

COMPRENDRE, TROUVER, ET ÉLIMINER LES BOUCLES DE MASSE DANS LES SYSTÈMES AUDIO ET VIDÉO

Modèle générique de séminaire 2005

Instructeur

Bill Whitlock

président

Transformateurs Jensen, Inc.
Chatsworth, CA

Bill Whitlock conçoit des systèmes et des appareils électroniques audio et vidéo professionnels depuis 30 ans. En 1989, après sept ans chez Capitol Records, il a pris la présidence de Jensen Transformers. Il est devenu un expert reconnu en matière d'interface de systèmes grâce à ses écrits et à son enseignement. Son article de référence sur les interfaces équilibrées a été publié dans le AES Journal de juin 1995, qui est depuis devenu le plus populaire jamais imprimé. Parmi ses autres écrits, citons la colonne populaire "Clean Signals" du magazine S&VC, la colonne permanente "Clear Path" du magazine Live Sound, trois chapitres du "Handbook for Sound Engineers" de Glen Ballou, qui compte 1500 pages, et de nombreux autres articles de magazines et notes d'application Jensen. Depuis 1994, il a aidé des milliers de personnes à percer les mystères de la mise à la terre et de l'interfaçage des signaux en donnant des cours dans des salons professionnels, des universités et des organisations professionnelles. Bill est titulaire de plusieurs brevets, dont le circuit d'entrée symétrique InGenius® et le régulateur de tension alternative ExactPower® à correction de forme d'onde. Il est membre actif de l'Audio Engineering Society et membre senior de l'Institute of Electrical and Electronic Engineers.

TABLE DES MATIÈRES

0 - INTRODUCTION	3
0.1 - Qu'est-ce que	le silence ?
0.2 - Mythes sur la mise à la terre	et les câbles
1	
1.1 - Protection contre les	équipements défectueux
1.2 - Protection contre la	foudre
1.3 - Les faits	concernant AC Power
1.4 - Il n'y a pas que le	60 Hz
2 - INTERFACES AUDIO ASYMÉTRIQUES	10
2.1 Interfaces et impédances	11
2.2 Appariement et résiliation	11
2.3 Comment le bruit s'infiltre	11
2.4 - Trouver l'	interface
problème	12
2.5 Solutions	14
2.6 Où rompre la boucle	17
2.7 Plateaux de télévision par câble et par	satellite
2.8 - Isolation pour les	interfaces numériques
2.9 Choix des câbles	20
2.10 Une liste de contrôle	21
3 - INTERFACES AUDIO SYMÉTRIQUES	22
3.1 - Une question d'	équilibre
3.2 Pas de vérité dans la publicité	23
3.3 - Les problèmes de la broche 1	et le Hummer
3.4 - Trouver l'	interface problématique
3.5 Solutions	26
3.6 - À propos des câbles et des	connexions de blindage
3.7 Interfaces asymétriques à	symétriques
3.8 Interfaces symétriques à	asymétriques
4 - INTERFACES VIDÉO	31
4.1 - Le "Hum"	Bar "
4.2 - Trouver l'	interface problématique
4.3 Solutions	34
5 - INTERFÉRENCES RF ET TRAITEMENTS DES LIGNES ÉLECTRIQUES	37
5.1 Il nous entoure	37
5.2 Squelching RF	38
5.3 Mise à la terre technique	38
5.4 - Isolation électrique, filtres et "	alimentation équilibrée
5.5 Précautions relatives à la suppression des surtensions	40
RÉFÉRENCES	42
CONTACT INFO	43

0 -INTRODUCTION

"Un câble est une source de problèmes potentiels reliant deux autres sources de problèmes potentiels". Cette plaisanterie entre ingénieurs de systèmes électroniques vaut la peine d'être gardée à l'esprit. Tout *signal* accumule du **bruit** lorsqu'il circule dans les équipements et les câbles d'un système. Une fois que le bruit contamine un signal, il est pratiquement impossible de l'éliminer sans altérer ou dégrader le signal original. Pour cette raison, aucun système ne peut être plus silencieux que son maillon le plus bruyant. Le bruit et les interférences doivent être évités tout au long du trajet du signal. Transmettre un signal d'un boîtier à un autre peut sembler simple, mais lorsqu'il s'agit de bruit, c'est généralement l'**interface du** signal qui est la zone dangereuse, et non le traitement interne du signal de l'équipement.

De nombreux concepteurs et installateurs de systèmes audio/vidéo considèrent la mise à la terre et l'interfaçage comme un art noir. Combien de fois avez-vous entendu quelqu'un dire qu'un câble "capte" du bruit - vraisemblablement dans l'air comme un récepteur radio ? Ou que la solution est un "meilleur" blindage ? Même les fabricants d'équipements n'ont souvent pas la moindre idée de ce qui se passe **réellement**. Les règles les plus élémentaires de la physique sont régulièrement négligées, ignorées ou oubliées. Les cours d'électrotechnique des universités abordent rarement les questions pratiques de mise à la terre. En conséquence, *le mythe et la désinformation sont devenus une épidémie !* Ce cours vise à remplacer le mystère par la perspicacité et la connaissance.

0.1 - A QUEL POINT LE SILENCE EST-IL IMPORTANT ?

Le niveau de bruit et d'interférence tolérable dépend de la nature du système et de son utilisation. Un système de moniteurs dans un studio d'enregistrement doit évidemment être beaucoup plus immunisé contre le bruit de fond et les interférences qu'un système de radiomessagerie sur un chantier. La *gamme dynamique d'un système* est le rapport, généralement mesuré en dB, entre son signal de sortie maximal non déformé et son bruit de sortie résiduel ou *plancher de bruit*. Une gamme dynamique allant jusqu'à 120 dB peut être nécessaire pour les systèmes de sonorisation haute performance dans les habitations typiques[19]. [19] Dans les systèmes vidéo, un rapport signal/bruit de 50 dB est un seuil généralement accepté au-delà duquel aucune amélioration supplémentaire des images n'est perceptible, même par des spectateurs experts.

Bien entendu, une quantité prévisible de bruit "blanc" est **inhérente** à tous les appareils électroniques et doit être attendue. Le bruit blanc est statistiquement aléatoire et sa puissance est uniformément répartie sur la gamme de fréquences du signal. Dans un système audio, il ressemble à un "sifflement". Dans un système vidéo, il se manifeste par un mouvement granuleux ou de la "neige" dans l'image. L'excès de bruit aléatoire est généralement dû à une structure de gain inadéquate, qui ne sera pas abordée ici. Le bruit de fond, généralement entendu comme un bourdonnement, un buzz, des clics ou des pops dans les signaux audio ou vu comme des barres de bourdonnement ou des taches dans les signaux vidéo, est généralement beaucoup plus perceptible et irritant.

Les réductions de bruit de 10 dB sont généralement décrites comme "moitié moins fortes" et les réductions de 2 ou 3 dB comme "juste perceptibles".

0.2 - MYTHES SUR LA MISE À LA TERRE ET LES FILS

Au fur et à mesure du développement de l'électronique, les voies de retour communes de divers circuits ont *également* été appelées "masse", qu'elles soient ou non reliées à la terre. En outre, un seul circuit de terre sert le plus souvent, intentionnellement ou accidentellement, à plus d'un

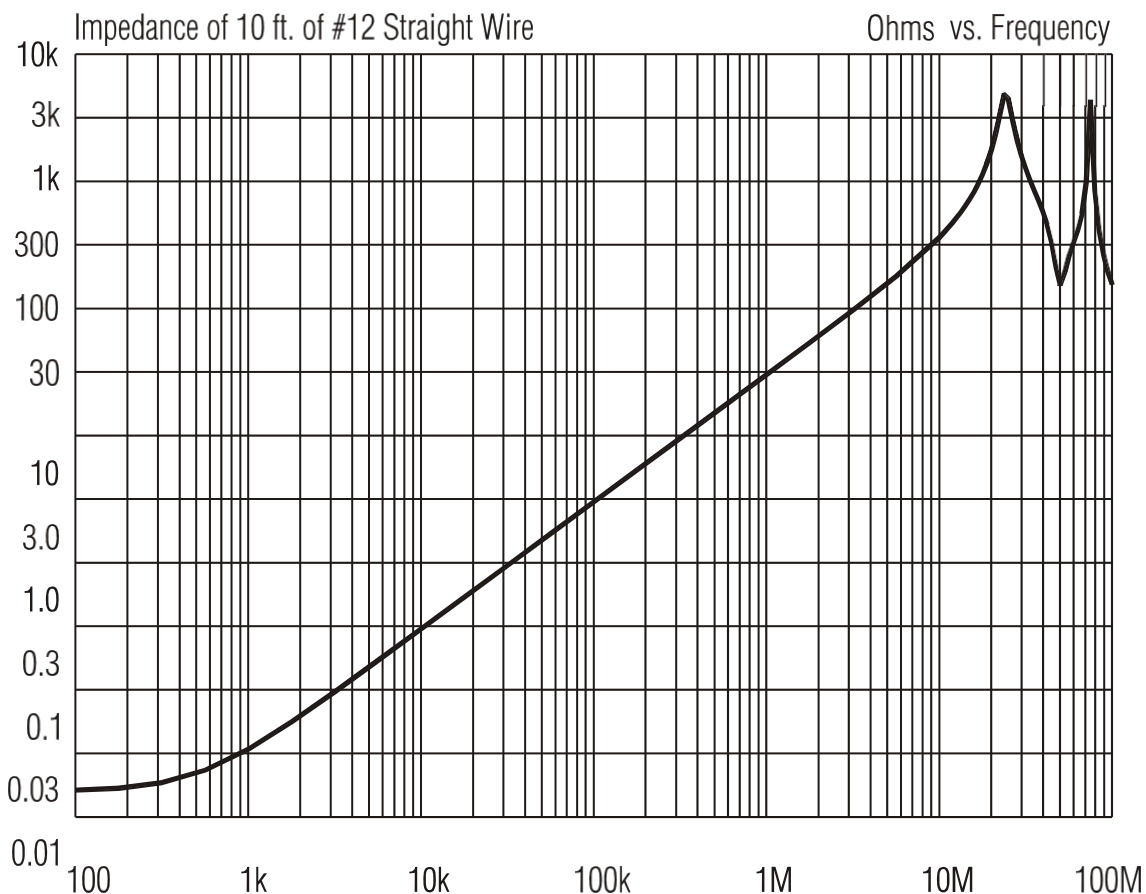
usage. Ainsi, la signification même du terme "**terre**" est devenue vague, ambiguë et souvent assez fantaisiste. Certains ingénieurs ont une forte envie de réduire ces différences de tension indésirables en les "court-circuitant" avec des conducteurs massifs - les résultats sont le plus souvent décevants. [D'autres ingénieurs pensent que le bruit du système peut être amélioré expérimentalement en trouvant simplement une "meilleure" ou une "plus silencieuse" terre. Beaucoup se laissent aller à penser que les courants de bruit peuvent être habilement dirigés vers une **terre**, où ils disparaîtront à jamais ! [9] Voici quelques mythes courants sur la mise à la terre :

Les masses de terre sont toutes à zéro volt - vraisemblablement les unes par rapport aux autres et par rapport à un point de référence "absolu mystique". Cela conduit à des idées fantaisistes selon lesquelles de nombreuses tiges de terre font disparaître les bruits du système ! En fait, la résistance du sol entre les tiges de terre est beaucoup plus élevée (souvent des dizaines d'ohms) qu'un fil entre elles.

Remarque : L'**impédance**, symbolisée par Z , est la résistance apparente en courant alternatif d'un circuit contenant une capacité et/ou une inductance en plus de la résistance pure.

Les fils ont une impédance nulle - et, par conséquent, peuvent étendre une référence de tension nulle à de nombreux endroits dans un système, éliminant ainsi les différences de tension. En fait, les fils sont assez limités :

- La **résistance en courant continu** d'un fil ne s'applique qu'aux très basses fréquences et est directement proportionnelle à sa longueur. Par exemple, la résistance de 10 pieds de fil de calibre 12 est d'environ 0,015 S.
- L'**inductance** d'un fil est presque indépendante de son diamètre (calibre) mais est directement proportionnelle à sa longueur et augmente au niveau des coudes ou des boucles. Notre fil de 10 pieds de calibre 12 a une impédance de 30 S à 1 MHz (bande de radiodiffusion AM) comme le montre le graphique. La substitution d'une tige de cuivre massif de ½ pouce de diamètre ne fait que légèrement baisser l'impédance à environ 25 S.
- Un fil résonne (devient une antenne) lorsque sa longueur physique est égale à un quart de longueur d'onde. Pour un fil de 10 pieds, cela signifie qu'il deviendra essentiellement un circuit ouvert à environ 25 MHz.



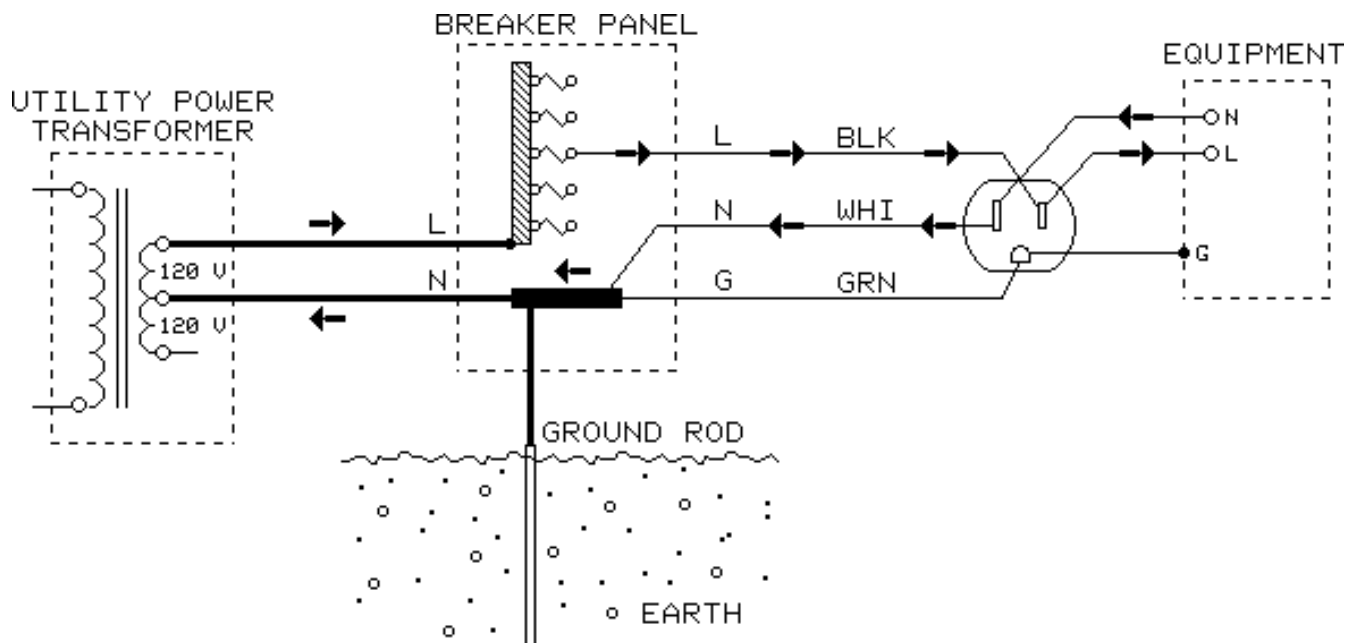
Les masses **terrestres** sont-elles vraiment nécessaires au fonctionnement d'un système à faible

bruit ? Pensez à toute l'électronique dans un avion !

