre la sortie d'un amplificateur et les enceintes peut être effectuée avec n'importe quel câble, à condition toutefois que la section du fil de cuivre soit adaptée à la puissance de l'amplificateur".

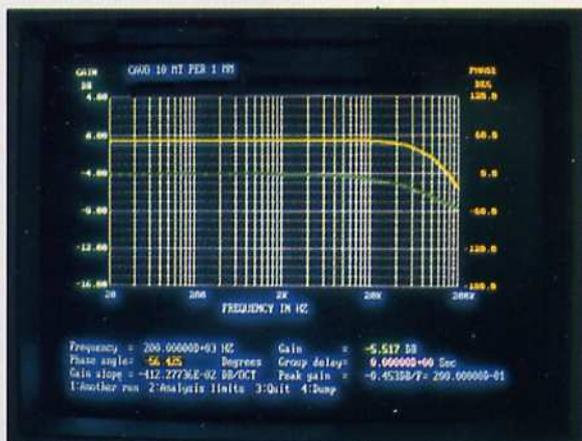
Toujours suite à ces articles, un industriel, fabricant des enceintes pour Hi-Fi nous a fait parvenir un rapport technique de 30 pages concernant les essais effectués en laboratoires sur tous les câbles vendus en commerce (tests qui rejoignent totalement nos propres recherches en ce domaine) où il est démontré que :

La qualité des câbles n'est en mesure de modifier les caractéristiques ni de l'amplificateur ni des enceintes. Dans ce rapport est également souligné qu'en exécutant des liaisons très longues (20-30 mètres) avec des fils très fins, l'influence la plus palpable est seulement une légère réduction de la puissance acoustique, qui peut facilement être compensée par une action sur le volume de l'amplificateur.

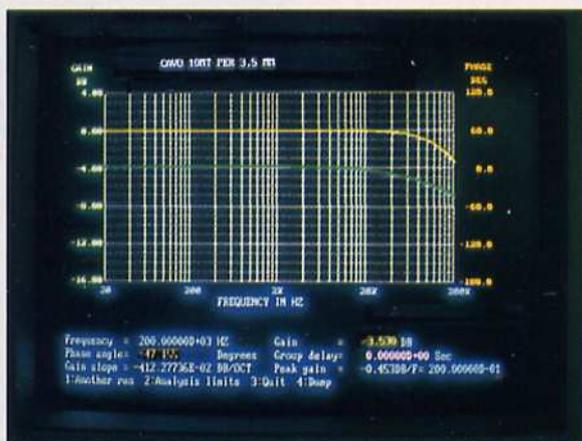
Aussi, convaincre un audiophile conditionné par un matraquage publicitaire éhonté, que les câbles n'améliorent pas les caractéristiques d'une installation, n'est pas une entreprise facile.

Commençons donc l'exposé de nos tests en disant qu'un câble qui travaille en BF (Basse Fréquence) sert seulement à transférer d'une extrémité à l'autre de sa longueur une tension alternative où la fréquence maximum ne dépasse jamais 25.000 Hz.

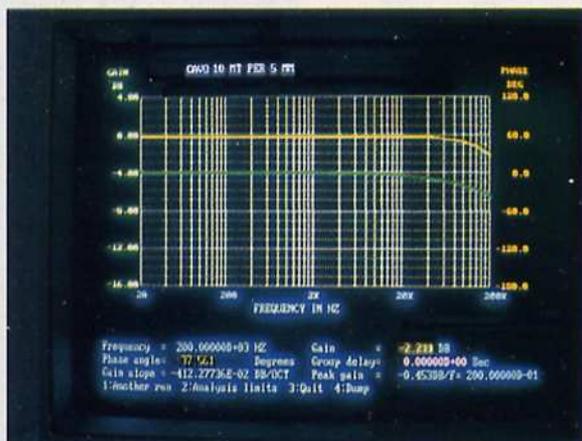




**Fig.2** En contrôlant avec un instrument adapté un câble normal pourvu d'un fil de cuivre de 1 mm de diamètre, le signal est atténué de 3 dB au delà des 120.000 Hz, c'est à dire à des fréquences inaudibles à l'oreille.



**Fig.3** Contrôle avec un câble normal pourvu d'un fil de cuivre de 3,5 mm de diamètre. Le signal est atténué de 3 dB au delà des 200.000 Hz. Le second trait visible sur le graphique correspond au déphasage.



**Fig.4** Le fait qu'un super câble n'atténue un signal de 3 dB qu'au delà de 1 MHz est inutile car toutes les fréquences supérieures à 20.000 Hz entrent dans la gamme des ultrasons et par conséquent ne sont pas perçues.

L'inductance du câble peut influencer le signal si celui-ci atteint une longueur égale au 1/4 d'onde.

La formule pour calculer la longueur d'onde en mètre en connaissant la fréquence en KHz est :

$$L \text{ (mètres)} = c \text{ (300 000)} / F \text{ (KHz)}$$

L'inductance du câble influe considérablement sur le signal seulement s'il a une longueur supérieure à :

$$300\,000 / 25 = 12\,000 \text{ mètres, soit pour le quart d'onde :}$$

$$12\,000 / 4 = 3\,000 \text{ mètres}$$

Par conséquent, un câble d'une longueur de 3 kilomètres (entre la sortie de l'amplificateur et l'entrée de l'enceinte) peut avoir une certaine influence sur l'intégrité du signal véhiculé.

Puisque la longueur maximum ne dépasse jamais une dizaine de mètres et que la gamme des fréquences acoustiques s'étend d'un minimum de 10 Hz à un maximum de 20 000 Hz, le signal BF est transféré de l'amplificateur à l'enceinte sans aucune altération.

Or, pour vanter ces câbles miraculeux, il est primordial de promouvoir des caractéristiques et d'énumérer des paramètres comme inductance, capacité, résonance, effet de peau, amortissement, pureté du cuivre etc..., qui en réalité n'influent pas sur la fidélité de reproduction du son.

Autant de paramètres bien souvent inconnus d'un audiophile qui n'est pas forcément technicien ou ingénieur mais qui reste convaincu d'avoir amélioré le son de son installation Hi-Fi par le simple changement des câbles.

Sans instruments de mesure certains relèvent même à l'oreille une amélioration en micro contrastes, que l'image sur l'échelle moyenne du plan d'écoute est différente, que la perception des basses est meilleure et que le roll-off est plus prononcé etc..."

Ces affirmations copient fidèlement les slogans publicitaires.

Pour notre bonheur, aucun câble n'influence les caractéristiques d'un amplificateur ni celles d'une enceinte et encore moins la forme d'onde d'un signal BF.

Pour établir les différences existantes entre un câble et un autre on ne peut utiliser notre oreille, qui ne discerne pas les infimes différences. Il faut disposer d'une instrumentation technique que seuls quelques laboratoires peuvent aligner.

La commission électrotechnique internationale conseille aux techniciens d'effectuer une comparaison en temps réel, car ce système permet de révéler même les plus petites nuances du domaine du perceptible.

Par exemple, pour comparer deux amplificateurs Hi-Fi et vérifier à l'oreille lequel des deux a un meilleur timbre, il est déconseillé d'écouter d'abord un ampli pour passer ensuite à l'écoute du second, car notre mémoire est incapable de comparer valablement un son écouté quelques instants auparavant.