1 - MISE À LA TERRE, ALIMENTATION EN COURANT ALTERNATIF ET SÉCURITÉ

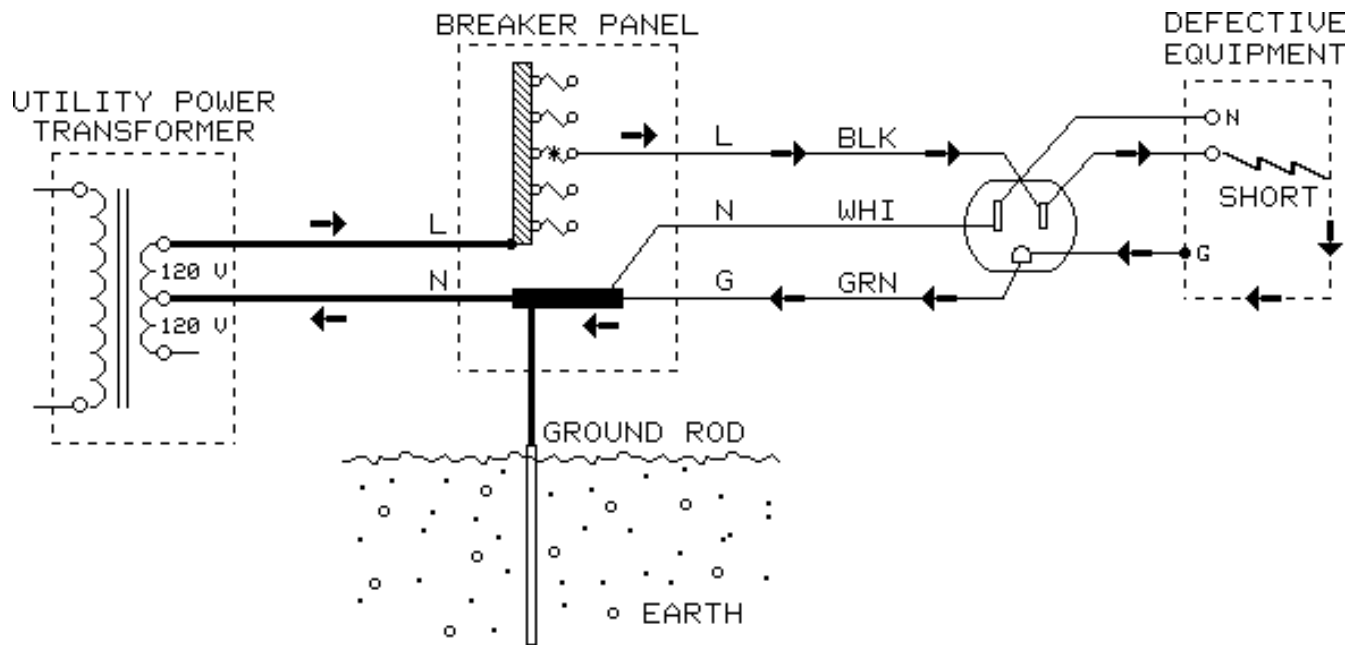
De manière générale, l'objectif de la mise à la terre est de relier électriquement des objets conducteurs, tels que des équipements, afin de minimiser les différences de tension entre eux. Une excellente définition générale est qu'une ***mise à la terre est simplement une voie de retour pour le courant***. Nous devons nous rappeler que le **courant retourne toujours à sa source** par un chemin intentionnel ou accidentel - *les électrons s'en moquent et ne lisent pas les schémas !* [1]

Le dessin suivant montre comment le courant alternatif est fourni par un "service à trois fils" à la charge d'une prise de courant (seuls deux des trois fils sont représentés dans le dessin pour des raisons de simplicité). L'un des fils d'arrivée, qui n'est souvent pas isolé, est le conducteur de *mise à la terre* ou "neutre". Le Code national de l'électricité exige que la distribution du courant alternatif de 120 volts (c'est-à-dire les "circuits de dérivation") dans les maisons et les bâtiments soit un système à trois fils. Les fils neutre (blanc) et de ligne (noir) font partie du circuit de courant de *charge* normal indiqué par les flèches. Notez que les fils du neutre (blanc) et de la terre de sécurité (vert) de chaque circuit de dérivation sont liés ou "collés" l'un à l'autre et à une tige de mise à la terre au niveau du branchement.



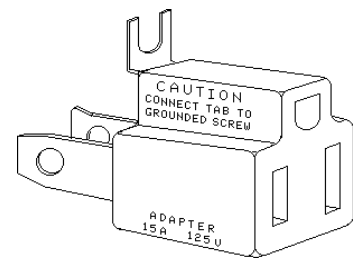
1.1 - PROTECTION CONTRE LES ÉQUIPEMENTS DÉFECTUEUX

Tout appareil alimenté par une ligne de courant alternatif et comportant des parties conductrices exposées (y compris les connecteurs de signaux) peut présenter un risque de choc ou d'électrocution s'il présente certains défauts internes. Par exemple, l'*isolation* est utilisée dans les transformateurs de puissance, les interrupteurs, les moteurs et d'autres pièces internes pour garder l'électricité là où elle doit être. Mais, pour diverses raisons, l'isolation peut se rompre et connecter effectivement le courant "sous tension" au métal exposé, comme le montre le dessin. Ce type de défaut s'appelle une **panne**.



Par exemple, si le moteur d'une machine à laver surchauffe et que son isolation se rompt, le boîtier de la machine peut prendre la pleine tension du secteur. Une personne qui toucherait accidentellement la machine et tout ce qui est mis à la terre, comme un robinet d'eau, en même temps, pourrait être sérieusement choquée ou électrocutée. Pour éviter cela, de nombreux appareils sont équipés d'un troisième fil reliant le métal exposé à la broche de terre de sécurité de leur fiche. La mise à la terre de sécurité de la prise est acheminée, par le biais du fil vert ou d'un conduit métallique, vers le conducteur **neutre** du panneau de disjoncteurs principal. Cette connexion à faible impédance au **neutre** permet au courant de défaut élevé de circuler, ce qui déclenche rapidement le disjoncteur et coupe l'alimentation du circuit. Pour fonctionner correctement, la **TERRE DE SÉCURITÉ DOIT RETOURNER AU NEUTRE**. Notez que la connexion à la terre n'a absolument rien à voir avec ce processus !

N'utilisez JAMAIS, JAMAIS des dispositifs tels que des adaptateurs de prise de courant à 3 ou 2 broches, aussi appelés " releveurs de terre ", pour résoudre un problème de bruit !



Un tel adaptateur est destiné à **fournir une** mise à la terre de sécurité (lire les petits caractères) dans les cas où

Les fiches à 3 broches doivent être connectées à des prises à 2 broches. Si une mise à la terre appropriée n'est pas disponible, utilisez toujours un circuit à défaut de terre.

ou GFCI. Un GFCI fonctionne en détectant la différence de courant entre les conducteurs de la ligne et du neutre. Cette différence représente le courant dans le conducteur chaud qui **ne** revient **pas** dans le neutre - l'hypothèse est que le courant manquant circule dans une personne. Si la différence atteint environ 5 mA, un disjoncteur interne est déclenché. Le disjoncteur de fuite à la terre illustré à gauche est inhabituel car il possède une broche de terre rétractable qui lui permet d'être utilisé avec une prise à deux broches. [5]

Prenons l'exemple de deux appareils reliés par un câble de signal, chaque appareil étant équipé d'une prise de courant à trois broches. L'un des appareils est équipé d'un dispositif de mise à la terre sur sa fiche CA, mais pas l'autre. Si un défaut se produit dans l'appareil "soulevé", le courant de **défaut** circule dans le câble de **signal** pour atteindre l'appareil mis à la terre. Il est très probable que le câble fonde et brûlera ! **Ne pas respecter la mise à la terre de sécurité est à la fois dangereux et illégal - et vous rend légalement responsable !**

Les équipements audio et vidéo grand public **ont électrocuté** 9 personnes aux États-Unis en 1997, dernière année pour laquelle des statistiques sont disponibles. La même année, ces équipements ont provoqué 1 900 **incendies** résidentiels qui ont fait 110 **blessés** civils, 20 morts et plus de 30 millions de dollars de pertes matérielles. [6] [7]

La résistance de la peau humaine sèche est suffisamment élevée pour permettre de toucher légèrement un conducteur sous tension de 120 volts, mais l'humidité normale de la peau permet au courant de circuler davantage, tout comme l'augmentation de la surface de contact et de la pression. C'est le courant qui détermine la gravité du choc électrique. À 1 mA ou moins, il s'agit simplement d'un picotement désagréable.

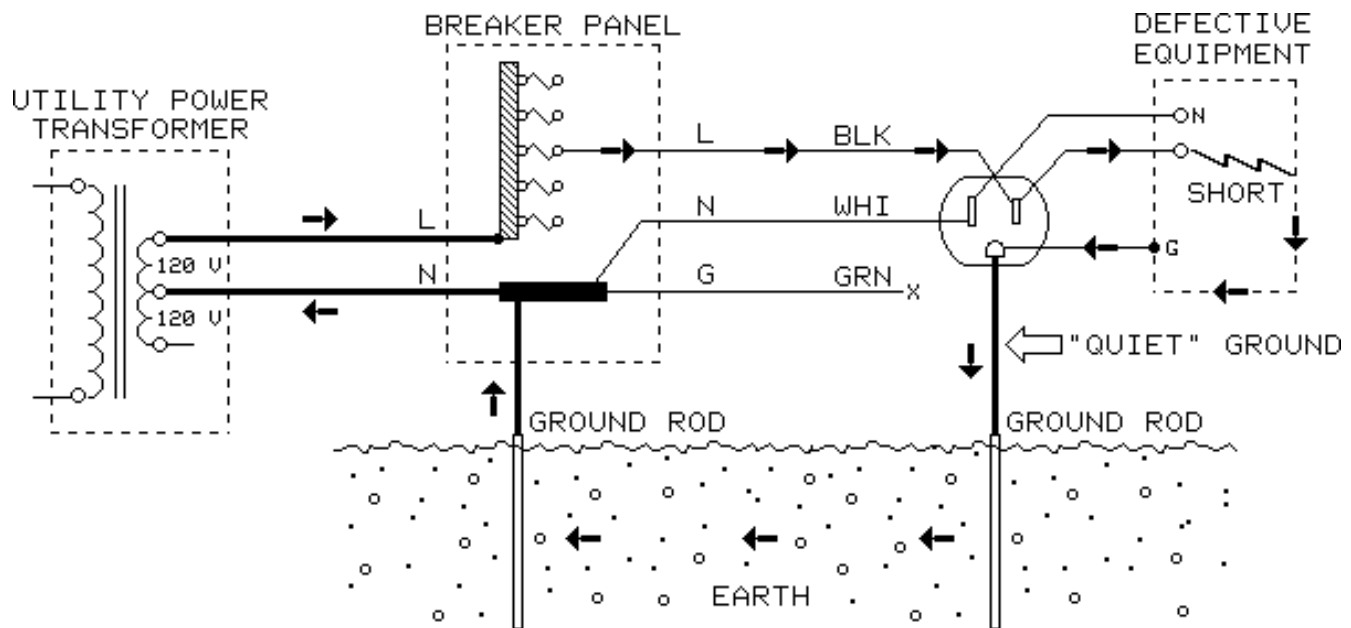
Mais à environ 10 mA, des contractions musculaires involontaires peuvent entraîner une "prise de la mort" - ou une suffocation si le courant traverse la poitrine. Des courants de 50 à 100 mA à travers la poitrine induisent généralement

une fibrillation ventriculaire qui entraîne la mort. **Ayez toujours un respect sain pour l'électricité !**



1.2 - PROTECTION CONTRE LA FOUDRE

Une terre de **TERRE** est une terre réellement reliée à la terre et est nécessaire pour la protection contre la **foudre**. Les lignes électriques aériennes sont des cibles fréquentes de la foudre. Avant l'existence de normes modernes telles que le Code, les lignes électriques dirigeaient efficacement les coups de foudre vers les bâtiments, provoquant des incendies et tuant des personnes. Par conséquent, la quasi-totalité de l'énergie électrique moderne est distribuée par des lignes dont un conducteur est relié périodiquement à la terre sur toute leur longueur. Ces lignes, ainsi que la mise à la terre du panneau d'entrée de service, constituent des voies faciles et à faible impédance pour décharger les coups de foudre avant qu'ils ne puissent pénétrer dans le bâtiment. Les câbles de téléphone, de télévision par câble et de télévision par satellite doivent également "arrêter" l'énergie de la foudre avant qu'elle ne pénètre dans un bâtiment. Un autre avantage de la connexion de la terre de sécurité à la terre est que, lors d'un défaut d'équipement, seuls quelques volts seront présents sur les parties exposées de l'appareil défectueux par rapport aux autres objets mis à la terre.



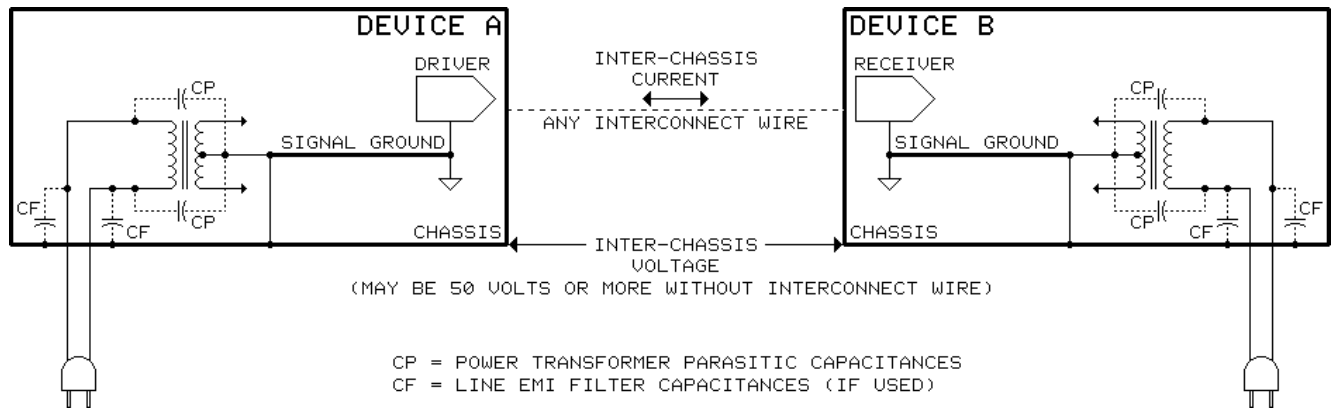
Puisque le sol a une résistance comme tout autre conducteur, les connexions à la terre **ne** sont **pas** à zéro volt, les unes par rapport aux autres ou par rapport à tout autre point de référence mystique ou "absolu". Le code permet à la résistance à la terre (mesurée avec des techniques spéciales) d'une tige de terre résidentielle d'être aussi élevée que 25 S. C'est beaucoup trop élevé pour déclencher le disjoncteur dans des conditions de défaut dans la connexion dangereuse montrée ci-dessus (prétendument une terre d'équipement "plus silencieuse"). La résistance du sol entre des piquets de terre séparés peut également permettre à des milliers de volts de se développer entre eux si un courant de foudre devait effectivement circuler dans l'un d'eux. Cela peut sérieusement endommager un modem d'ordinateur, par exemple, s'il est "à cheval" sur un ordinateur (relié par son cordon d'alimentation à la tige de terre du service public) et une ligne téléphonique protégée par une tige de terre séparée. [C'est pourquoi les autres mises à la terre de protection (téléphone, CATV, etc.) doivent être effectuées sur la même tige que celle utilisée pour l'alimentation électrique, dans la mesure du possible. Si plusieurs tiges de mise à la terre sont utilisées, le Code exige qu'elles **soient** toutes reliées à l'électrode principale de mise à la terre du service public[4]. [4]

1.3 - LA RÉALITÉ DE L'ALIMENTATION EN AC

La plupart des systèmes sont constitués d'au moins deux appareils qui fonctionnent sur le courant alternatif du réseau. Bien que le ronflement et d'autres problèmes soient souvent attribués à une mise à la terre inadéquate, dans la plupart des cas, la mise à la terre du système n'a rien d'"inadéquat". Un système de distribution d'électricité en courant alternatif correctement installé et conforme au code développera de petites différences de tension tout à fait sûres entre les masses de sécurité de toutes les prises. En général, les différences de tension les plus faibles (quelques millivolts) existent entre des prises physiquement *proches* sur le *même* circuit de dérivation et les plus élevées (jusqu'à plusieurs volts) existent entre des prises physiquement *éloignées* sur des circuits de dérivation *différents*. Ces tensions normalement insignifiantes ne causent des problèmes que lorsqu'elles existent entre des points vulnérables d'un système - ce qui est plus malheureux qu'inapproprié.

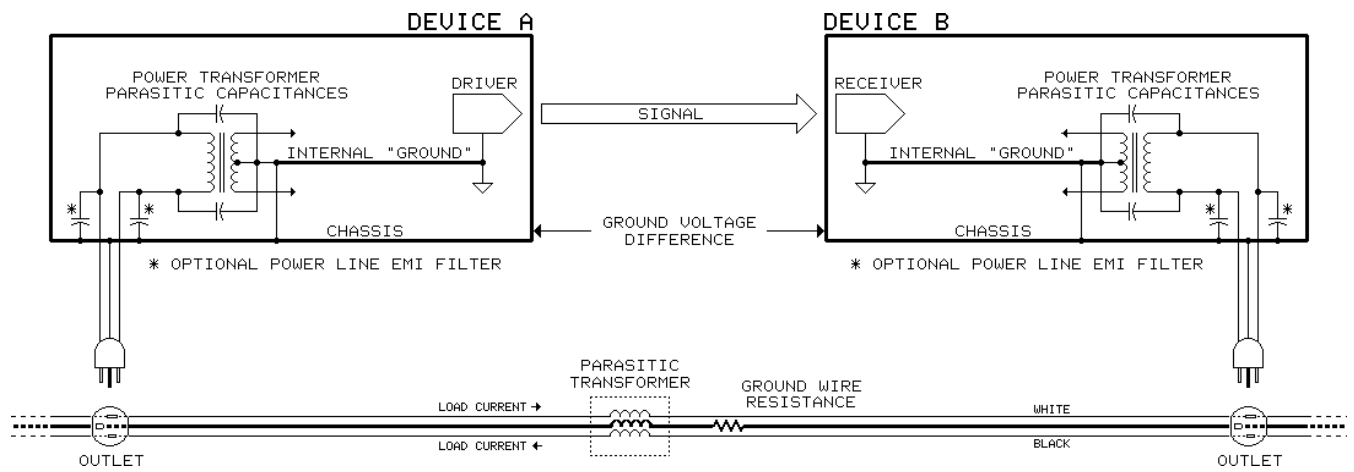
Dans tout équipement réel, il existe des **capacités parasites** entre la ligne électrique et la terre de l'équipement. Il s'agit des inévitables capacités inter-enroulements du transformateur d'alimentation qui **ne** sont *jamais* indiquées sur les schémas. En particulier si l'équipement

contient des éléments numériques, des filtres d'interférence électromagnétique (EMI) internes viennent s'ajouter à la capacité. Ces capacités permettent au **courant de fuite de** circuler entre la ligne d'alimentation et le châssis/la terre à l'intérieur de chaque équipement.



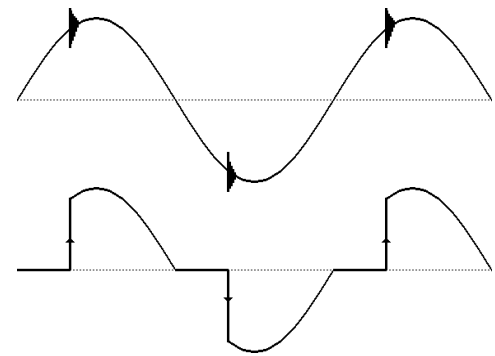
Dans les appareils non mis à la terre (c'est-à-dire les prises de courant alternatif à deux broches) approuvés par UL, ce courant est limité à 0,75 mA. Ces équipements intègrent un certain nombre de mécanismes de protection afin qu'ils restent sûrs malgré les défaillances des composants internes, les surcharges et les manipulations brutales. Comme cet équipement n'est pas mis à la terre, son châssis (ou ses connexions d'entrée/sortie) peut assumer des tensions relativement élevées par rapport au système de mise à la terre. Bien qu'un voltmètre puisse indiquer une tension bien supérieure à 50 volts, le courant disponible est faible et ne provoquera qu'un léger picotement s'il traverse une personne. Cependant, toute connexion entre deux appareils de ce type ou entre un appareil de ce type et un appareil mis à la terre transportera ce courant de fuite. **Nous devons accepter ce fait comme une réalité.**

Dans les appareils mis à la terre approuvés par UL (c'est-à-dire les fiches d'alimentation en courant alternatif à trois broches), le courant de fuite est limité à 5 mA. Il circule dans la terre de sécurité et s'accumule dans un circuit de dérivation, générant de petites chutes de tension dans la résistance du câblage. Cependant, pour les équipements mis à la terre, les effets du courant de fuite sont généralement insignifiants par rapport aux différences de tension entre les prises de terre. Des tensions substantielles sont *magnétiquement induites* dans le câblage de mise à la terre des locaux par l'annulation imparfaite des champs magnétiques qui entourent les deux conducteurs porteurs de courant de charge. Les tensions induites les plus élevées se produisent généralement avec des fils individuels lâches dans un conduit en acier, ce qui augmente l'efficacité magnétique du transformateur parasite. Des tensions induites beaucoup plus faibles sont généralement produites par la géométrie uniforme des conducteurs du Romex® ou d'un câble collé similaire. Dans tous les cas, une différence de tension de terre faible mais significative (1 volt n'est pas inhabituel) existera entre le châssis ou la "terre" locale de deux pièces d'équipement mises à la terre en toute sécurité. **Nous devons également accepter ce fait comme une réalité.**



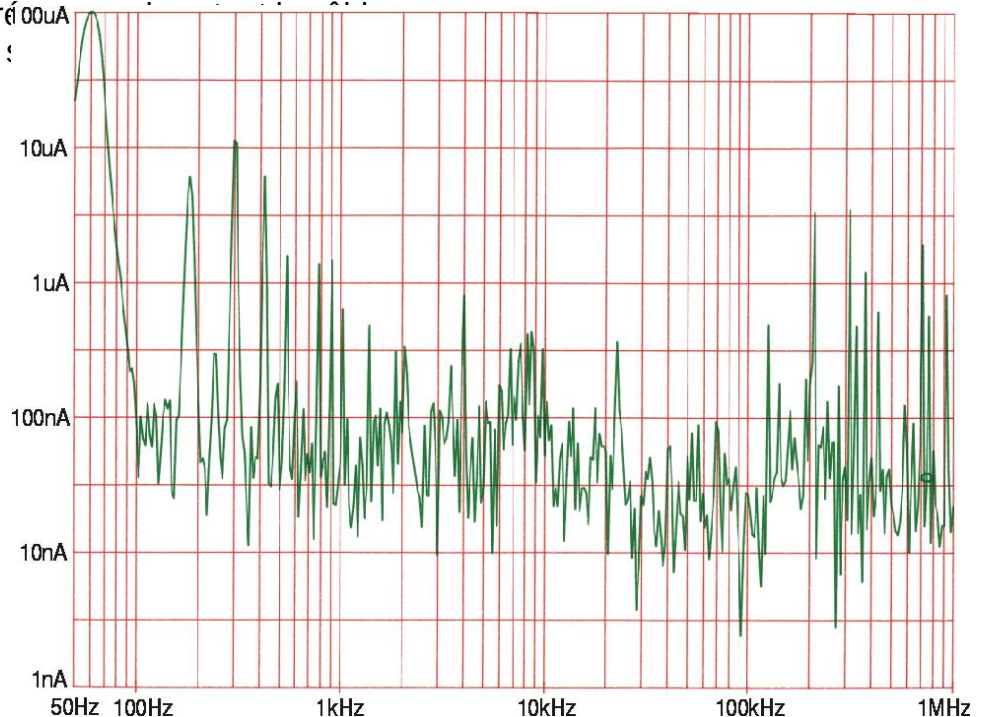
1.4 - CE N'EST PAS SEULEMENT 60 HZ

La tension du réseau électrique se compose **normalement** d'un large spectre d'harmoniques et de bruit en plus de l'onde sinusoïdale pure de 60 Hz. Le bruit est créé par les alimentations des équipements électroniques, les lampes fluorescentes, les variateurs de lumière et les charges intermittentes ou à étincelles telles que les interrupteurs, les relais ou les moteurs à balais (mixeurs, aspirateurs, etc.). Le dessin de droite montre comment les changements soudains du courant de charge causés par un gradateur d'éclairage à commande de phase ordinaire génèrent du bruit de ligne électrique à haute fréquence. À haute fréquence, le câblage électrique d'un bâtiment se comporte comme un système de lignes de transmission mal terminées et deviennent folles, réfléchissant l'énergie haute fréquence du bâtiment jusqu'à ce qu'elle : rayonnée.



Supérieur = Tension
de ligne Inférieur =
Courant de lampe

Le graphique de droite montre le spectre du courant de fuite (bruit) dans une capacité parasite de 3 nF alimentée par une prise de courant alternatif typique. Les harmoniques de 60 Hz, presque entièrement d'ordre impair en raison de la distorsion "flat-top" de la tension de la ligne électrique, sont ce qui donne au "buzz" son caractère sonore. Notez combien d'énergie existe au-dessus de 100 kHz, y compris la radio AM.



2 - INTERFACES AUDIO ASYMÉTRIQUES

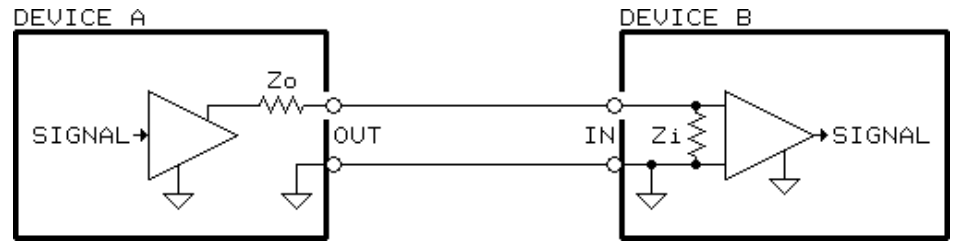
Le prix d'un équipement audiophile haut de gamme peut laisser penser que sa conception est à la pointe du progrès. Les fabricants vantent souvent des mesures de performance très impressionnantes. Mais, comme ces mesures sont effectuées en laboratoire, elles ne révèlent rien des problèmes de bruit qui ne sont que trop courants dans les systèmes réels.

Malheureusement, la plupart des appareils audiophiles et pratiquement tous les appareils audio grand public utilisent encore des interfaces **asymétriques** qui sont par nature *extrêmement sensibles au* bruit des lignes électriques. Cela semble ironique si l'on considère que le rapport signal/bruit des programmes disponibles n'a cessé d'augmenter au cours des 50 dernières années.

2.1 - INTERFACES ET IMPÉDANCES

Une **interface** est un sous-système de transport de signaux composé d'un **pilote de ligne** (sortie d'un dispositif), de la **ligne** ou du câble lui-même, et d'un **récepteur de ligne** (entrée d'un autre dispositif). Une interface peut être **asymétrique** ou **symétrique**,

en fonction **uniquement** des **impédances** (par rapport à la terre) des deux conducteurs de la ligne. Comme indiqué ci-dessus, dans une interface **déséquilibrée**, un conducteur est mis à la terre (impédance nulle) et l'autre a une impédance plus élevée.



Chaque **pilote** possède une impédance interne appelée **impédance de sortie**, représentée par Z_o . Pour des raisons pratiques, les sorties des équipements réels n'ont pas une impédance de sortie nulle. De même, chaque **récepteur possède une** impédance interne appelée **impédance d'entrée**, représentée par Z_i . Pour des raisons pratiques, les entrées des équipements réels n'ont pas une impédance d'entrée infinie.

Lorsqu'une sortie est connectée à une entrée, l'impédance de sortie du pilote et l'impédance d'entrée du récepteur forment un **circuit en série**. Comme le courant est le même dans toutes les parties d'un circuit en série mais que les chutes de tension sont proportionnelles à l'impédance, on l'appelle parfois un **diviseur de tension**. Ainsi, pour transférer la **tension** maximale du signal, Z_i doit être beaucoup plus grand que Z_o . Dans un équipement typique, Z_o est compris entre 100 Ω et 1 k Ω et Z_i entre 10 k Ω et 100 k Ω . Cela permet de transférer 90 % à 99,9 % de la tension de signal disponible.

Une faible impédance de sortie est importante ! L'impédance de *sortie* est souvent confondue avec l'impédance de *charge* et est souvent absente des fiches techniques des fournisseurs. Parfois, "20 k Ω minimum load impedance" est la seule spécification pour une sortie - et elle n'est pas très utile !

2.2 - CORRESPONDANCE ET TERMINAISON

Une idée fausse très répandue est que les sorties et les entrées *audio* doivent être **adaptées en termes d'impédance**. La théorie des circuits nous dit que lorsque les impédances de la source et de la charge sont identiques, la **puissance** transférée est maximale. Bien qu'utile dans certains systèmes de traitement passif du signal, ce concept ne s'applique PAS aux interfaces de signaux audio modernes. Leur but est de transférer de la **tension**, pas de la puissance ! Si l'on fait correspondre Z_i à Z_o , la moitié de la tension du signal est perdue et la sortie alimente une charge inutilement lourde.

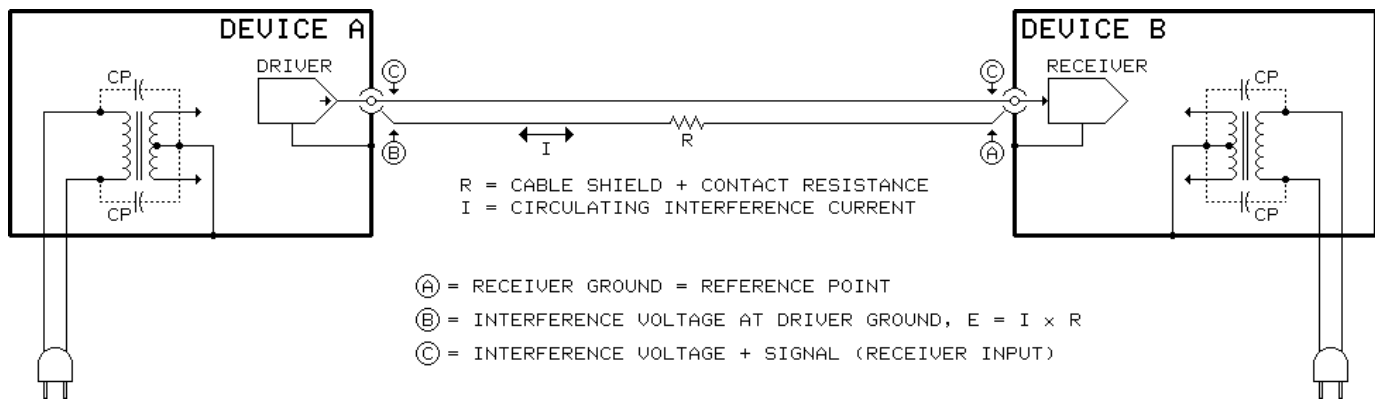
Cependant, l'adaptation d'impédance ou la **terminaison** est nécessaire pour les câbles vidéo et RF car les signaux ont des longueurs d'onde beaucoup plus courtes ! En règle générale, les câbles commencent à présenter des effets de "ligne de transmission" lorsque leur longueur physique représente 10% ou plus d'une **longueur d'onde** à la fréquence la plus élevée du signal. C'est le cas des câbles vidéo de plus de quelques pieds de long et des câbles CATV de plus de quelques pouces de long. Pour éviter les réflexions d'énergie d'une extrémité du câble à

l'autre, les impédances de la source d'alimentation et de la charge de réception à chaque extrémité physique du câble doivent correspondre à l'**impédance caractéristique** du câble. De telles réflexions provoquent des "fantômes" ou des "anneaux" visibles dans les images vidéo. Pour les câbles AUDIO, la terminaison n'est PAS nécessaire, sauf si les câbles mesurent plus de 4 000 pieds de long !

2.3 - COMMENT LE BRUIT S'INFILTRE

Avec les appareils *non mis à la terre*, le courant de fuite des lignes électriques circule dans le conducteur de signal mis à la terre[10]. [Comme ce conducteur a une résistance, une petite tension de bruit est générée sur sa longueur. Comme l'interface est un circuit en série, cette tension de bruit est *directement ajoutée* au signal arrivant à l'interface.

récepteur. Étant donné que l'impédance du conducteur mis à la terre est "commune" aux deux trajets de courant du signal et du bruit, ce mécanisme est appelé ***couplage à impédance commune***.