Pour contrôler en temps réel deux amplificateurs, il faut les régler sur la même puissance de sortie, puis comme visible fig.5, appliquer sur l'entrée un dispositif capable de commuter le signal du pick-up ou du CD sur l'un ou l'autre des amplificateurs et sur

les sorties appliquer un second dispositif qui commute le signal à la même enceinte.

Les deux relais activés de façon cyclique permettent d'écouter alternativement le signal des deux amplificateurs pendant une seconde environ.

Ainsi, l'oreille peut relever si des différences de restitution existent.

Ce même type de contrôle par comparaison est utilisé pour les câbles, en reliant les deux relais comme visible fig.6, pour comparer le rendement des deux différentes enceintes (voir fig.7), contrôle qui ne débouche sur aucun résultat probant.

En laboratoire, pour contrôler la différence entre deux câbles, deux filtres cross-over ou deux amplis, des instruments de mesure (oscilloscopes, analyseurs de spectre, distorsiomètre, oscillateurs wobulé, audiotraceur etc....) sont mis en oeuvre pour quantifier même les plus infimes différences que l'oreille ne pourra jamais relever.

## CABLES HP ET SIGNAUX BF.....

Il est opportun de savoir comment se comporte un fil de cuivre pour transférer, de la sortie de l'amplificateur sur l'entrée d'une enceinte, une tension qui varie de 0 à 40 volts avec une fréquence variable de 15 à 20 000 Hz.

1° Que le conducteur soit en cuivre, en argent ou doré à l'or fin, la seule différence opposée au passage des électrons est une résistance ohmique plus ou moins élevée suivant le métal utilisé.

Puisqu'aucun câble n'affiche une résistance nulle, une chute de tension, plus ou moins élevée se présente toujours.

Cette chute de tension augmente avec l'accroissement de la longueur du fil et est inversement proportionnelle à la section du cuivre conducteur.

Puisque dans chaque installation Hi-Fi la longueur de câble ne dépasse pas 20 mètres, celui-ci peut tout au plus atténuer de 1% la puissance maximale.

Cela signifie que sur 100 watts, 1 watt est perdu, mais l'oreille ne permet pas la perception de cette réduction sonore dérisoire.

2° La fréquence qui défile dans le câble et la forme d'onde du signal ne subissent jamais de variation, par conséquent en appliquant sur l'entrée 15 Hz ou 20 000 Hz, la même fréquence se retrouve sur l'extrémité du câble.

S'il n'en était pas ainsi, la tension secteur 220 volts - 50 Hz sinusoïdale, qui défile à travers les lignes de transport EDF longues de quelques centaines de kilomètres, arriverait dans les installations avec une fréquence de 46-48-49 Hz de forme triangulaire ou carrée. Au contraire cette tension est toujours à 50 Hz et parfaitement sinusoïdale.

La seule différence réside dans l'amplitude de la tension, qui de 220 volts peut passer à 215-210 volts, chute de tension causée par l'excessive longueur des câbles et la faiblesse de leur section.

3° Pour les fréquences inférieures à 30 000 Hz, l'inductance du câble

# SVE ELECTRONIQUE

Votre spécialiste local en :

- Composants
- Hauts-parleurs
- Courroies
- Outillage
- Tubes B.F
- Pièce origine audio / vidéo
- Coffrets
- Câbles
- C.B
- Mesure

**HIFI : AFFAIRES !**

**NOUVEAU !**

**DISTRIBUTEUR DES MONTAGES de la revue Nouvelle Electronique**

**Avant d'acheter, venez écouter chez nous ou chez vous\* les montages des numéros 1,2,3,4 !**

\* Nous téléphoner pour conditions

**20 rue Condorcet - 38000 GRENOBLE**

**Tél : 76 47 76 41 - Fax : 76 47 30 92**

**Ouvert du mardi au samedi de 10 h à 12 h et de 14 h à 19 h**

et sa capacité parasite sont sans influence, à moins que les deux enceintes ne soient placées à une distance de plus de 100-200 mètres de l'amplificateur.

## INFLUENCE DU DIAMETRE DU CUIVRE

Le câble desservant les enceintes doit avoir un fil de cuivre avec une section adéquate, pour acheminer l'intensité demandée avec une chute de tension minimale.

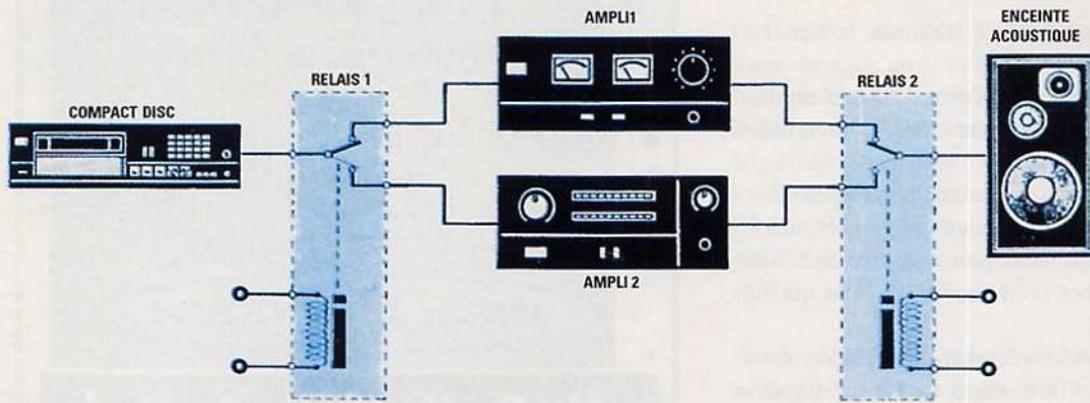
Pour calculer le courant défilant dans un fil de cuivre en fonction de la puissance en watt de l'amplificateur utiliser la formule suivante :

$$I \text{ (Ampère)} = \sqrt{P \text{ (watt)} / R \text{ (ohm)}}$$

Le tableau n°1 exprime l'intensité en fonction de la puissance de l'amplificateur et de l'impédance des haut-parleurs.