Prenons l'exemple d'un câble d'interconnexion de 25 pieds avec un blindage en feuille et un fil de drainage de calibre 26 AWG. D'après les tableaux de fils standard (ou les mesures réelles), la résistance du blindage est de 1,0 S. La *résistance du conducteur interne est insignifiante et n'est pas abordée ici*. Si le courant de fuite est de 316 :A, la tension de bruit sera de 316 :V. Puisque le niveau de référence de ! 10 dBV pour les appareils audio grand public est de 316 mV, le bruit ne sera que de $20 \times \log(316 :V \div 316 \text{ mV}) = ! 60 \text{ dB}$ par rapport au signal. Pour la plupart des systèmes, il s'agit d'un rapport signal/bruit *très faible*. En remplaçant le câble par un Belden #8241F, par exemple, on réduirait la résistance du blindage à 0,065 S et le bruit d'environ 24 dB !

Le couplage par impédance commune peut devenir très grave dans une interface déséquilibrée entre deux dispositifs *mis à la terre*. Toute différence de tension de terre développée dans le câblage du bâtiment, qui varie généralement de quelques millivolts à un volt, est effectivement appliquée aux extrémités du conducteur de signal mis à la terre, généralement le blindage du câble. Les différences de tension de terre peuvent être encore plus élevées entre le système de mise à la terre de l'alimentation et une autre connexion de terre, telle qu'une alimentation CATV. Dans les systèmes audio, cela se traduit par un grave problème de ronflement.

2.4 - TROUVER L'INTERFACE DU PROBLÈME

Dans des conditions fortuites, les systèmes peuvent être raisonnablement silencieux malgré de mauvaises techniques. Mais en fin de compte, c'est la physique qui prime et des bruits peuvent apparaître sans raison ***apparente*** ! Si nous comprenons comment les systèmes et interfaces de mise à la terre fonctionnent réellement et comment les bruits se transforment en signaux, la recherche et la résolution des problèmes deviennent simples et logiques.

L'aspect le plus important du dépannage est peut-être la façon dont vous envisagez le problème (ou si vous l'envisagez). Sans une approche ***méthodique***, la recherche de problèmes de bruit peut être à la fois frustrante et chronophage. Par exemple, ne tombez pas dans le piège qui consiste à penser que quelque chose ne peut pas être le problème simplement parce que vous l'avez toujours fait de cette façon. N'oubliez pas que les choses qui "ne peuvent pas mal tourner" tournent mal ! De plus, les problèmes qui disparaissent d'eux-mêmes ont aussi tendance à réapparaître d'eux-mêmes !

Ne commencez pas par changer les choses ! Parce que de nombreux problèmes se révèlent d'eux-mêmes si l'on réunit suffisamment d'indices, rassemblez le plus d'informations possible avant de changer quoi que ce soit.

Posez des questions ! Bob Pease, le gourou du dépannage, suggère ces principes de base :

A-t-il déjà fonctionné correctement ? Quels symptômes vous indiquent qu'il ne fonctionne pas correctement ? Quand a-t-il commencé à mal fonctionner ou s'est-il arrêté de fonctionner ? Quels autres symptômes sont apparus juste avant, juste après ou en même temps ? [20]

Soyez attentif aux indices provenant de l'équipement lui-même ! Le fonctionnement des commandes de l'équipement, ainsi qu'une logique simple, peuvent fournir des indices très précieux. Par exemple, si le bruit n'est pas affecté par les commandes de l'équipement, il est possible d'obtenir des informations sur le fonctionnement de l'équipement.

Si le bruit est éliminé par le réglage d'une commande ou d'un sélecteur de volume, la logique veut qu'il entre dans le circuit du signal après cette commande. Si le bruit peut être éliminé en baissant le volume ou en sélectionnant une autre entrée, il doit entrer dans le trajet du signal avant cette commande.

Notez tout ! Une mémoire imparfaite peut faire perdre beaucoup de temps.

Esquissez un schéma fonctionnel du système ! Montrez tous les câbles d'interconnexion des signaux, y compris les câbles numériques et RF, et indiquez leur longueur approximative. Marquez toutes les entrées ou sorties symétriques. En général, les paires stéréo peuvent être indiquées par une seule ligne. Notez tout équipement mis à la terre via sa fiche d'alimentation à trois broches. Notez toute autre connexion de mise à la terre, comme les antennes de télévision par câble ou les antennes DSS.

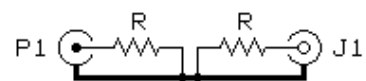
Travaillez à l'envers dans le système ! En règle générale, et à moins que des indices ne suggèrent un autre point de départ, commencez toujours par les entrées des amplificateurs de puissance (pour les systèmes audio) ou l'entrée du moniteur (pour les systèmes vidéo) et testez séquentiellement les interfaces en remontant vers les sources de signaux. Des adaptateurs de test faciles à construire ou des "mannequins" permettent au système de se tester lui-même et de localiser le point d'entrée exact du bruit ou des interférences. En plaçant temporairement les mannequins à des endroits stratégiques de l'interface, on obtient également des informations précises sur la nature du problème.

Les tests peuvent identifier spécifiquement :

- Couplage à impédance commune dans les câbles asymétriques (grande majorité des problèmes),
- Captage magnétique ou électrostatique par le câble de champs proches, ou
- Couplage par impédance commune à l'intérieur d'un équipement défectueux (voir 3.3 pour plus de détails).

Les mannequins sont fabriqués à partir de connecteurs standard câblés comme indiqué à droite. ILS NE PASSENT PAS DE SIGNAL, alors assurez-vous qu'ils sont clairement identifiés et qu'ils ne sont pas accidentellement installés de façon permanente dans un système ! **Faites très attention à ne pas endommager les enceintes ou les oreilles !** Le moyen le plus sûr d'éviter les problèmes est d'éteindre le ou les amplificateurs de puissance avant de reconfigurer les câbles pour chaque étape du test.

Unbalanced Interfaces



For Audio RCA

P1 = Switchcraft 3502 Plug

J1 = Switchcraft 3503 Jack

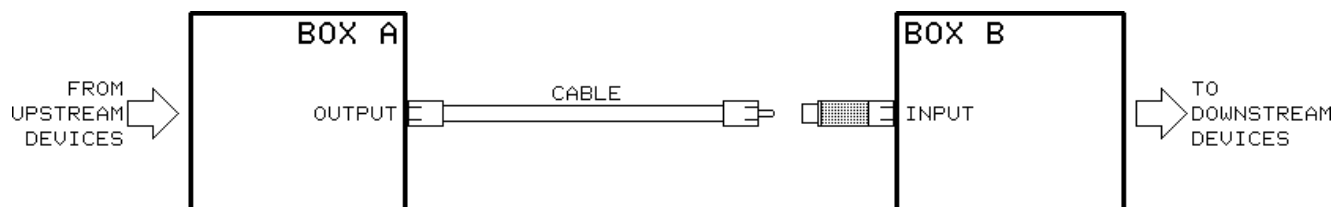
R = 1 k Ω , 5%, 1/4 W Resistor

For Audio 2C Phone

Use Switchcraft 336A and 345A
Adapters with RCA version

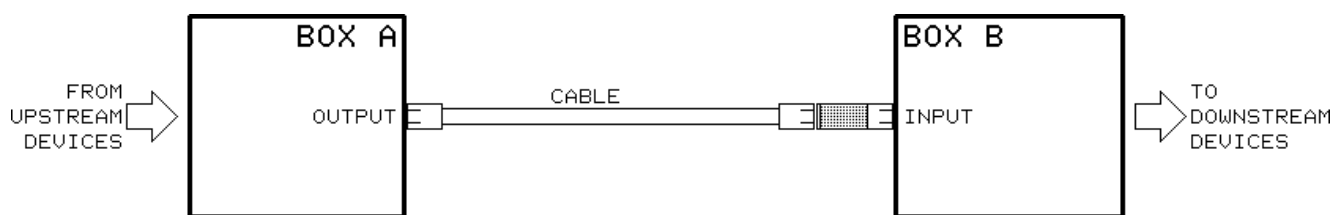
Chaque interface de signal est testée en utilisant la procédure suivante en quatre étapes :

ÉTAPE 1 - Débranchez le câble de l'entrée de la boîte B et branchez uniquement le mannequin.



La sortie est silencieuse ? **Non** - Le problème se situe soit dans la boîte B, soit plus en aval.
 Oui - Passez à l'étape suivante.

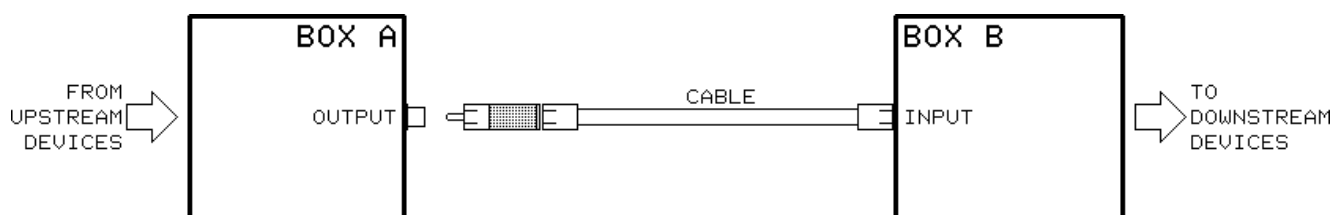
ÉTAPE 2 - En laissant le mannequin en place à l'entrée de la boîte B, branchez le câble dans le mannequin.



Sortie silencieuse ? **Non** - La boîte B a un "problème de broche 1" interne. Le test du hummer peut le confirmer.

Oui - Passez à l'étape suivante.

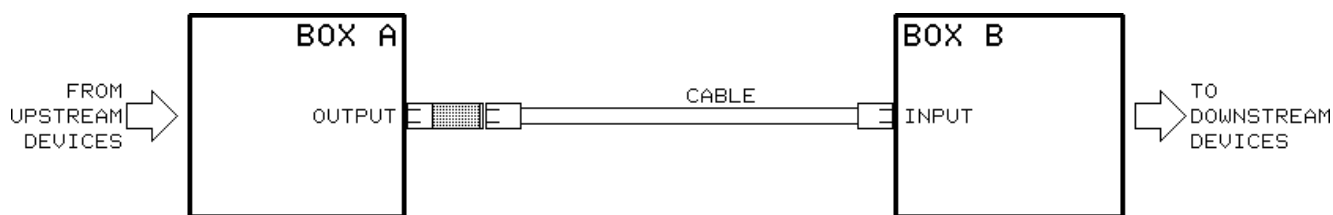
ÉTAPE 3 - Retirez le mannequin et branchez le câble dans l'entrée du boîtier B. Débranchez l'autre extrémité du câble du boîtier A et branchez-le dans le mannequin. *Veillez à ce que le mannequin ne touche rien de conducteur.*



La sortie est silencieuse ? **Non** - Du bruit est induit dans le câble. Redirigez-le pour éviter les champs d'interférence.

Oui - Passez à l'étape suivante.

ÉTAPE 4 - En laissant le mannequin en place sur le câble, branchez le mannequin sur la sortie du boîtier A.

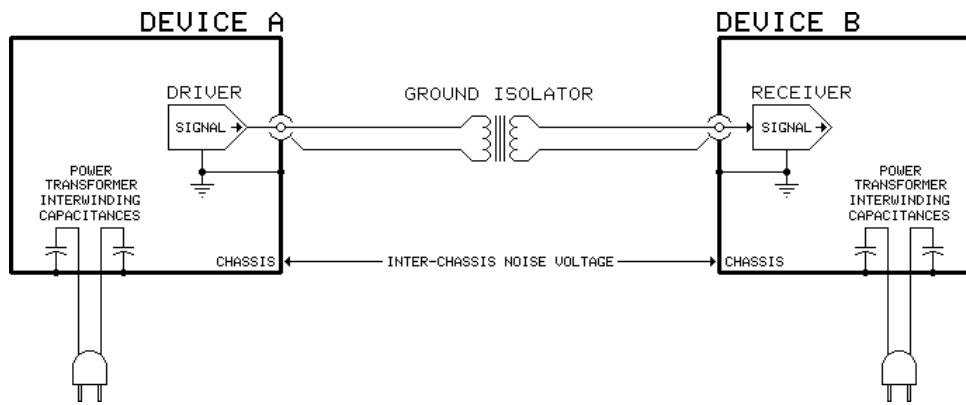


Sortie silencieuse ? **Non** - Le problème est le couplage par impédance commune. Installez un isolateur dans le trajet du signal.

Oui - Le bruit provient de la sortie de la boîte A. Effectuez la séquence de test à l'interface amont suivante. Répétez si nécessaire jusqu'à ce que le problème soit trouvé.

2.5 - SOLUTIONS

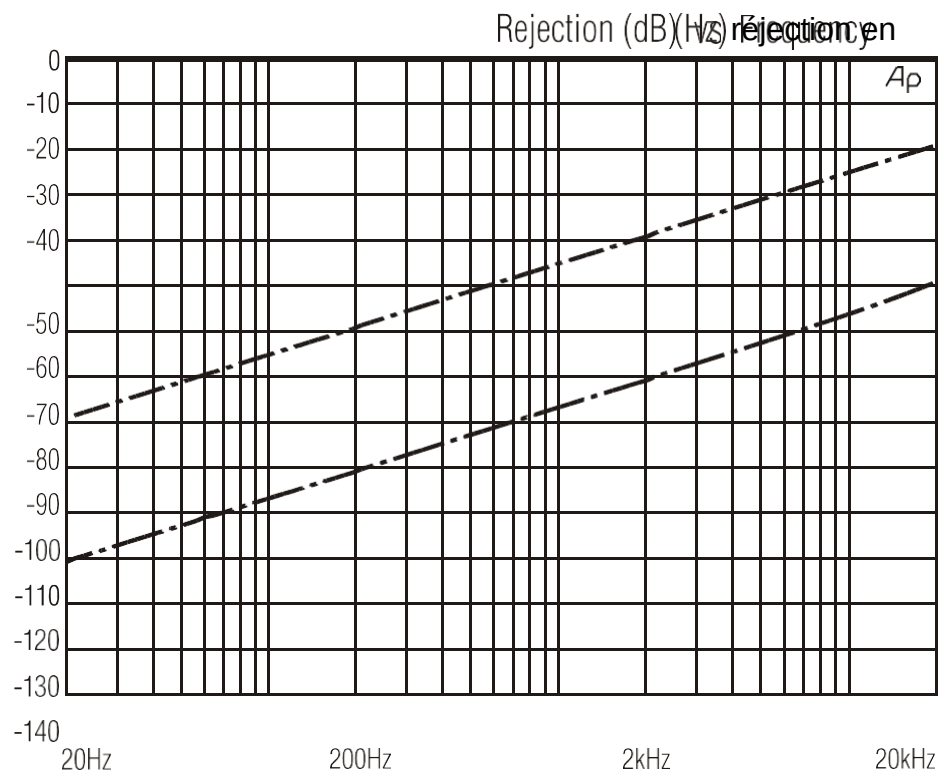
Les dispositifs appelés "isolateurs de terre" résolvent le problème fondamental des interfaces non équilibrées. En gros, il s'agit de dispositifs à réponse différentielle avec une réjection élevée du mode commun. Un isolateur **n'est PAS UN FILTRE** qui peut magiquement reconnaître et éliminer le bruit lorsqu'il est placé *n'importe où* dans le trajet du signal. Pour résoudre le problème, **un isolateur doit être installé dans le trajet du signal au point où le couplage du bruit se produit réellement.**



Les transformateurs sont d'excellents isolateurs de terre. Ils transfèrent la tension du signal d'un enroulement à l'autre *sans aucune connexion électrique* entre eux. Cela ouvre le chemin du courant de bruit qui, autrement, circulerait entre les dispositifs.

En théorie, comme aucun courant de bruit ne circule dans le câble, le couplage de bruit est *complètement* éliminé. Mais en pratique, la réduction du bruit de fond dépend essentiellement du *type de transformateur* utilisé. Il existe deux types de base de transformateurs audio. Le premier type, dit de **sortie**, place les enroulements primaires et secondaires très près les uns des autres. La capacité considérable ainsi formée permet au courant de bruit de se coupler entre les enroulements, surtout aux fréquences audio élevées. Bien entendu, ce courant couple le bruit au signal lorsqu'il circule dans le blindage du câble. Le deuxième type, dit d'**entrée**, place un blindage entre les enroulements. Appelé **bouclier de Faraday** (*et non bouclier magnétique*), il élimine efficacement le couplage capacitif entre les enroulements, améliorant ainsi considérablement la réjection du bruit.

Le graphique montre le bruit fonction de la fréquence pour un interface asymétrique typique. L'impédance de sortie du dispositif A est 600 S et l'impédance d'entrée du dispositif B est 50 kS. Par définition, sans isolateur, il y a 0 dB de réjection dans une interface non équilibrée, comme le montre le graphique du haut. Le graphique du milieu montre un isolateur typique utilisant un transformateur de **sortie**. Bien qu'il réduise le bourdonnement à 60 Hz de 70 dB, les artefacts autour de 3 kHz ne sont réduits que de 35 dB. Le graphique du bas montre un isolateur typique utilisant un transformateur d'**entrée**. Sa réjection est supérieure à 100 dB à 60 Hz et supérieure à 65 dB à 3 kHz.





Isolateurs utilisant des transformateurs de
sortie
Ebtech HE-2

Il existe sur le marché un nombre remarquable de "boîtes noires" destinées à résoudre les problèmes de "boucle de terre". Cela inclut un certain nombre de boîtes à base de transformateurs. À de très rares exceptions près, ces boîtes contiennent des transformateurs de **sortie**. L'un des avantages de ces boîtes est qu'elles peuvent être *installées n'importe où* sur la longueur d'une ligne d'abonné.

ou peuvent être utilisés sur des baies de brassage. Bien que les boîtiers contenant des transformateurs d'**entrée** offrent une *meilleure réjection du bruit* de quelque 30 dB, leur réponse en haute fréquence est dégradée par une capacité excessive du câble à leurs sorties. Les résultats sont toujours meilleurs, mais ils doivent être installés *près de l'entrée de l'équipement* en n'utilisant pas plus de 2 ou 3 pieds de câble.

Sauf dans des situations extraordinaires, il **n'est pas** nécessaire d'"équilibrer" une ligne (à l'aide d'un convertisseur asymétrique-asymétrique) à l'extrémité de commande, puis de la "déséquilibrer" (à l'aide d'un convertisseur symétrique-asymétrique) à l'extrémité de réception. La réjection du bruit d'un tel système n'est pas meilleure, et souvent pire, que celle d'un isolateur simple, utilisant un transformateur d'*entrée*, installé à l'extrémité de réception.



Isolateur utilisant des transformateurs d'entrée
Jensen ISO-MAX CI-2RR

Vérifiez soigneusement les données de performance des

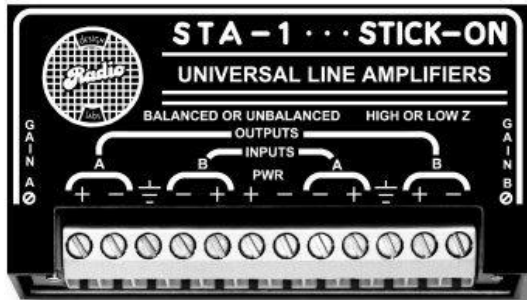
isolateurs. Beaucoup d'entre eux ont des spécifications insuffisantes, vagues ou inexistantes - et beaucoup utilisent des produits bon marché,

des transformateurs de qualité téléphonique ! Ces transformateurs miniatures peuvent entraîner une perte de basses profondes, une distorsion des basses et une mauvaise réponse transitoire. Les données relatives aux isolateurs de terre de haute qualité, tels que ceux de la série ISO- MAX®, sont complètes, sans ambiguïté et vérifiables. Les isolateurs à base de transformateurs présentent également d'autres avantages :

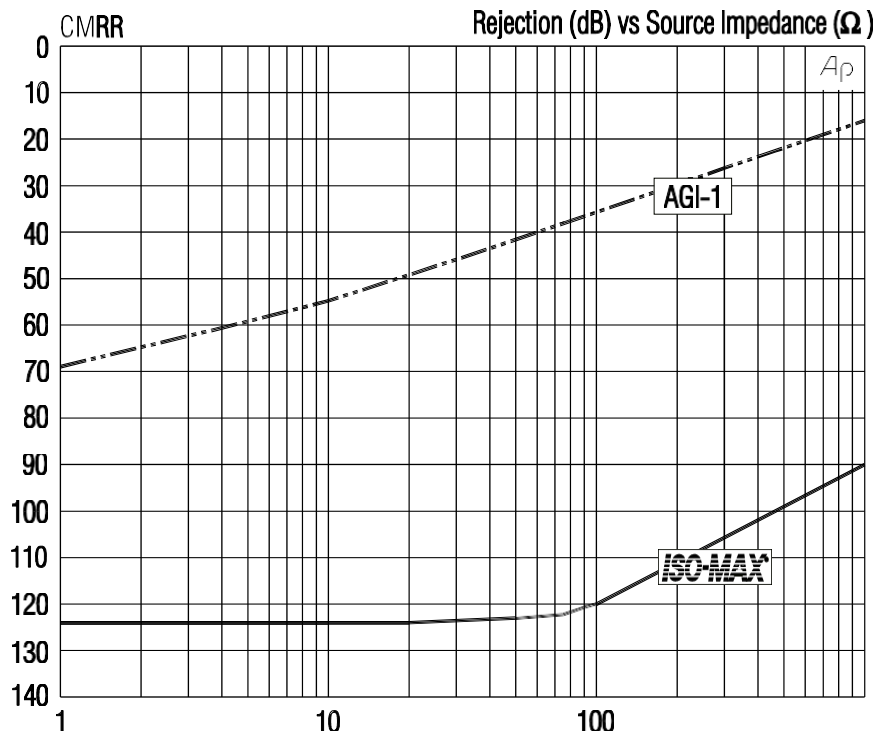
- Leurs entrées sont véritablement universelles, acceptant des signaux provenant de sorties *asymétriques ou symétriques*, tout en maintenant une réjection de bruit très élevée. Une réjection de 100 dB à 60 Hz et plus de 65 dB à 3 kHz est typique pour les isolateurs utilisant des transformateurs d'**entrée** blindés par Faraday (*indiqués par un "I" dans les numéros de modèles ISO-MAX*).
- Les isolateurs utilisant des transformateurs d'**entrée** assurent également une **suppression inhérente des** interférences **RF** et ultrasoniques. La réduction subséquente de la "contamination spectrale" est souvent décrite comme une nouvelle clarté sonore merveilleuse. [11]
- Ils peuvent résoudre le "problème de la broche 1" (couplage à impédance commune *dans un* équipement mal conçu).
- Ils sont passifs et ne nécessitent aucune alimentation.
- Ils sont intrinsèquement robustes, fiables et pratiquement insensibles aux surtensions transitoires.

Une grande variété de dispositifs d'interface commerciaux sont des dispositifs "actifs" (c'est-à-dire alimentés). Bien qu'ils intègrent de nombreuses caractéristiques utiles, ils utilisent invariablement des circuits d'amplificateurs différentiels pour "isoler" leurs entrées asymétriques. Comme expliqué plus loin (voir x.x), la réjection du bruit de fond des amplificateurs différentiels ordinaires est extrêmement sensible aux déséquilibres d'impédance de la source de commande. Avec des sources *asymétriques*, toute leur impédance

de sortie devient "déséquilibrée" et varie généralement de 200 S à 1 kS ou plus. Dans ces conditions, la réjection du bruit des amplificateurs différentiels est assez faible.



Interface "active" typique
Radio Design Labs STA-1



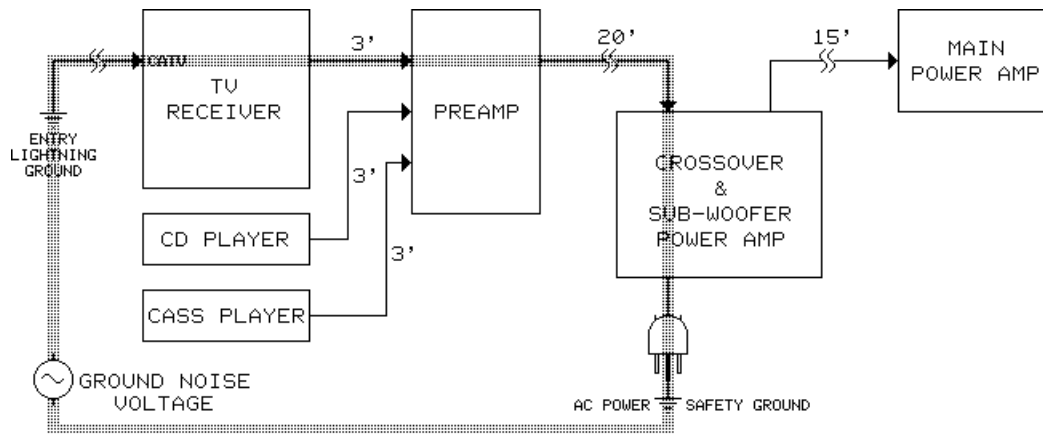
Les graphiques de gauche comparent les performances de rejet des ronflements à 60 Hz d'un autre dispositif d'interface actif typique, l'isolateur de masse audio AGI-1 de Sonance, aujourd'hui abandonné, à celles d'un isolateur basé sur un transformateur d'entrée. Sur la gamme d'impédance de sortie du consommateur de 200 S à 1 kS, l'isolateur *actif* n'atteint que 15 à 30 dB de réjection alors que l'isolateur ISO-MAX® CI- 2RR améliore ce résultat de 80 dB !

2.6 - OÙ ROMPRE LA BOUCLE

1k

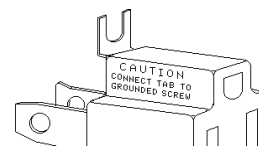
Lorsqu'un système contient deux ou plusieurs équipements mis à la terre, que ce soit par des cordons d'alimentation ou d'autres connexions à la terre, une "boucle de terre" peut se former.

Il existe souvent une tension de bruit de fond importante entre la terre de la CATV et le système de mise à la terre de la sécurité de l'alimentation en courant alternatif, ce qui provoque un flux de courant de bruit relativement important dans le blindage de **TOUS** les câbles de signaux qui font partie de la terre.



boucle entre le téléviseur et le subwoofer. Ainsi, le couplage à impédance commune introduira du bruit dans les deux câbles *audio* du trajet, généralement en proportion de leur longueur. Ce système présenterait un fort ronflement, quel que soit le réglage du préamplificateur, à cause du couplage dans le câble de 6 mètres.

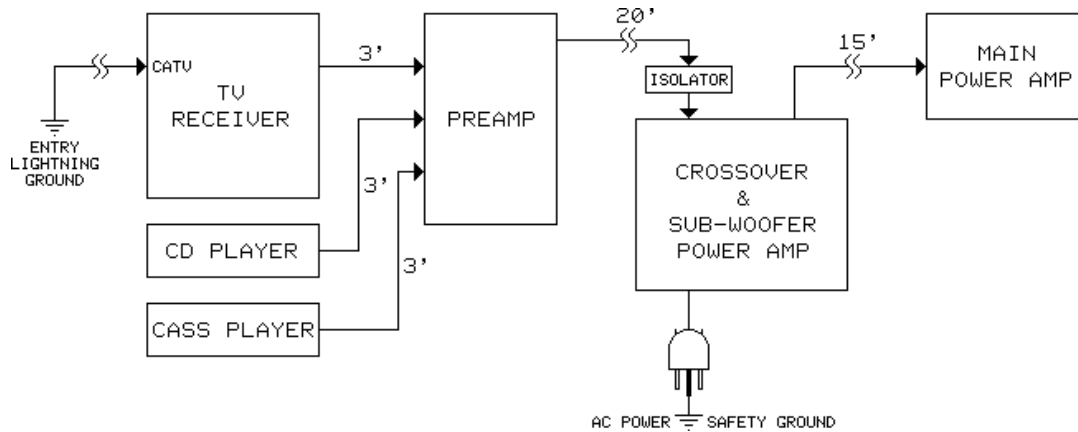
Bien sûr, la boucle *peut* être rompue en désactivant la masse de sécurité du



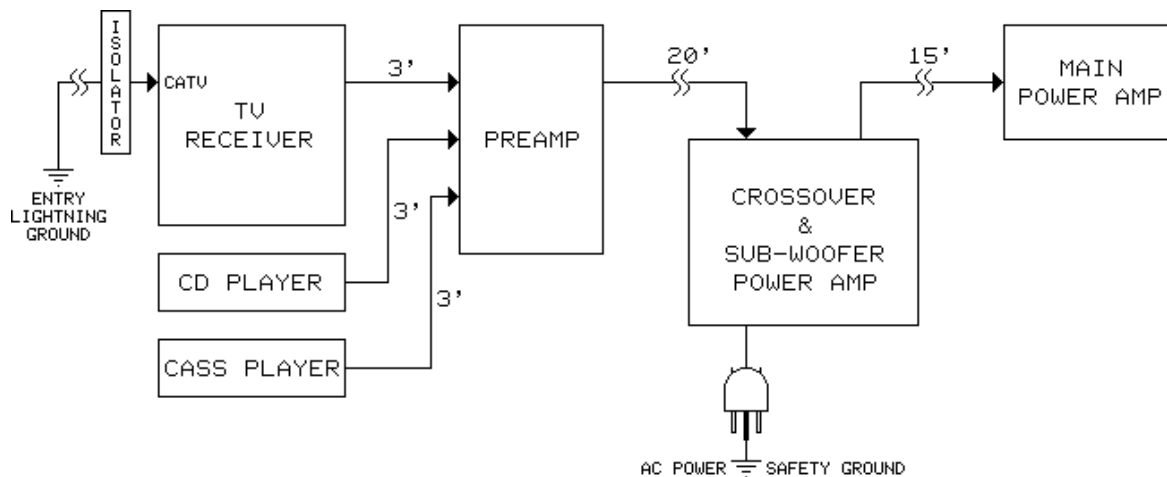
subwoofer. **NE LE FAITES PAS !** N'oubliez pas que les câbles audio qui relient les équipements entre eux transportent également des tensions mortelles dans tout le système ou peuvent déclencher un incendie si le caisson de graves présente un défaut de ligne électrique.

Un moyen **sûr** de couper la boucle de terre est d'installer un isolateur de terre. quelque part dans le trajet du signal audio, du téléviseur au caisson de basse. Puisque les câbles longs sont plus susceptibles de coupler le bruit, l'emplacement préféré dans ce système serait à l'extrémité de réception du câble le plus long 20-.

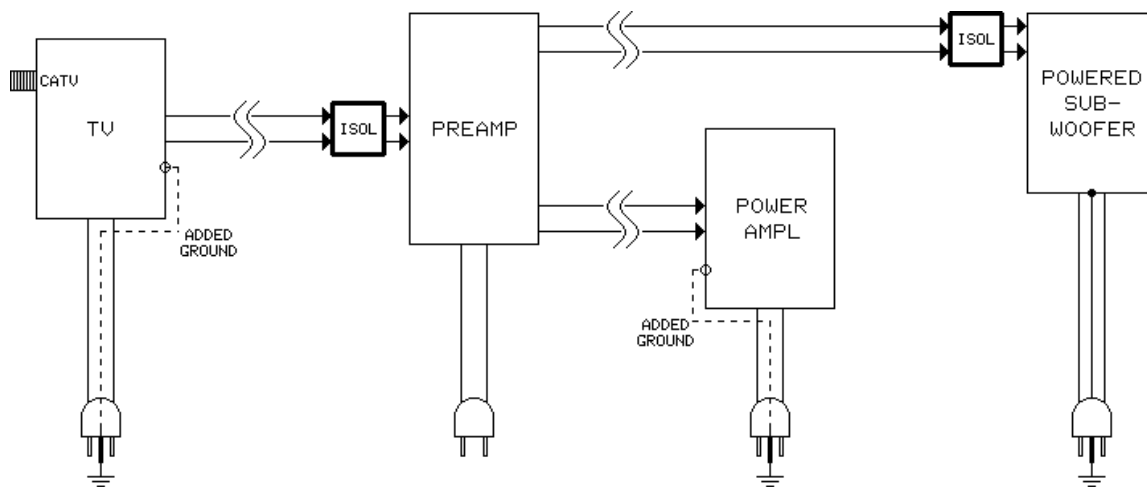
câble de pied, comme indiqué.