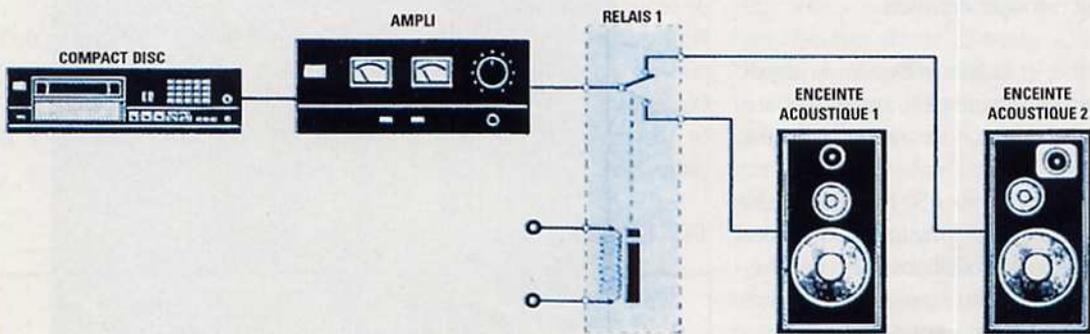
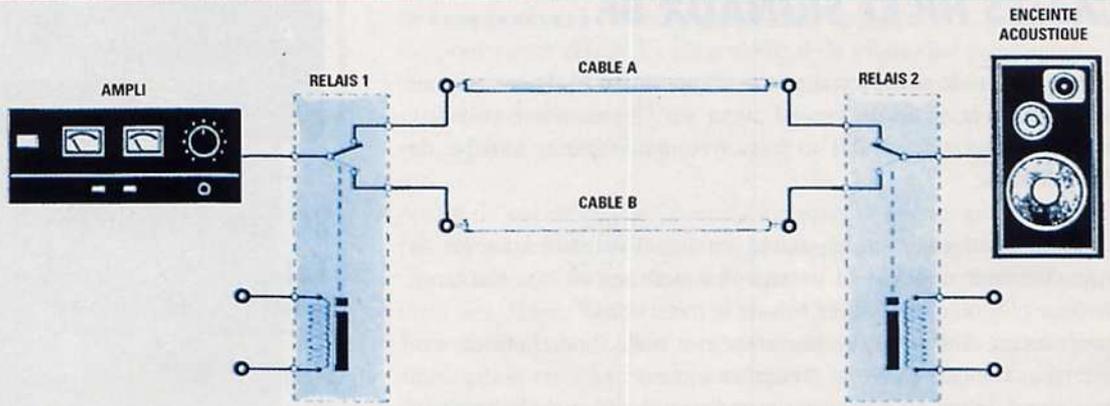
TABLEAU N°1

Watt Sortie	Ampère sur 8 ohms	Ampère sur 4 ohms
30	1,94	2,74
50	2,50	3,54
60	2,74	3,87
80	3,16	4,47
100	3,54	5,00

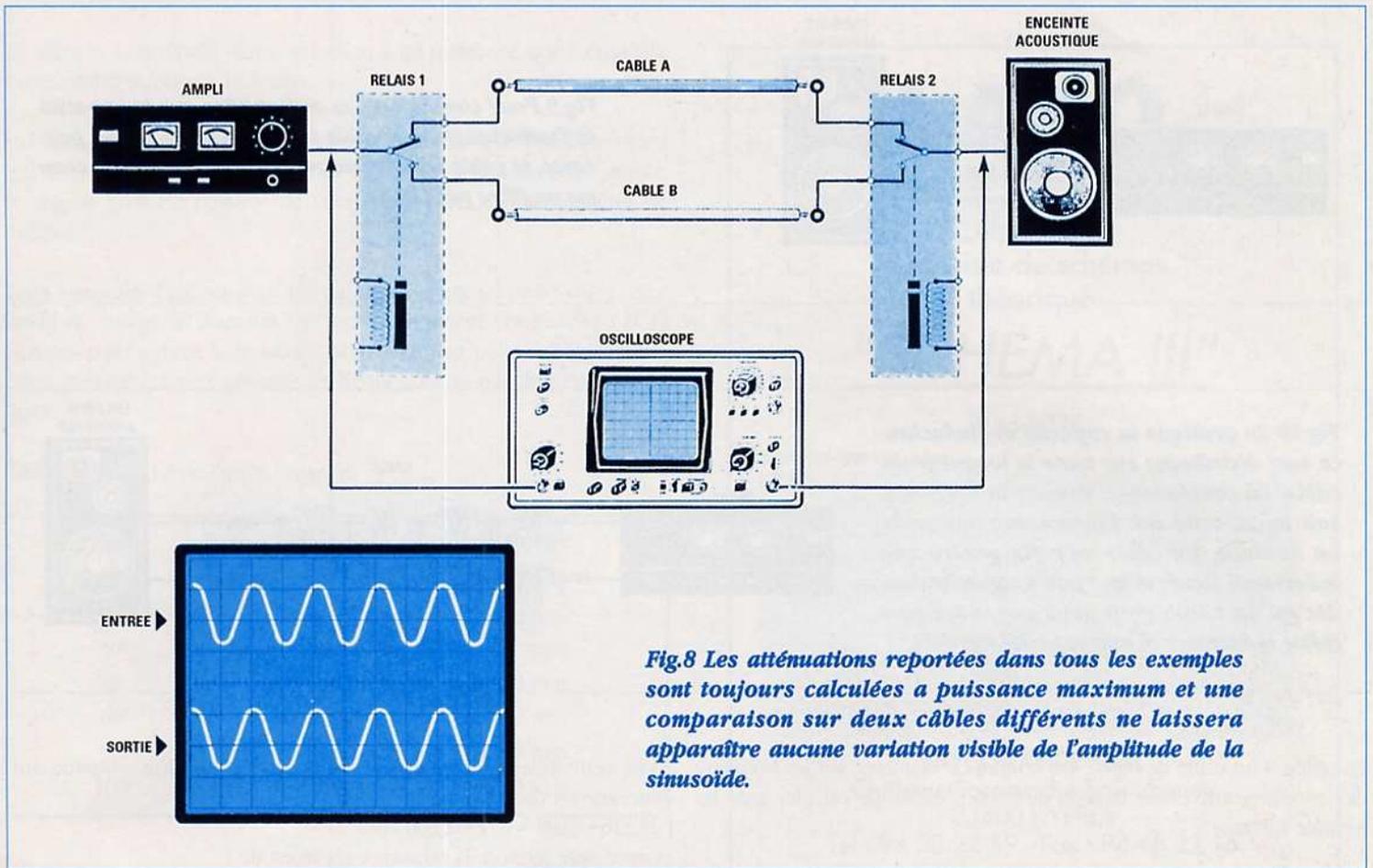


*Fig.5 Sans instrument adapté il est possible de contrôler la différence de timbre de deux amplificateurs en utilisant le système de la "comparaison en temps réel" qui consiste à commuter rapidement les entrées et les sorties avec deux relais ou inverseurs automatiquement ou manuellement.*

*Fig.6 Le même système peut être utilisé pour contrôler la différence qui peut exister entre un câble "normal" et un "supercâble". Un câble inadéquat et de mauvaise qualité peut seulement réduire la puissance et non la forme de l'onde*



*Fig.7 Le système de la "comparaison en temps réel" est souvent utilisé pour comparer les rendements de deux enceintes.*



*Fig.8 Les atténuations reportées dans tous les exemples sont toujours calculées à puissance maximum et une comparaison sur deux câbles différents ne laissera apparaître aucune variation visible de l'amplitude de la sinusoïde.*

En connaissant l'intensité maxi parcourant le câble, choisir le diamètre du fil de cuivre ou sa section exprimée en millimètres carrés. Cette donnée, associée à la résistance ohmique par mètre, est disponible dans le tableau N°2.