Une autre solution **sûre** consiste à couper la boucle en installant un isolateur de terre sur le trajet du signal CATV au niveau du téléviseur, comme illustré. Les isolateurs CATV doivent généralement être installés à l'endroit où le câble se connecte pour la première fois au système audio ou vidéo, par exemple à l'entrée d'un magnétoscope ou d'un récepteur TV.



Étant donné que la plupart des appareils grand public utilisent des fiches à deux broches (non mises à la terre), l'installation d'un isolateur peut laisser certains appareils "flottants". Cela peut permettre à la tension entre les ports d'entrée et de sortie d'un isolateur d'approcher les 120 volts ac.



Bien qu'elle ne soit pas dangereuse, cette situation fait peser une charge de rejet extrême et inutile sur l'isolateur ! Le problème est facilement résolu en ajoutant des connexions de masse séparées aux dispositifs flottants. Pour ce faire, il suffit de remplacer la fiche à deux broches de l'équipement par une fiche à trois broches et d'ajouter un fil (vert de préférence) entre le contact de terre de sécurité de la fiche de remplacement et la terre du châssis. Pour savoir si un point de connexion possible au châssis (comme une vis) est effectivement mis à la terre, utilisez un ohmmètre pour vérifier la continuité avec le contact extérieur d'un connecteur RCA, qui peut lui-même servir de point de connexion si nécessaire.

2.7 - ANTENNES DE TÉLÉVISION PAR CATV ET SATELLITE

Les isolateurs CATV de haute qualité transmettent les signaux haute fréquence sans pratiquement aucune perte ou dégradation, mais empêchent le passage du courant basse fréquence, prévenant ainsi les boucles de masse des lignes électriques.



Isolateur CATV
ISO-MAX VRO-1FF

- Ils doivent **toujours** être installés en aval de la terre de foudre.
- Les isolateurs CATV fonctionnent sur les fréquences CATV, broadcast TV et FM.
Celui qui est illustré à droite laisse également passer les signaux du modem câble.
- Sachez que les *répartiteurs de signaux* connectent les blindages à leurs sorties, offrant ainsi des chemins possibles pour les boucles de terre *entre les* systèmes de destination. Il est généralement recommandé d'installer des isolateurs distincts à chaque sortie de séparateur.
- Les isolateurs CATV **ne** fonctionnent **PAS** sur le trajet entre la parabole DSS et le récepteur. Ils ne peuvent pas transmettre le courant continu du récepteur à l'antenne.

Les systèmes d'antennes paraboliques doivent être mis à la terre conformément aux sections 250 et 810 du code NEC pour assurer une protection contre la foudre. Cette mise à la terre peut créer le même type de boucles de terre qu'une connexion CATV. Un "adaptateur de mise à la terre isolé" en série avec la tige de mise à la terre permet à la parabole de *ne pas être mise à la terre* dans des conditions de fonctionnement normales. La plaque de base de l'adaptateur est reliée à la tige de mise à la terre. Le bloc de mise à la terre de la parabole est ensuite monté sur l'autre borne de l'adaptateur de mise à la terre. Le fil de terre de la parabole elle-même est également connecté à cette borne. Si la tension aux bornes de l'adaptateur atteint 90 volts, comme c'est le cas juste avant un coup de foudre proche ou direct, un tube à gaz interne s'ionise et passe à l'état "actif", capable de supporter un coup de foudre direct de 18 000 ampères. Après le coup de foudre, le tube revient à son état "éteint". [26]

Si le récepteur DSS est équipé d'une fiche CA à 3 broches (mise à la terre), il peut être nécessaire d'installer un GFCI qui déconnecte sa mise à la terre en toute sécurité. Dans certaines situations, il peut être plus judicieux d'utiliser des isolateurs audio et vidéo sur les lignes de sortie du récepteur satellite.

2.8 - ISOLATION POUR LES INTERFACES NUMÉRIQUES

La vénérable interface de données RS-232 *n'est pas équilibrée*, ce qui la rend très sensible au bruit de masse via le couplage par impédance commune - mais les symptômes du bruit sont généralement qualifiés d'"inexplicables". Le dispositif isolé optiquement présenté peut résister à 2 000 volts entre ses ports d'entrée et de sortie. Des dispositifs similaires sont disponibles auprès de plusieurs fabricants pour les interfaces RS-232, RS-422 et autres interfaces courantes. Voir www.bb-elec.com ou

www.telebyteusa.com
pour des
informations plus
détaillées.



Isolateur RS-232
B&B Electronics

2.9 - CHOIX DES CÂBLES

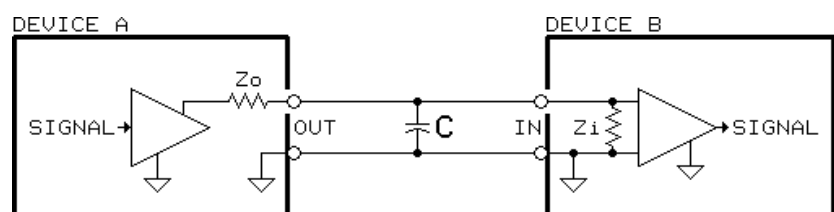
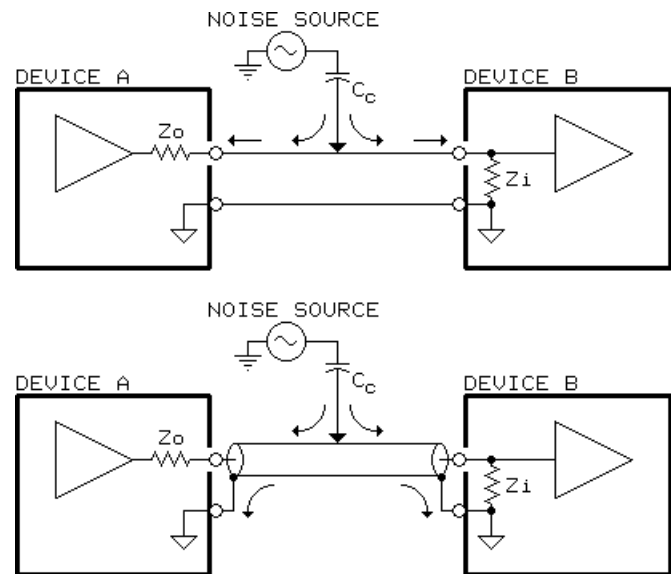
De puissants **champs électriques** en courant alternatif (souvent appelés de façon erronée *champs électrostatiques*) entourent tout conducteur fonctionnant à une **tension** alternative élevée - les enseignes au néon et les cordons d'alimentation en courant alternatif, par exemple. L'intensité du champ diminue rapidement avec la distance. Le fait d'entourer les conducteurs de signaux d'un blindage peut empêcher le couplage du bruit dû à ces *champs électriques*.

L'espace entre deux conducteurs quelconques forme une capacité C_c et toute modification de la tension entre eux nécessite le passage d'un courant à travers la capacité. Sans **blindage**, le courant circule dans les impédances parallèles Z_o et Z_i , ajoutant une tension de bruit au signal. Mais un blindage mis à la terre dévie les courants de bruit vers la terre. Le conducteur de blindage extérieur du câble, s'il est entièrement

entoure le conducteur interne du signal, est dit avoir une couverture de 100%. Les blindages en feuille sont généralement à 100 %, tandis que les blindages tressés, en raison de leurs minuscules ouvertures, varient généralement entre 85 % et 95 % Š tout à fait adéquat dans la plupart des cas. Les champs électriques ne causent généralement des problèmes de bruit que lorsque la source d'alimentation a une impédance très élevée, comme c'est le cas pour certains appareils audio grand public à tubes à vide. Le bruit n'est généralement pas un contaminant atmosphérique "capté" par des câbles dont le blindage est inadéquat. Pour souligner à quel point le blindage est généralement insignifiant dans les systèmes du monde réel, notez qu'un fabricant bien connu propose plusieurs gammes de câbles d'interconnexion symétriques et asymétriques, dont le prix varie de 80 à 500 dollars par paire d'un mètre, qui *n'ont pas de blindage global* - les fils de masse et de signal sont simplement tissés ensemble.

Méfiez-vous des câbles à forte capacité. Certains câbles audio exotiques ont une capacité très élevée et peuvent sérieusement dégrader la réponse en haute fréquence. La capacité du câble et l'impédance de sortie du pilote forment un filtre passe-bas. Ainsi, une sortie élevée

La combinaison d'une impédance élevée et d'un câble long et/ou à forte capacité peut sérieusement dégrader la réponse des aigus. Par exemple, si l'impédance de sortie est de 1 k Ω (typique d'un équipement grand public) et que la capacité du câble est de 50 pF par pied (typique des câbles ordinaires), la réponse à 20 kHz sera inférieure à 0,5 dB pour 50 pieds, 1,5 dB pour 100 pieds et 4 dB pour 200 pieds de câble. Sachez que certains câbles "exotiques" ont une capacité nettement supérieure.



Les câbles asymétriques sont sensibles aux champs magnétiques alternatifs. Quelle que soit la construction du câble, les interfaces asymétriques sont sensibles au bruit induit par des sources de champ magnétique alternatif proches.

Contrairement aux interfaces symétriques, le bruit **ne peut pas** être annulé par l'entrée de réception.

Les câbles audio ne sont PAS des lignes de transmission. Le battage publicitaire pour les câbles exotiques invoque souvent la théorie classique des lignes de transmission et implique que la réponse en nanosecondes est importante. La physique réelle nous rappelle que les câbles audio ne commencent pas à présenter des effets de ligne de transmission au sens technique du terme avant d'avoir atteint une longueur physique d'environ **4 000 pieds**.

AUCUN AUTRE PRODUIT N'EST AUTANT ENTOURÉ DE HYPE ET DE MYSTÈRE QUE LE CÂBLE AUDIO !

L'industrie audio, en particulier le segment "haut de gamme", regorge de désinformation, de mythes et de mysticisme. Des tests scientifiques en double aveugle ont montré qu'il n'y a rien d'inexplicable dans les différences audibles entre les câbles - lorsque l'on peut démontrer que ces différences existent réellement. Par exemple, on sait que la conception physique d'un câble affecte le couplage du bruit ultrasonique des lignes électriques. Même des niveaux très faibles de ce bruit peuvent provoquer une "contamination spectrale" audible dans les amplificateurs en aval[11]. [11] La véritable solution à ce problème est d'empêcher le couplage dès le départ, plutôt que de s'agiter pour savoir quel "câble design" apporte l'amélioration la plus agréable.

Les câbles coûteux et exotiques, même s'ils sont doublement ou triplement blindés, fabriqués à partir d'un matériau 100 % pur, et faits à la main par une équipe de vierges, n'auront AUCUN effet significatif sur les problèmes de ronflement et de bourdonnement !

En termes techniques, un câble hautes performances pour l'audio asymétrique doit avoir une faible capacité et une très faible résistance de blindage. Belden #8241F est un bon exemple d'un tel câble. Sa capacité de 17 pF par pied permet de piloter une longueur de 200 pieds à partir d'une sortie consommateur typique de 1 kS tout en maintenant une bande passante de ! 3 dB de bande passante de 50 kHz. Sa faible résistance de blindage de 2,6 mS par pied est équivalente à un fil de calibre 14, ce qui peut réduire *considérablement* le couplage d'impédance commune. Il est également très flexible et disponible dans de nombreuses couleurs.

2.10 - UNE LISTE DE CONTRÔLE

Gardez les câbles aussi courts que possible. Des câbles plus longs augmentent le couplage par impédance commune. L'enroulement d'une longueur de câble excessive invite à la captation magnétique.

Utilisez des câbles avec des blindages de forte épaisseur. Ceci est particulièrement important lorsque les câbles doivent être longs. La *seule* propriété du câble qui a un effet significatif sur le couplage du bruit audio est la résistance du blindage.

Regroupez les câbles de signaux. Tous les câbles de signaux entre deux boîtiers doivent être regroupés. Par exemple, si les câbles G et D d'une paire stéréo sont séparés, les champs magnétiques alternatifs voisins induiront un courant dans la zone de boucle à l'intérieur des deux blindages, ce qui couplera le ronflement aux deux signaux. Le fait de regrouper séparément tous les cordons d'alimentation en courant alternatif permet de faire la moyenne de leurs champs magnétiques et électrostatiques, ce qui réduit leur rayonnement net. Bien sûr, gardez les faisceaux de signaux et les faisceaux d'alimentation aussi éloignés que possible. Rappelez-vous que les câbles ou les faisceaux qui sont parallèles se couplent le plus, tandis que ceux qui se croisent à 90° se couplent le moins.

Maintenez de bonnes connexions. Les connecteurs laissés en l'état pendant de longues périodes peuvent s'oxyder et développer une résistance de contact élevée (et souvent non linéaire produisant des distorsions). Un bourdonnement ou un autre bruit qui change lorsque le connecteur est remué indique un mauvais contact. Utilisez un bon liquide de contact commercial et/ou des connecteurs plaqués or pour éviter ces problèmes.

N'AJOUTEZ PAS de mises à la terre inutiles. Une mise à la terre supplémentaire de l'équipement a tendance à *augmenter* le courant de bruit de masse du système plutôt que de le réduire. Bien entendu, ne déconnectez JAMAIS une terre de sécurité ou une terre de protection contre la foudre pour résoudre un problème.

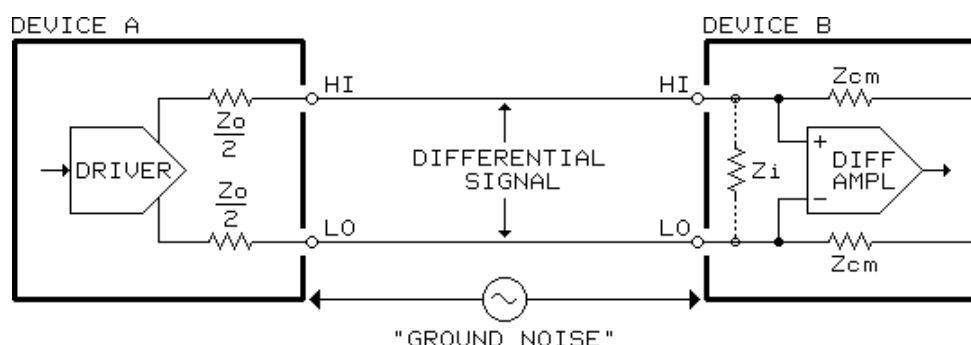
Utilisez des isolateurs de terre aux interfaces problématiques. Les isolateurs sont une solution miracle pour le couplage d'impédance commune, qui est la principale faiblesse des interfaces non équilibrées.

3 - INTERFACES AUDIO SYMÉTRIQUES

Une interface peut être **déséquilibrée** ou **équilibrée**, en fonction **uniquement** des **impédances** (par rapport à la terre) des conducteurs de la ligne. Dans les interfaces **équilibrées**, les deux conducteurs ont des impédances **égales** (et non nulles). Une interface équilibrée exige que le conducteur, la ligne et le récepteur maintiennent **tous** des impédances équilibrées par rapport à la masse. Les interfaces équilibrées sont **extrêmement efficaces** pour empêcher toutes sortes de couplage de bruit. En fait, elles sont si puissantes que de nombreux systèmes, comme les systèmes téléphoniques, les utilisent à la place du blindage comme *principale* technique de réduction du bruit !

3.1 - UNE QUESTION D'ÉQUILIBRE

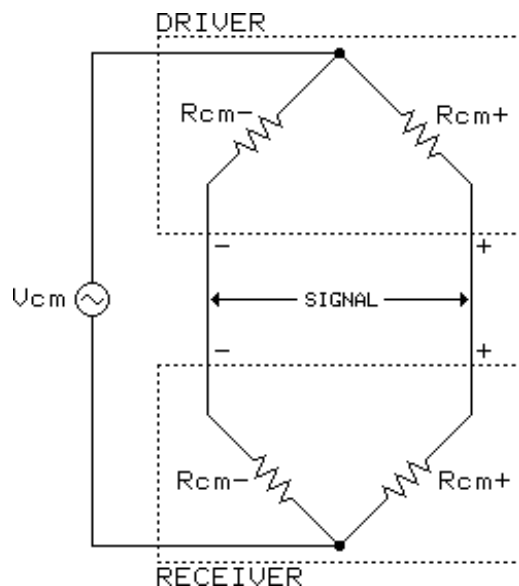
La véritable nature des interfaces équilibrées est largement incomprise. Par exemple *"Chaque conducteur est toujours égal en tension mais de polarité opposée à l'autre. Le circuit qui reçoit ce signal dans le mélangeur s'appelle un amplificateur différentiel et cette polarité opposée des conducteurs est essentielle pour son fonctionnement."* [12] Ceci, comme beaucoup d'explications imprimées, décrit la **symétrie du signal** (c'est-à-dire *"tension égale mais polarité opposée"*) mais néglige complètement la caractéristique la plus importante d'une interface équilibrée. L'idée que la **symétrie du signal** a quelque chose à voir avec la réjection du bruit est tout simplement FAUX ! Je cite une partie de l'annexe informative de la norme CEI 60268-3 : *"Par conséquent, seul l'équilibre de l'impédance en mode commun du conducteur, de la ligne et du récepteur joue un rôle dans le rejet du bruit ou des interférences. Cette propriété de rejet du bruit ou des interférences est indépendante de la présence d'un signal différentiel souhaité. Par conséquent, il n'y a aucune différence si le signal **désiré** existe entièrement sur une ligne, sous forme d'une tension plus élevée sur une ligne que sur l'autre, ou sous forme de tensions égales sur les deux. La symétrie du signal souhaité présente des avantages, mais ils concernent la marge de manœuvre et la diaphonie, et non le rejet du bruit ou des interférences."* Une définition précise est la suivante : *"Un circuit équilibré est un circuit à deux conducteurs dans lequel les deux conducteurs et tous les circuits qui leur sont connectés ont la même impédance par rapport à la terre et à tous les autres conducteurs. L'objectif de l'équilibrage est de rendre la prise de bruit égale dans les deux conducteurs, auquel cas il s'agira d'un signal en mode commun qui pourra être annulé dans la charge."* [13] Une interface équilibrée simplifiée est représentée sur le schéma.



Théoriquement, il peut rejeter *toute* interférence, qu'elle soit due à des différences de tension à la terre, à des champs magnétiques ou à des champs électriques, tant qu'il produit des tensions **identiques sur** chacune des lignes de signaux et que les tensions de crête résultantes ne dépassent pas les limites du récepteur.

capacité. Lorsque les deux dispositifs sont *mis à la terre* au système de mise à la terre de sécurité, la différence de tension de terre entre eux devient le "bruit de terre" indiqué. Lorsque l'un ou les deux dispositifs *ne sont pas mis à la terre*, la différence de tension de terre peut

devenir très importante. Traditionnellement, les interconnexions audio symétriques utilisent un câble blindé dont chaque extrémité du blindage est reliée à la masse du dispositif respectif. Cette connexion permet de minimiser la différence de tension de masse entre les appareils. Toutefois, en l'absence d'une telle connexion, d'autres mesures peuvent être nécessaires pour limiter la différence de tension de masse. La tension qui apparaît de manière identique sur les deux entrées, puisqu'elle est *commune* aux deux entrées, est appelée tension ***de mode commun***.



Un récepteur symétrique utilise un dispositif **différentiel**, soit un amplificateur spécialisé, soit un transformateur, qui, par nature, *ne répond qu'à la différence de tension* entre ses entrées. Un récepteur idéal n'aurait aucune réponse aux tensions de *mode commun*. Mais avec les dispositifs réels, la réponse n'est pas nulle. Le rapport entre le gain *différentiel* du dispositif et son gain en *mode commun* est appelé **rapport de réjection en mode commun** ou **CMRR**. Il est généralement exprimé en dB, les chiffres les plus élevés indiquant une meilleure réjection.

Notez que les impédances de sortie en mode commun (c'est-à-dire par rapport à la terre) du pilote et les impédances d'entrée du récepteur forment effectivement un pont de Wheatstone comme indiqué. Si le pont n'est pas *équilibré* ou *annulé*, une partie du bruit de masse V_{cm} sera **convertie** en un signal différentiel sur la ligne. L'annulation de la tension de mode commun dépend essentiellement de l'adaptation du rapport de ces paires d'impédances.

les impédances en mode commun conducteur/récepteur. L'annulation est relativement peu affectée par l'impédance.

à travers les lignes - seules les impédances de mode commun comptent !

3.2 - PAS DE VÉRITÉ DANS LA PUBLICITÉ

Le pont est le plus sensible à de petites variations fractionnaires d'impédance dans l'un de ses bras lorsque tous les bras ont la même impédance[14]. [Il est moins sensible lorsque les bras supérieur et inférieur ont des impédances très différentes. Par conséquent, nous pouvons minimiser la *dégradation du CMRR* dans une interface équilibrée causée par les **tolérances normales des composants** en rendant les impédances de mode commun très basses à une extrémité de la ligne et très hautes à l'autre[15]. [15] Les impédances de sortie de pratiquement tous les drivers de ligne **réels** sont déterminées par des résistances en série (et souvent des condensateurs de couplage) qui ont généralement des tolérances de $\pm 5\%$. Les impédances d'entrée de mode commun des circuits d'entrée équilibrés typiques se situent dans la plage de 10 kS à 50 kS, ce qui rend leur CMRR *extrêmement sensible* aux déséquilibres normaux de l'impédance de sortie du pilote. Par exemple, **le CMRR du SSM-2141, largement utilisé, se dégrade de 25 dB avec un déséquilibre de 1 S seulement**. Des dispositifs tels que les transformateurs d'entrée ou le circuit intégré de réception équilibrée InGenius® *ne* sont pratiquement *pas affectés* par des déséquilibres pouvant atteindre plusieurs centaines d'ohms, car leurs impédances d'entrée en mode commun sont d'environ 50 MS, soit plus de 1000 fois supérieures aux entrées "actives" ordinaires.

La réjection du bruit dans une interface symétrique réelle est souvent bien inférieure à celle annoncée pour l'entrée. Cela est dû au fait que les performances des entrées symétriques ont traditionnellement été mesurées d'une manière qui ignore les effets des impédances du conducteur et du câble. Par exemple, l'ancienne méthode de la CEI consistait essentiellement à "régler" l'impédance de la source de pilotage jusqu'à ce qu'elle présente un déséquilibre **nul**. Une autre méthode, qui lie simplement les deux entrées ensemble et qui est encore utilisée par de nombreux ingénieurs, est tout aussi irréaliste. Cet auteur est très heureux d'avoir persuadé la CEI d'adopter un nouveau test CMRR qui insère des déséquilibres d'impédance réalistes dans la source d'entraînement. Ce nouveau test est inclus dans la troisième édition de la *norme CEI 60268-3, Matériel de sonorisation - Partie 3 : Amplificateurs*, août 2000. Il est **très important** de

comprendre que la réjection du bruit dans une interface équilibrée n'est pas seulement une fonction du récepteur - les performances réelles dans un système réel dépendent de la façon dont le conducteur, le câble et le récepteur *interagissent*.

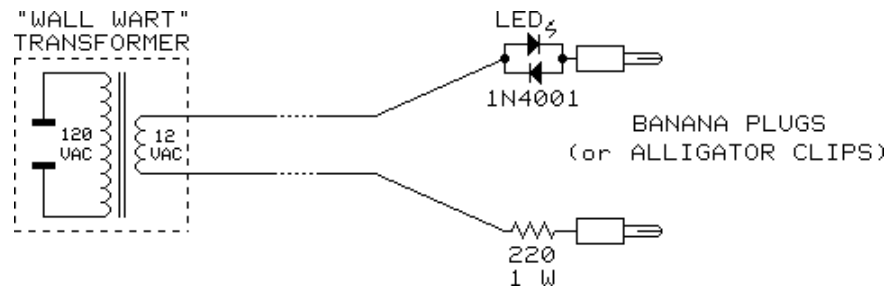
3.3 - LES PROBLÈMES DE L'ÉPINGLE 1 ET LE HUMMER

Surnommé le "problème de la broche 1" (la broche 1 est le blindage des connecteurs XLR) par Neil Muncy, le couplage d'impédance commune a été conçu par inadvertance dans un nombre surprenant de produits dotés d'interfaces symétriques. Comme le dit Neil, *"l'équilibrage acquiert ainsi une réputation ternie, qu'il **ne** mérite **pas**". Il s'agit en effet d'une situation curieuse. Les interconnexions équilibrées au niveau des lignes sont censées garantir des performances de système exemptes de bruit, mais souvent elles ne le font pas."* [16]

Le problème de la broche 1 transforme effectivement la connexion du blindage en une entrée de signal à très faible impédance. Le courant de blindage, composé principalement de bruit de ligne électrique, peut circuler dans le câblage interne ou les traces de la carte de circuit imprimé partagées par les circuits de l'amplificateur. Les minuscules chutes de tension créées sont amplifiées et apparaissent à la sortie du dispositif. Lorsque ce problème existe dans les systèmes, il peut interagir avec d'autres mécanismes de couplage du bruit pour que les problèmes de bruit semblent insensés et imprévisibles. Ce problème affecte également les équipements dotés d'interfaces asymétriques.

Heureusement, il existe un test simple pour révéler le problème de la broche 1. Le **"hummer"** est basé sur une idée suggérée par John Windt.

[Ce dispositif simple, dont le schéma est présenté ici, force un courant alternatif d'environ 50 mA à circuler à travers les connexions de blindage potentiellement gênantes du dispositif testé. Dans



Si l'équipement est *correctement* conçu, cela ne provoque aucun bruit supplémentaire à la sortie de l'équipement. *Le transformateur 12 volts doit fournir environ 50 mA lorsque les pinces sont court-circuitées. La LED optionnelle (et la diode 1N4001) indiquent simplement qu'une bonne connexion a été faite et que le courant circule effectivement.*

Test avec le "hummer" :

1. Débranchez tous les câbles d'entrée et de sortie, à l'exception de la sortie à surveiller, ainsi que toutes les connexions du châssis (montage en rack, par exemple) de l'appareil à tester.
2. Mettez l'appareil sous tension.
3. Mesurez (et écoutez, si possible) la sortie de l'appareil. Le seul bruit doit être un bruit blanc ou un "sifflement". Essayez différents réglages des commandes de l'opérateur pour vous familiariser avec les caractéristiques de bruit de l'appareil testé *sans que* le hummer soit connecté.
4. Connectez un fil de ronflement au châssis de l'appareil et touchez l'autre fil au contact du blindage de chaque connecteur d'entrée ou de sortie. Si l'appareil est correctement conçu, il n'y aura pas de ronflement en sortie ni de changement dans le bruit de fond.
5. Testez d'autres chemins potentiellement problématiques, par exemple d'un contact de blindage d'entrée à un contact de blindage de sortie ou de la broche de terre de sécurité du cordon d'alimentation au châssis.

Dans certains équipements, la broche 1 des connecteurs XLR peut ne pas être connectée directement à la masse - avec un peu de chance, ce sera uniquement aux entrées ! Dans ce

cas, la LED du Hummer peut ne pas s'allumer. Ce n'est pas grave.

3.4 - TROUVER L'INTERFACE DU PROBLÈME

Des adaptateurs de test ou "mannequins" faciles à construire permettent au système de se tester lui-même et de localiser le point d'entrée exact du bruit ou des interférences. En plaçant temporairement les mannequins à des endroits stratégiques de l'installation, le système peut être testé.

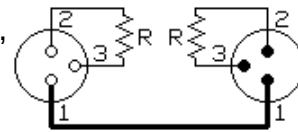
l'interface, des informations précises sur la nature du problème sont également

révélées. Les tests peuvent identifier spécifiquement :

- Couplage induit par le courant de blindage dans les câbles,
- Captage magnétique ou électrostatique par des câbles de champs proches, ou
- Couplage à impédance commune à l'intérieur d'un équipement défectueux.

Les mannequins sont fabriqués à partir de connecteurs standard câblés comme indiqué. N'oubliez pas qu'ILS NE PASSENT PAS DE SIGNAL. Chaque interface de signal est testée à l'aide de la procédure en quatre étapes suivante :

Balanced Interfaces



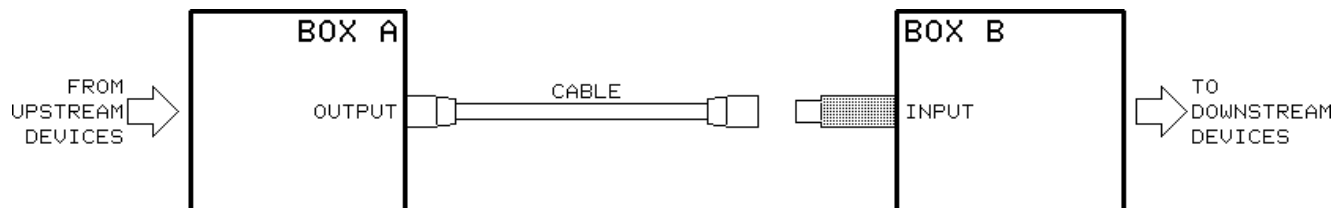
For Balanced Audio XLR

P1/J1 = Switchcraft S3FM Adapter with QG3F and QG3M Inserts
R = 604 Ω , 1%, 1/4 W Resistor

For Balanced Audio 3C Phone

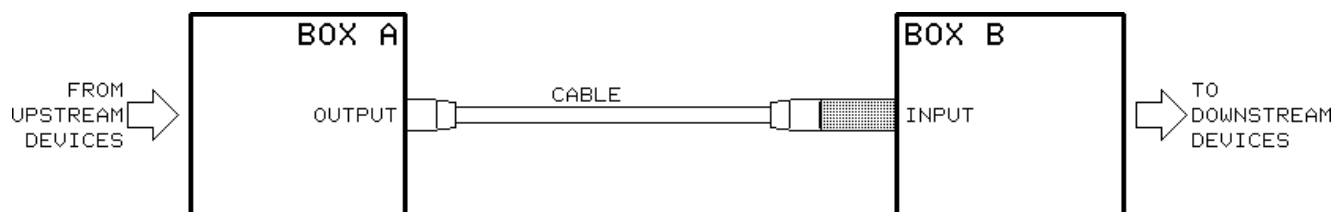
Use Switchcraft 383A and 387A Adapters with XLR version

ÉTAPE 1 - Débranchez le câble de l'entrée de la boîte B et branchez uniquement le mannequin.



La sortie est silencieuse ? **Non** - Le problème se situe soit dans la boîte B, soit plus en aval.
Oui - Passez à l'étape suivante.

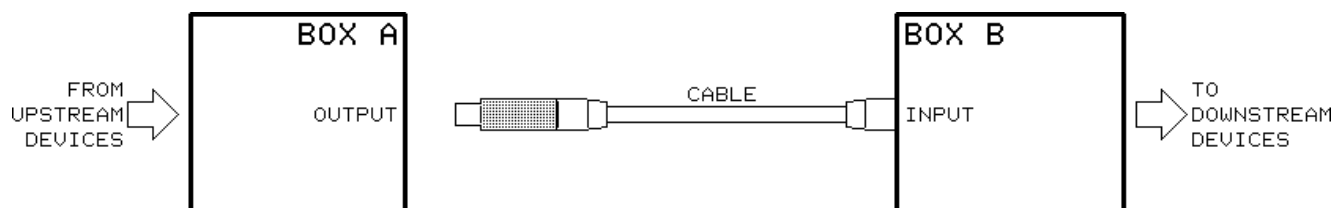
ÉTAPE 2 - En laissant le mannequin en place à l'entrée de la boîte B, branchez le câble dans le mannequin.



Sortie silencieuse ? **Non** - La boîte B a un "problème de broche 1" interne. Le test du hummer peut le confirmer.

Oui - Passez à l'étape suivante.