**TABLEAU N°2**

Ampère maximum	diamètre du fil	section fil mm <sup>2</sup>	Ohm x mètre
2,0	1,10 mm	0,95	0,018
2,5	1,20 mm	1,13	0,016
3,0	1,40 mm	1,50	0,011
3,5	1,50 mm	1,70	0,010
4,0	1,60 mm	2,00	0,009
4,5	1,70 mm	2,27	0,008
5,0	1,80 mm	2,50	0,007
6,0	2,00 mm	3,14	0,006

Ainsi pour un amplificateur de 80 watts contrôlons théoriquement la différence de puissance de sortie sur une charge de 8 ohms entre un

câble de diamètre adéquat, et un câble de diamètre inférieur d'une part et un de diamètre supérieur d'autre part.

Pour une puissance de 80 watts le courant maximum qui parcourt le fil est de 3,16 ampères (voir tableau N°1)

En passant au tableau N°2, nous découvrons que pour ce courant il faut un fil de 1,5 mm de diamètre qui offre une résistance ohmique égale à 0,010 ohm par mètre.

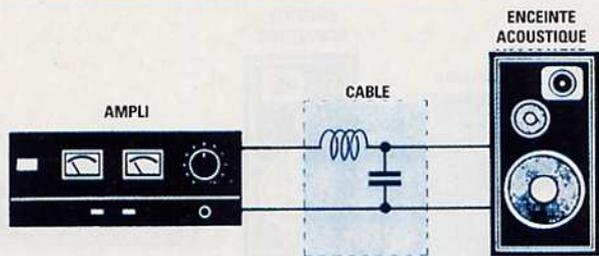
Si pour relier les enceintes, un fil de 5 mètres de long est utilisé, la résistance du câble insérée en série à la charge est de :  
 $(5+5) \times 0,010 \text{ Ohm} = 0,1 \text{ ohm}$

Nota : un câble de 5 mètres donne au total 10 mètres de fil car il faut considérer 5 mètres aller et 5 mètres retour.

Théoriquement, si le câble avait une résistance nulle l'enceinte serait alimentée par une tension de :

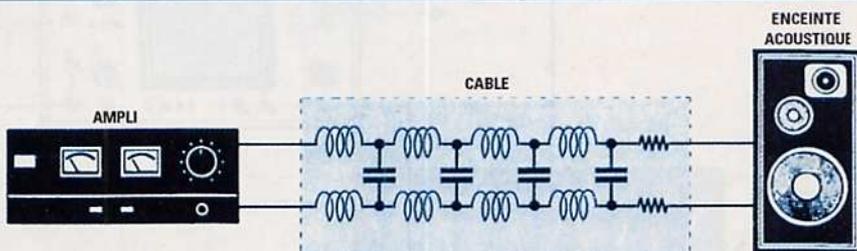
$$U \text{ (volt)} = P \text{ (watt)} / I \text{ (ampère)}$$

soit  
 $80 / 3,16 = 25,316 \text{ V}$



*Fig.9 Pour convaincre les audiophiles que la capacité et l'inductance d'un câble influent sur la bande passante, le câble est souvent représenté par erreur comme un filtre passe/bas.*

*Fig.10 En pratique la capacité et l'inductance sont distribuées sur toute la longueur du câble. En conséquence, suivant la longueur, soit la capacité soit l'inductance augmente ou diminue. Un câble trop fin génère une inductance élevée et une faible capacité, tandis qu'un câble trop gros engendre une faible inductance et une capacité élevée.*



En utilisant un câble de cuivre de 1,5 mm de diamètre, sur les borniers des enceintes arrive une tension qu'il est possible de calculer avec la formule suivante :

$$V_c = V_a / (R_c + Z) \times Z$$

où

$V_c$  = Tension en volt sur les borniers des enceintes

$V_a$  = Tension en volt fournie par l'amplificateur

$R_c$  = Résistance ohmique du câble

$Z$  = Impédance de l'enceinte

Donc sur une enceinte de 8 ohms, la puissance maximum implique une tension de :

$$[ 25,316 / (0,1 + 8) ] \times 8 = 25 \text{ volts}$$

En connaissant la tension et la résistance de charge (enceinte) la puissance réelle transférée sur l'enceinte peut être calculée de la façon suivante :

$$P \text{ (watt)} = U^2 \text{ (volt)} / Z \text{ (ohm)}$$

soit

$$(25 \times 25) : 8 = 78,125 \text{ watts}$$

Maintenant contrôlons la différence qui existe en utilisant un câble avec un diamètre supérieure, c'est à dire 1,7 mm au lieu de 1,5 mm.

En regardant le tableau N°2, ce fil présente une résistance ohmique de 0,008 ohm par mètre, par conséquent si un câble bifilaire long de 5 mètres est utilisé, la résistance ohmique totale est de :

$$(5 \times 5) \times 0,008 = 0,08 \text{ Ohm}$$

Avec cette résistance ohmique inférieure, la tension obtenue sur l'enceinte est de :

$$[ 25,316 : (0,08 + 8) ] = 25,06 \text{ volts}$$

et avec cette tension, la puissance réelle est de :

$$(25,06 \times 25,06) : 8 = 78,5 \text{ watts}$$

Si un fil de diamètre plus petit est utilisé, par exemple de 1,1 mm avec une résistance ohmique de 0,018 ohm par mètre et un câble d'une longueur de 5 mètres la résistance ohmique totale est de :

$$(5 \times 5) \times 0,018 = 0,45 \text{ ohm}$$

Avec cette résistance ohmique supérieure, la tension obtenue sur l'enceinte est de :

$$[ 25,316 : (0,45 + 8) ] \times 8 = 24,758 \text{ volts}$$

qui correspond à une puissance de :

$$(24,758 \times 24,758) : 8 = 76,619 \text{ watts}$$

En résumé, avec une puissance théorique de 80 watts, les puissances suivantes sont obtenues :

fil de 1,7 mm = 78,500 watts

fil de 1,5 mm = 78,125 watts

fil de 1,1 mm = 76,619 watts

Néanmoins, il ne faut pas se laisser influencer par les chiffres, parce que ces différences ne sont absolument pas perceptibles par l'oreille.

En effet, l'oreille relève une légère réduction de puissance seulement lorsque celle-ci descend à -3dB et relève mi-puissance lorsque la puissance descend à -6 dB.

Par conséquent avec une puissance sonore de 78,5 watts, l'oreille n'a la sensation d'une légère réduction de puissance qu'en dessous de

39 watts et la certitude d'une réduction à mi-puissance que lorsqu'elle est en réalité tombée à 19 watts.

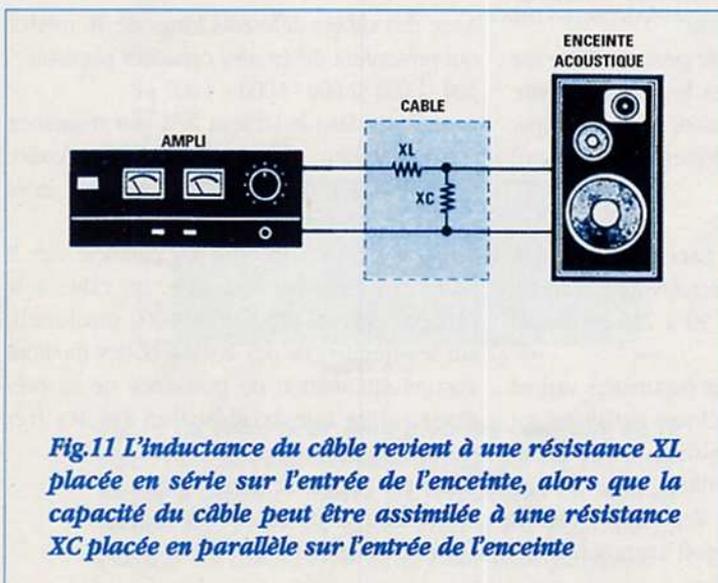
Par conséquent si un câble de diamètre insuffisant est utilisé tout ce qui est obtenu est uniquement une légère réduction de la puissance maximum qu'il est possible de compenser avec le potentiomètre de volume.

Il est conseillé d'utiliser pour les différentes puissances un câble avec un fil de cuivre de diamètre légèrement supérieur (voir tableau N°3) non pas pour réduire la résistance ohmique, mais pour réduire l'inductance parasite qui peut atténuer les fréquences les plus hautes dans les aiguës.

TABLEAU N°3 Fil de cuivre conseillé

Watt Sortie	Diamètre pour 8 Ohms	Diamètre pour 4 Ohms
30	1,35 mm	1,60 mm
50	1,50 mm	1,80 mm
60	1,65 mm	1,90 mm
80	1,75 mm	2,00 mm
100	1,85 mm	2,20 mm

Les diamètres reportés dans ce tableau sont les minimum conseillés, par conséquent avec un amplificateur de 50 watts et des enceintes de 8 ohms, il est possible d'utiliser du fil de diamètre de 1,60 - 1,70 - 2,10 ou plus.



# LAYO

Info technique 3614 code LAYOFRANCE

Offrez-vous  
La saisie de schémas  
théorique

## "SCHEMA III"

255 F TTC

Renvoyez-nous vite ce bon

Je désire recevoir :	TTC
DOCUMENTATION GENERALE	0
LOGICIEL SCHEMA III LIMITEE	255
PASSERELLE SCHEMA vers LAYO PCB	322
CE PONT pendant décembre :	185
Pont vers Orcad, Tango, Protel, Pad	388
Manuel Layo 240 pages pend. déc	200
<i>Règlement par chèque ou carte Visa</i>	

LAYO FRANCE SARL

Château Garamache-Sauvebonne  
83400 HYERES

Tél : 94 28 22 59 Fax : 94 48 22 16

## INDUCTANCE ET CAPACITE

### D'UN CABLE.....

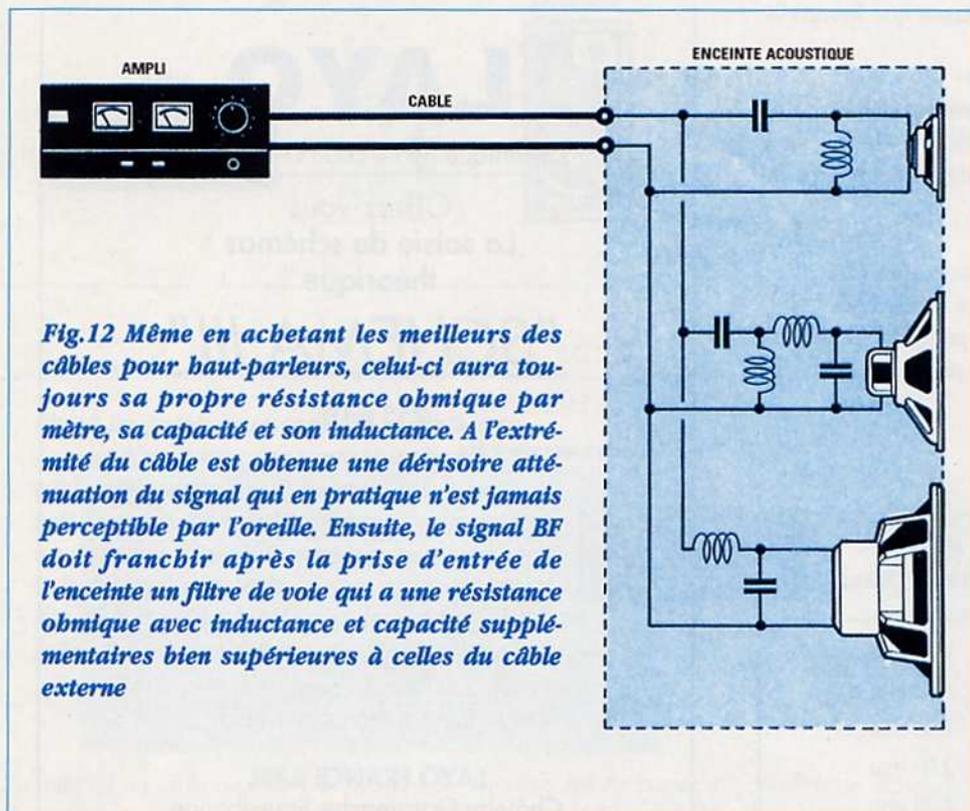
Pour convaincre les audiophiles que le câble de liaison peut influencer négativement le rendement acoustique d'un ampli, il est souvent affirmé qu'il possède une basse inductance et une faible capacité et il en découle que le câble est souvent représenté comme un filtre passe/Bas (voir fig.9).

Personne cependant ne s'attache à démontrer la réelle influence de l'inductance et de la capacité sur le signal BF.

L'inductance d'un câble qui a les fils accolés varie en fonction du diamètre du fil d'un minimum de 0,3 microHenry par mètre à un maximum de 0,8 microHenry par mètre.

Plus le diamètre du fil est réduit plus l'inductance est élevée.

La capacité du câble peut varier en fonction du diamètre du fil d'un minimum de 90 pF par mètre et peut atteindre 250 pF par mètre. La capacité s'élève avec le diamètre du fil.



**Fig.12** Même en achetant les meilleurs des câbles pour haut-parleurs, celui-ci aura toujours sa propre résistance ohmique par mètre, sa capacité et son inductance. A l'extrémité du câble est obtenue une dérisoire atténuation du signal qui en pratique n'est jamais perceptible par l'oreille. Ensuite, le signal BF doit franchir après la prise d'entrée de l'enceinte un filtre de voie qui a une résistance ohmique avec inductance et capacité supplémentaires bien supérieures à celles du câble externe

La représentation théorique d'un câble de liaison est reporté fig.10, bien que l'inductance et la capacité soient réparties sur toute sa longueur.

Si la longueur du câble augmente, l'inductance et la capacité augmentent. Si la longueur du câble est réduite l'inductance et la capacité diminuent.

De ces deux paramètres, seule l'inductance pouvant atteindre une valeur exagérément élevée, est en mesure d'atténuer les fréquences comprises entre 15.000 - 20.000 Hz, alors que la capacité ne modifie ni les basses ni les médiums ni les aiguës.

Il y a quelques temps, nous avons lu sur une revue Hi-Fi une phrase qui nous a laissé perplexe :

"Pour réduire la capacité parasite, il est conseillé de séparer et d'espacer les deux conducteurs du câble".

En pratique, il est vrai qu'en espaçant les deux fils, les capacités parasites se réduisent, mais ceci au détriment de l'inductance parasite qui augmente.

Ainsi, un câble avec deux fils accolés peut

présenter sur une longueur de 10 mètres une inductance parasite de seulement 7-8 microHenry. Avec ces deux fils séparés l'inductance parasite dépasse les 40 microHenry !

Par conséquent, il est conseillé de ne jamais séparer les deux conducteurs qui vont aux enceintes, sous peine d'augmenter considérablement l'inductance parasite.

Même si la capacité parasite peut atteindre sur une longueur de 10 mètres les 2.000 pF cette valeur n'est pas préoccupante car cette capacité n'atténue aucune fréquence du spectre Audio.

En résumé, l'inductance parasite d'un câble peut varier de 0,3 à 0,8 microHenry par mètre et la capacité parasite de 90 à 250 pF par mètre.

Par conséquent si ces deux paramètres varient d'un câble à un autre, quelques variations sur la bande passante apparaissent. Bien évidemment, ces variations se vérifient, mais uniquement pour les fréquences des supra-aiguës et puisque l'oreille ne perçoit jamais les fré-

quences ultrasoniques supérieures à 20.000 Hz, peu importe si ces fréquences supérieures 30.000, 40.000 ou 100.000 Hz sont atténuées.

## INDUCTANCE - CAPACITE FREQUENCE.....

Même si un câble peut être comparé à un filtre passe/bas (voir fig.9), puisque composée d'une inductance et d'une capacité, il n'est pourtant pas possible pour calculer sa fréquence de coupure d'utiliser la formule applicable aux filtres passe/bas. Il faut procéder différemment pour connaître sur quelle fréquence la tension de sortie commence à s'atténuer de 3 dB.

Pour calculer quelles réactances présentent ces capacités et ces inductances parasites, remplaçons l'inductance et la capacité avec deux résistances référencées XL et XC (voir fig.11).

La valeur ohmique de XL (inductance) et de XC (capacité) se déduisent en utilisant ces formules :

$$XL (\text{Ohm}) = 0,00628 \times (F (\text{KHz})) \times L (\text{microH})$$

$$XC (\text{Ohm}) = 159.200 \times (F (\text{KHz})) \times C (\text{nanoF})$$

## CAPACITE PARASITE.....

Avec des câbles différents longs de 10 mètres qui présentent différentes capacités parasites :

300 - 1.000 - 2.000 - 3.000 - 4.000 pF  
contrôlons dans le tableau N°4 leur résistance équivalente aux différentes fréquences Audio, nous découvrons qu'elle est rarement inférieure à 1.900 ohms.

Puisque XC est appliquée en parallèle aux 8 ohms des hauts-parleurs, avec un câble à la capacité parasite élevée (de 4.000 pF), sur les fréquences des basses et des médiums aucune atténuation de puissance ne se présente, alors que la réduction sur les fréquences des aiguës est de :

0,2 % sur 10.000 Hz

0,3 % sur 15.000 Hz

0,4 % sur 20.000 Hz

Puisque les capacités parasites sont toujours inférieures à 4.000 pF, il est possible de conclure qu'une réduction de puissance comprise entre 0,2 % et 0,4 % sur les fréquences des aiguës est insignifiante et non perceptible, par conséquent jamais prise en considération.

## INDUCTANCE PARASITE.....

L'inductance parasite XL, qui est reliée en série aux 8 ohms des haut-parleurs peut atténuer, en fonction de sa valeur, les fréquences des médium-aiguës.

Avec différents câbles longs de 10 mètres qui présentent différentes inductances parasites : 3-5-8-10 microHenry

TABLEAU N°4 REACTANCE CAPACITIVE

x 10 mètres	Capacité Valeur de réactance capacitive XC aux différentes fréquences				
	100 Hz	1.000 Hz	10.000 Hz	15.000 Hz	20.000 Hz
300 pF	5,3 MΩ	530 KΩ	53.000 Ω	35.400 Ω	26.650 Ω
1.000 pF	1,6 MΩ	160 KΩ	16.000 Ω	10.600 Ω	7.960 Ω
2.000 pF	796 KΩ	79 KΩ	7.960 Ω	5.300 Ω	3.980 Ω
3.000 pF	530 KΩ	53 KΩ	5.300 Ω	3.500 Ω	2.650 Ω
4.000 pF	398 KΩ	39 KΩ	3.980 Ω	2.650 Ω	1.990 Ω

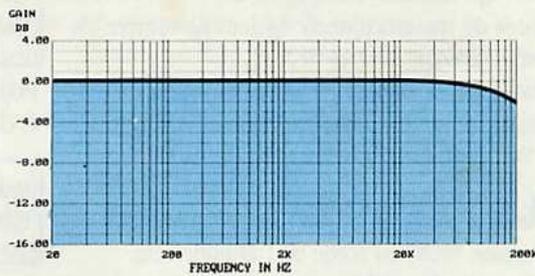


Fig.13 Un supercâble commence à atténuer les fréquences supérieures à 80.000 Hz. Vu que l'oreille ne perçoit aucun son au delà de 15.000 - 20.000 Hz, cette caractéristique est totalement superflue.

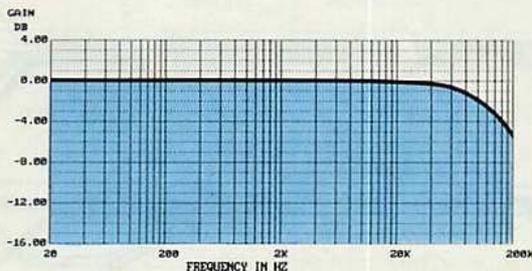


Fig.14 Un câble pour haut-parleurs constitué de fil électrique normal (comme visible en fig.16) commence à atténuer toutes les fréquences au delà de 60.000 Hz. Pour un faible coût il est possible de réaliser un câble performant pour haut-parleurs.

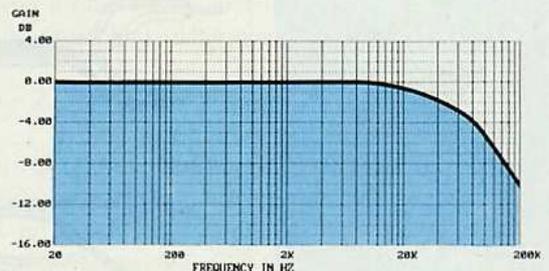


Fig.15 Même le plus économique des câble bifilaire électrique, avec un diamètre de cuivre inférieure à celui requis, commence à atténuer toutes les fréquences au-delà de 18.000 Hz limite d'audition de l'oreille humaine

TABLEAU N°5 REACTANCE INDUCTIVE

Inductance Valeur de réactance inductive XL aux différentes fréquences					
x 10 mètres	100 Hz	1.000 Hz	10.000 Hz	15.000 Hz	20.000 Hz
3 MicroHenry	0,001 Ω	0,018 Ω	0,19 Ω	0,28 Ω	0,38 Ω
5 MicroHenry	0,003 Ω	0,031 Ω	0,31 Ω	0,47 Ω	0,63 Ω
8 MicroHenry	0,005 Ω	0,050 Ω	0,50 Ω	0,75 Ω	1,00 Ω
10 MicroHenry	0,006 Ω	0,063 Ω	0,63 Ω	0,94 Ω	1,25 Ω

Après contrôle dans le tableau N°5 de leur résistance équivalente aux diverses fréquences Audio, nous découvrons que d'un minimum de 0,001 ohm, elle peut atteindre un maximum de 1,25 ohms.

Pour calculer quelle fréquence arrive sur les enceintes en utilisant des câbles avec des valeurs différentes de réactance, tenir également compte du déphasage (cos-φ).

La formule qui permet de connaître la valeur de tension qui arrive sur les hauts-parleurs est la suivante :

$$V_c = [ V_a : (\sqrt{X_L^2 + Z^2}) ] \times Z$$

où :

V<sub>c</sub> = Tension (volt) sur les borniers des enceintes

V<sub>a</sub> = Tension (volt) en sortie de l'amplificateur

X<sub>L</sub> = réactance du câble

Z = impédance des enceintes

Avec maintenant deux câbles, un spécial de coût élevé et un de mauvaise qualité qui a une inductan-

ce parasite de 0,8 microHenry par mètre sont extraites du tableau N°5 les valeurs de X<sub>L</sub> sur les fréquences de 1.000 - 10.000 - 20.000 Hz pour une longueur de 10 mètres.

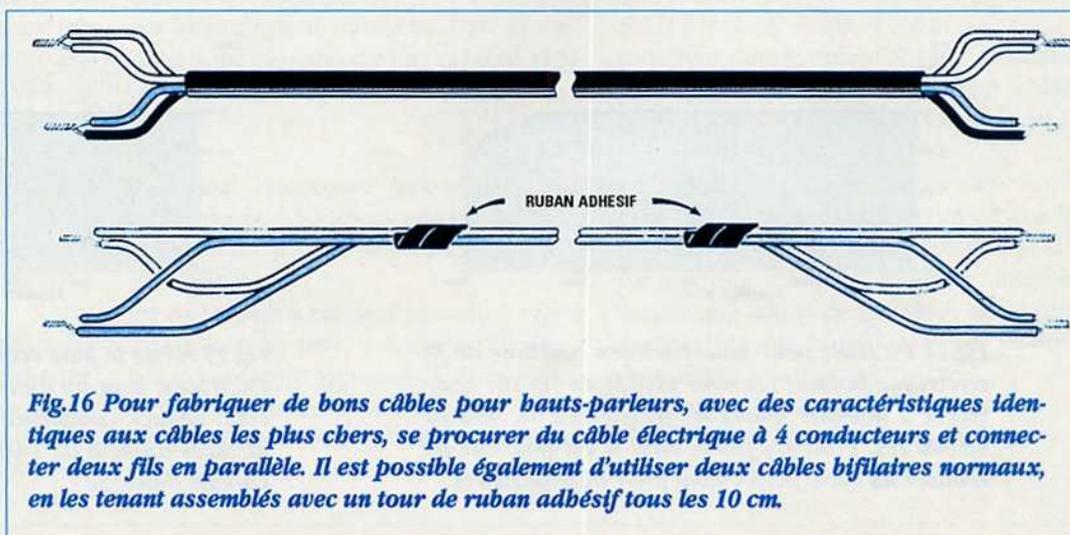
1 KHz	10 KHz	20 KHz	
Câble 3 MicroH	0,018	0,19	0,38 Ohms
Câble 8 MicroH	0,050	0,50	1,00 Ohms

Pour calculer les tensions avec la formule reportée ci-dessus, il convient d'élever au carré ces chiffres :

0,000324	0,0361	0,1444	(câble 3 microH)
0,0025	0,25	1,0	(câble 8 microH)

En élevant au carré l'impédance de 8 ohms des enceintes, on obtient 8 x 8 = 64

Ces données permettent de calculer quelles tensions arrivent sur les borniers des enceintes aux



**Fig.16 Pour fabriquer de bons câbles pour hauts-parleurs, avec des caractéristiques identiques aux câbles les plus chers, se procurer du câble électrique à 4 conducteurs et connecter deux fils en parallèle. Il est possible également d'utiliser deux câbles bifilaires normaux, en les tenant assemblés avec un tour de ruban adhésif tous les 10 cm.**

différentes fréquences, en prenant comme référence la tension de 25,316 volts fournie en sortie d'un amplificateur de 80 watts sur une charge de 8 ohms et un câble ayant en théorie une résistance nulle.

**Câble spécial = 3 microHenry sur 10 mètres**

fréquence 1.000 Hz  
 $[ 25,316 : ( \sqrt{0,000324 + 64} ) ] \times 8 = 25,315$  volts  
 fréquence 10.000 Hz  
 $[ 25,316 : ( \sqrt{0,0361 + 64} ) ] \times 8 = 25,308$  volts  
 fréquence 20.000 Hz  
 $[ 25,316 : ( \sqrt{0,1444 + 64} ) ] \times 8 = 25,287$  volts

**Câble normal = 8 microHenry sur 10 mètres**

fréquence 1.000 Hz  
 $[ 25,316 : ( \sqrt{0,0025 + 64} ) ] \times 8 = 25,315$  volts  
 fréquence 10.000 Hz  
 $[ 25,316 : ( \sqrt{0,25 + 64} ) ] = 25,266$  volts  
 fréquence 20.000 Hz  
 $[ 25,316 : ( \sqrt{1,0 + 64} ) ] \times 8 = 25,120$  volts

Ces résultats mettent bien en évidence une dérisoire atténuation de puissance sur les fréquences des supra-aiguës.

Sur les basses et sur les médium on n'aura jamais aucune réduction de puissance et la forme d'onde sur les basses -médiums -aiguës ne subira aucune altération.

A l'aide des tensions délivrées aux enceintes aux trois fréquences de 1.000 - 10.000 -20.000 Hz, calculons la puissance maximum qu'on peut obtenir en sortie en utilisant la formule :

$P \text{ (watt)} = U^2 \text{ (volt)} / R \text{ (ohm)}$

Le tableau N°6, permet de voir que ces différences sont insignifiantes.

**TABLEAU N°6**

	1.000 Hz	10.000 Hz	20.000 Hz
câble spécial	80,10 W	80,06 W	79,92 W
câble commun	80,10 W	79,79 W	78,87 W
différence	—	0,27 W	1,05 W

Nota : Ce calcul fait obtenir une puissance parfois supérieure à 80 watts. Cette différence apparaît car tout au long des calculs pour les valeurs de tension et de courant, seulement trois décimales ont été utilisées.

Il résulte de ces calculs que le câble commun restitue une puissance très légèrement inférieure pour des fréquences qui de toutes façons ne sont pas audibles.

Pour valider le fait que l'oreille ne relève pas une différence d'un watt (en passant de 80 à 79 watts), il est possible d'effectuer l'expérience suivante : raccorder un oscilloscope à l'enceinte, puis injecter sur l'entrée de l'ampli une fréquence de 10.000 Hz et en agissant sur le contrôle du volume faites vous dire par un écouteur l'instant à partir duquel il note une petite réduction sonore et le moment où il juge que la puissance est à moitié.

Avec un ampli de 80 watts, l'écouteur note une petite réduction sonore, lorsque l'amplitude du signal de 25 volts descend à environ à 20 volts (puissance 50 watts) et ressent la mi-puissance sonore lorsque l'amplitude du signal descend à environ 13 volts (puissance 20 watts).

C'est pour cette raison que la table logarithmique des dB est utilisée.

Lorsque l'oreille ressent une réduction de puissance de 1/4 environ, la puissance est descendue d'un facteur 2 (3 dB). Une réduction de moitié correspond à un facteur 4 (6 dB).

Notre oreille n'est donc pas un instrument de mesure efficace et comme à l'image de notre main soupesant un poids, il est difficile de déterminer et de quantifier précisément une mesure. Fort de ce fait, la faible différence des résultats obtenus ci-dessus nous amène à déduire que relever au jugé une différence de si faible amplitude relève de la pure utopie.

**FREQUENCE DE COUPURE.....**

Nous avons vu que la capacité parasite d'un câble provoque une atténuation dérisoire de puissance sur toute la bande Audio, qu'il est facilement possible de compenser en augmentant légèrement le volume.

L'inductance parasite est au contraire plus insidieuse car elle provoque une atténuation sur les fréquences des supra-aiguës

Pour savoir à quelle fréquence le câble commence à atténuer de 3 dB, il est possible de déterminer celle-ci avec cette formule :

$F \text{ (KH)}z = Z / (0,00628 \times L \text{ (microHenry)})$

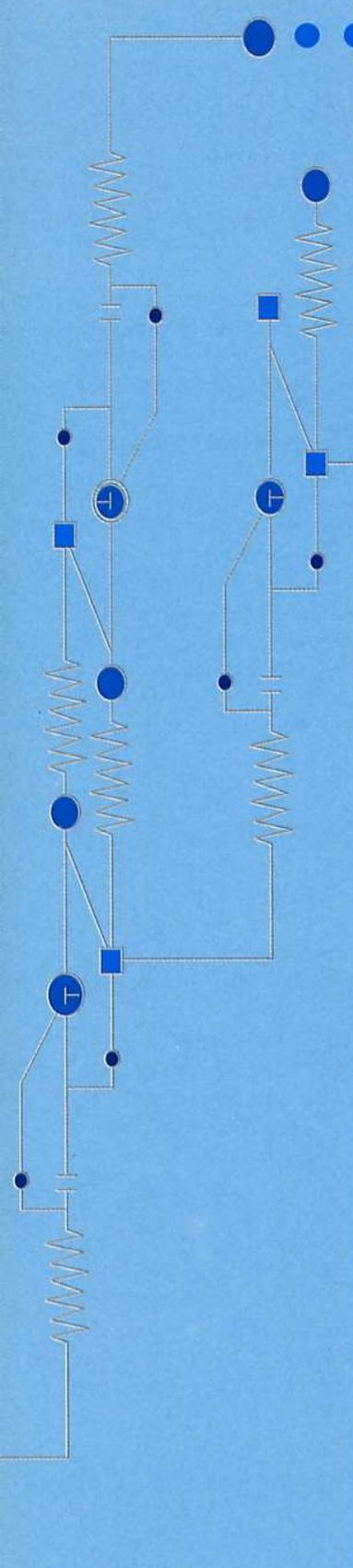
La valeur de Z indique l'impédance des haut-parleurs avec en parallèle la réactance XC de la capacité parasite du câble, la valeur L en microHenry demeurant liée au câble, qui comme vous le savez varient toutes deux en fonction de sa longueur.

Afin de simplifier le calcul nous pouvons considérer pour Z des valeurs défavorables, c'est à dire un câble qui a une capacité parasite élevée, capable de faire baisser :

l'impédance de 8 ohms à 7,5 ohms

l'impédance de 4 ohms à 3,5 ohms

La valeur de l'inductance parasite pour une longueur de 10 mètres est de :



3 microHenry = 10 mètres de câble spécial  
 5 microHenry = 10 mètres de câble moyen  
 8 microHenry = 10 mètres de câble normal  
 10 microHenry = 10 mètres de câble de mauvaise qualité

En utilisant la formule reportée ci-dessus nous pouvons connaître à quelle fréquence se situe la coupure à - 3 dB avec une charge de 8 ohms

$$7,5 : (0,00628 \times 3) = 398 \text{ KHz}$$

$$7,5 : (0,00628 \times 5) = 238 \text{ KHz}$$

$$7,5 : (0,00628 \times 8) = 149 \text{ KHz}$$

$$7,5 : (0,00628 \times 10) = 119 \text{ KHz}$$

comme vous pouvez le noter, même le câble le plus mauvais commence à atténuer seulement les fréquences ultrasoniques au dessus de 119 KHz, en d'autres termes les fréquences déjà bien au delà de la bande Audio.

Pourtant, les conditions les plus défavorables ont été choisies, c'est à dire une capacité parasite supérieure de 4.000 picoFarad et un câble de 5+5 mètres.

Puisque dans une installation Hi-Fi les enceintes se trouvent à une distance de l'amplificateur inférieure à 5 mètres, les atténuations introduites se réduisent considérablement.

Il existe une seule situation où le câble peut atténuer les fréquences Audio comprises entre 15.000 Hz et 20.000 Hz et se vérifie lorsque l'on utilise un câble avec deux fils séparés (un pour l'aller et un pour le retour).

En effet, avec deux fils séparés l'inductance parasite peut dépasser 40 microHenry ce qui en augmentant considérablement la XL abaisse la fréquence de coupure vers le haut des aiguës.

## CONCLUSION.....

Même si la théorie fournit des données qui semblent confirmer que les capacités parasites influencent un signal BF, il est tout de même vérifiable qu'en réalité cette influence n'intervient qu'imperceptiblement sur les fréquences Audio.

Seule l'inductance parasite influence de façon dérisoire sur les seules fréquences au-delà de 15.000 Hz donc imperceptibles à l'oreille humaine.

La théorie de l'effet de peau n'a pas été abordée car elle produit en pratique seulement une faible baisse de la résistance ohmique de l'ordre de 0,0005 ohm. Aussi prendre en compte de si futiles changements sans même considérer la résistance des filtres de voies de l'enceintes, qui est considérablement supérieure revient à compter les grains de sable sur une plage.

Aucune propriété spectaculaire n'est donc à attendre de ces supers câbles sinon leur prix.

## POUR LES PURISTES.....

A ceux qui sont encore convaincus que les super câbles améliorent la qualité du son parce qu'ils ont une inductance parasite plus petite que n'importe quel autre câble, nous indiquons comment confectionner un câble à faible inductance en utilisant un câble électrique traditionnel.

A partir d'une longueur de câble souple pourvu de 4 conducteurs avec un diamètre cuivre correspondant à la puissance de l'amplificateur (voir tableau N°3) relier en parallèle des deux conducteurs comme visible en fig.16.

A la place il est également possible de se procurer deux câbles plats bifilaires et les relier en parallèle comme visible fig.16 puis les accoler en les tenant joints avec un tour de ruban adhésif tous les 10 cm.

De cette manière vous obtiendrez un câble avec une inductance parasite qui peut varier d'un minimum de 0,25 à 0,4 microHenry par mètre, soit des caractéristiques analogues aux câbles pour haut-parleurs les plus onéreux.