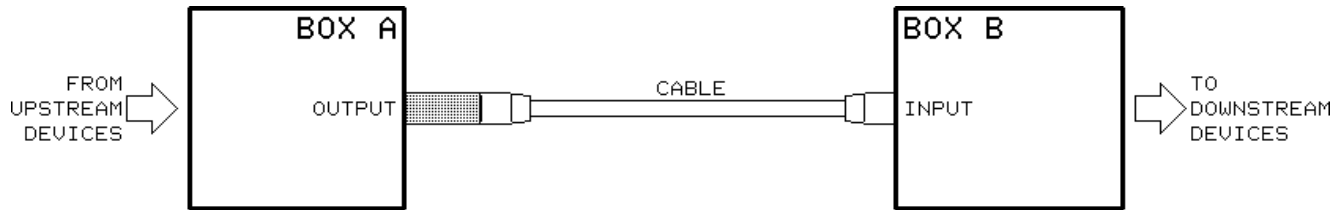
ÉTAPE 3 - Retirez le mannequin et branchez le câble dans l'entrée du boîtier B. Débranchez l'autre extrémité du câble du boîtier A et branchez-le dans le mannequin. *Veillez à ce que le mannequin ne touche rien de conducteur.*



La sortie est silencieuse ? **Non** - Du bruit est induit dans le câble. Redirigez-le pour éviter les champs d'interférence.

Oui - Passez à l'étape suivante.

ÉTAPE 4 - En laissant le mannequin en place sur le câble, branchez le mannequin sur la sortie du boîtier A.



La sortie est silencieuse ?

Non - Le problème est le bruit induit par le courant de blindage ou SCIN. Remplacez le câble par un autre type ou prenez des mesures pour réduire le flux de courant dans le blindage.

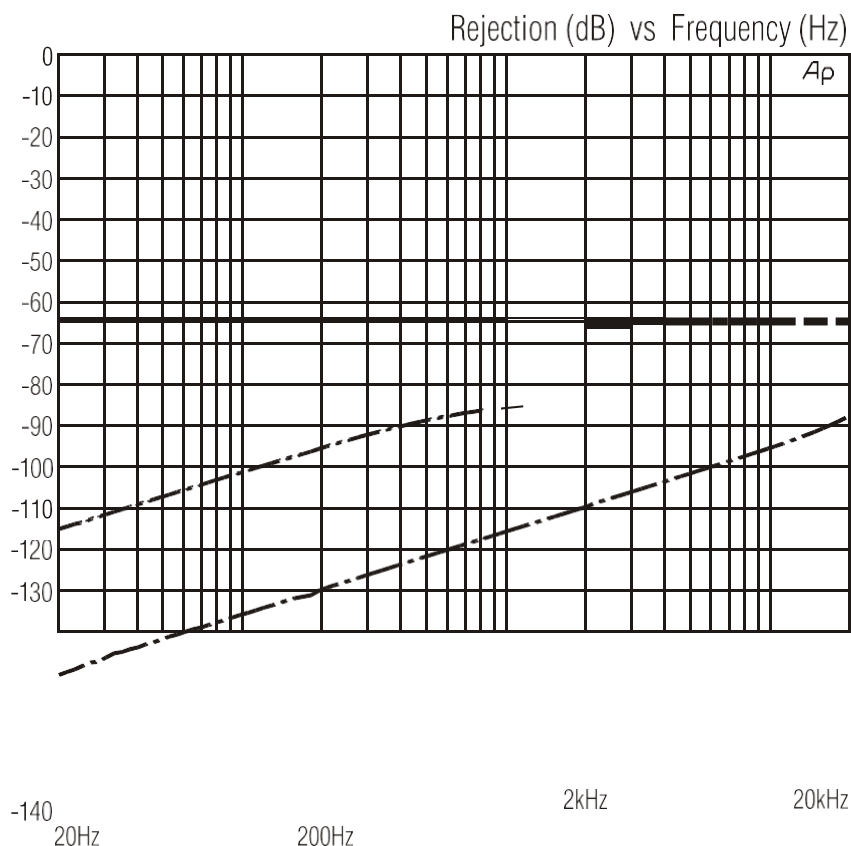
Oui - Le bruit provient de la sortie de la boîte A. Effectuez la séquence de test à l'interface amont suivante.

3.5 - SOLUTIONS



Isolateur pour interfaces
équilibrées
Jensen ISO-MAX PI-2XX

Les problèmes les plus courants avec les interfaces symétriques sont dus à un mauvais CMRR dans l'entrée de l'équipement et aux "problèmes de broche 1". L'isolateur présenté ici utilise des transformateurs d'entrée pour améliorer considérablement le CMRR et le rejet des interférences RF. Comme expliqué dans la section précédente, l'amélioration du CMRR dépendra du type de transformateur utilisé dans l'isolateur.



Le graphique montre le CMRR en fonction de la fréquence pour une interface *équilibrée* testée avec la méthode IEC 60268-3. Le pilote est un
Sortie symétrique 600 S, sauf que ses impédances de mode commun étaient
précision adaptée à l'intérieur $\pm 0,1\%$ (c'est-à-dire un déséquilibre pratiquement nul). Le récepteur est un "actif" typique (*un circuit "d'instrumentation" à trois op-amp*) ayant une impédance d'entrée de 40 kS (*impédances en mode commun = 20 kS*) ayant un CMRR de **90 dB** lorsqu'il est directement connecté au pilote.
Ce sont les conditions de laboratoire dans lesquelles la plupart des chiffres CMRR **annoncés** sont obtenus !

Reconnaissant que les sorties du monde réel sont rarement aussi précisément appariées, le

nouveau test CEI déséquilibre intentionnellement les lignes de ± 10 S. Pour cette entrée typique, sans isolateur, le CMRR tombe de son niveau annoncé ou "nominal" de 90 dB à 65 dB, comme le montre le graphique du haut. Le graphique du milieu montre l'effet de l'utilisation d'un isolateur de transformateur de *sortie* ordinaire. Alors que le ronflement à 60 Hz est réduit d'environ 20 dB, la réduction est presque nulle à 3 kHz. En revanche, un isolateur haute performance utilisant un transformateur d'*entrée* réduit le ronflement à 60 Hz de près de 60 dB et réduit les artefacts à 3 kHz de plus de 20 dB.

Comme mentionné précédemment, il faut se méfier des produits qui ne sont pas bien spécifiés. Ils peuvent parfois résoudre des problèmes de bruit, mais au détriment de la qualité du son. L'isolateur présenté ci-dessus résout également les problèmes de broche 1 grâce à des commutateurs (sur sa face inférieure) qui reconfigurent les connexions de blindage. Comme pour les applications asymétriques, les isolateurs à base de transformateurs d'entrée présentent également d'autres avantages :

- Leurs entrées sont véritablement universelles, acceptant des signaux provenant de sorties *symétriques ou asymétriques*, tout en maintenant une réjection de bruit très élevée. Une amélioration du CMRR de 40 à 60 dB est typique pour les isolateurs utilisant des transformateurs d'**entrée** blindés par Faraday (*indiqués par un "I" dans les numéros de modèles ISO-MAX*).
- Les isolateurs utilisant des transformateurs d'**entrée** assurent également une **suppression inhérente des** interférences **RF** et ultrasoniques. La réduction subséquente de la "contamination spectrale" est souvent décrite comme une nouvelle clarté sonore merveilleuse. [11]
- Ils peuvent résoudre le "problème de la broche 1" (couplage à impédance commune *dans un équipement mal conçu*).
- Ils sont passifs et ne nécessitent aucune alimentation.
- Ils sont intrinsèquement robustes, fiables et pratiquement insensibles aux surtensions transitoires.

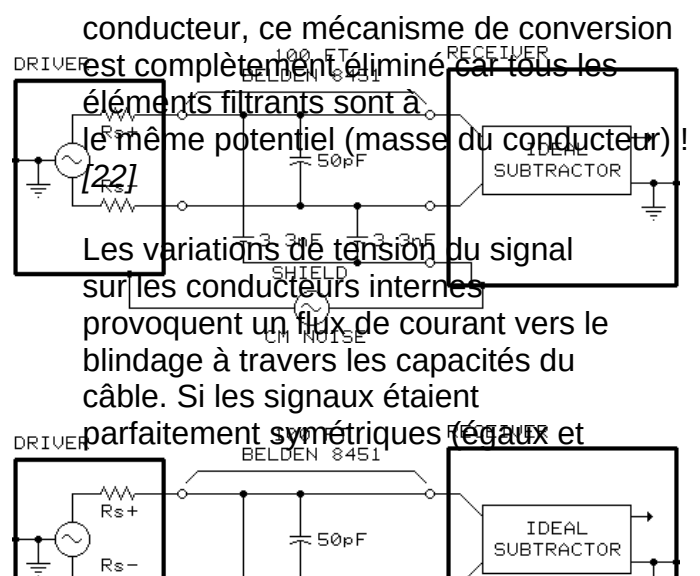
3.6 - À PROPOS DES CÂBLES ET DES CONNEXIONS DE BLINDAGE

Comme pour les câbles non équilibrés, les champs électriques peuvent coupler capacitivement le bruit aux conducteurs de signaux. Dans une interface équilibrée, des tensions égales seraient théoriquement induites sur les deux lignes équilibrées.

Comme cela en fait une tension de mode commun, elle est théoriquement rejetée par le récepteur. En pratique, la réjection est limitée par l'adaptation des impédances du couplage capacitif et de la ligne. L'adaptation du couplage capacitif peut être améliorée en *tordant* la paire équilibrée, en faisant la moyenne de leurs positions physiques (et de leurs capacités) par rapport à la source de champ. Cependant, un **blindage** mis à la terre résout l'ensemble du problème en détournant simplement les courants de bruit vers la terre. Là encore, les blindages tressés avec une couverture de 85 à 95 % sont généralement adéquats.

Les connexions de masse du blindage peuvent affecter le CMRR. Les capacités du câble entre chaque conducteur de signal et le blindage sont désadaptées de 4 à 6 % dans un câble typique. Si le blindage est mis à la terre à l'extrémité du récepteur, ces capacités et les impédances de sortie en mode commun des pilotes, elles-mêmes souvent désadaptées de 5 % ou plus, forment une paire de filtres passe-bas pour le bruit en mode commun. Le défaut d'adaptation de ces filtres *convertit* une partie du bruit en mode commun en signal différentiel.

Si le blindage n'est simplement connecté *qu'*au



NE JAMAIS mettre le blindage à la terre
UNIQUEMENT au récepteur

TOUJOURS mettre le blindage à la terre au
niveau du conducteur

) et les capacités étaient parfaitement adaptées, les deux courants de *signal* couplés capacitivement dans le blindage s'annulent. Cependant, une symétrie imparfaite et/ou des capacités mal adaptées provoquent un courant de signal dans le blindage. Ce courant doit être renvoyé directement au conducteur d'où il provient. Si le blindage est mis à la terre au niveau du récepteur, tout ou partie de ce courant reviendra par un chemin *indéfini* qui peut induire de la diaphonie, de la distorsion ou des oscillations lorsqu'il traverse des circuits sensibles[22]. [22] Par conséquent, pour les câbles audio symétriques blindés, **le blindage doit TOUJOURS être mis à la terre au niveau du conducteur**, que l'extrémité de réception soit ou non mise à la terre.

Cependant, cela entre en conflit avec les méthodes de mise à la terre "maillées" préférées aux fréquences RF. Pour se prémunir contre les interférences RF, où les câbles de systèmes typiques deviennent une fraction de longueur d'onde, une mise à la terre supplémentaire est souhaitable. Par conséquent, la pratique industrielle la plus répandue consiste à mettre le blindage à la terre aux deux extrémités, ce qui compromet le CMRR dans une certaine mesure. Mais un traitement haute fréquence peut être superposé au traitement basse fréquence pour obtenir à la fois le CMRR le plus élevé possible et une meilleure immunité RF. Cette approche, appelée mise à la terre **hybride**, couple l'extrémité de réception du blindage à la terre par l'intermédiaire d'un condensateur. Le condensateur est effectivement un court-circuit aux fréquences RF mais un circuit ouvert aux fréquences audio [23] [24]. [Les mérites de ce système ont fait l'objet de plusieurs années de débat au sein d'un groupe de travail du comité de normalisation de l'AES.

De puissants **champs magnétiques** alternatifs entourent tout conducteur fonctionnant avec un **courant** alternatif élevé - câblage de bâtiment, transformateurs de puissance, moteurs et écrans cathodiques, par exemple. L'intensité du champ diminue généralement rapidement avec la distance de la source. La physique nous dit que tout conducteur exposé à un champ magnétique (c.a.) variable dans le temps aura une tension induite dans celui-ci. Dans une interface parfaitement équilibrée, des tensions égales seraient induites dans la paire de signaux, ce qui en ferait une tension de mode commun qui serait complètement rejetée par le récepteur. Dans la pratique, la réjection est limitée par le degré d'adaptation du couplage magnétique et des impédances de ligne. L'adaptation du couplage magnétique peut être améliorée en *tordant* la paire équilibrée, en faisant la moyenne de leur distance physique à la source de champ.

Assurez-vous que toutes les paires de lignes équilibrées sont torsadées. La torsion rend les lignes de paires symétriques blindées ou non blindées presque insensibles aux champs *magnétiques* et les lignes symétriques non blindées presque insensibles aux champs *électriques*. Ceci est particulièrement important dans les circuits de microphones de faible niveau. N'oubliez pas que le câblage au niveau des bornes ou des blocs de perforation et à l'intérieur des connecteurs XLR est vulnérable car la torsion est ouverte, créant ainsi des boucles de captage magnétique. Dans les environnements magnétiquement hostiles, envisagez l'utilisation d'un câble de microphone "en étoile" - il améliore l'immunité aux champs magnétiques d'environ 40 dB par rapport à un câble à paire torsadée blindé standard.

Il est très difficile de réaliser un **blindage magnétique** efficace, en particulier aux fréquences de puissance. Seuls les matériaux magnétiques, tels que les conduits en acier, peuvent fournir un blindage significatif - il n'est PAS fourni par les câbles blindés ordinaires. Le flux de courant dans le blindage du câble crée un champ magnétique très proche de la paire torsadée. Dans un câble idéal, parfaitement symétrique dans sa construction physique, des tensions égales seraient induites dans la paire et la tension en mode commun serait rejetée par le récepteur.

Cependant, les imperfections des câbles réels entraînent des tensions induites *inégaes* qui ajoutent du bruit au signal différentiel. Cet effet a été constaté en 1994 par Neil Muncy qui lui a donné l'acronyme SCIN pour **shield-current-induced-noise**. En général, les meilleurs câbles ont un blindage en spirale tressé ou contre-enroulé et les pires ont des blindages en feuille et

des fils de drainage. [16] [17]

3.7 - INTERFACES ASYMÉTRIQUES VERS SYMÉTRIQUES

Les niveaux de fonctionnement et de référence des signaux sont différents dans les équipements grand public (asymétriques) et professionnels (symétriques). La référence grand public est de ! 10 dBV ou 316 mV rms alors que la référence professionnelle est de +4 dBu ou 1,228 V rms. Par conséquent, un gain de tension de 3,9 ou environ 12 dB est nécessaire.

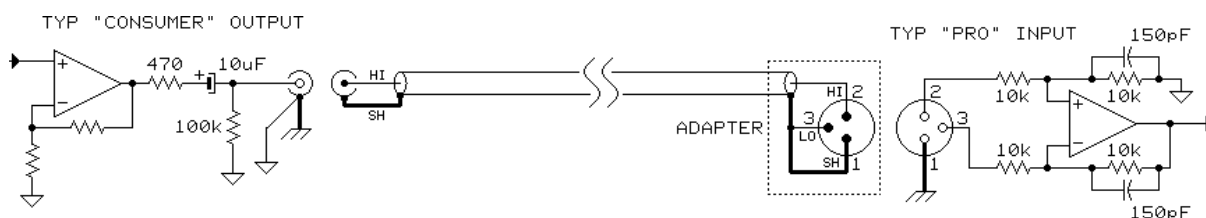
Une question juste pourrait être "Pourquoi ne pas utiliser un transformateur élévateur pour ce gain ?". Plusieurs produits commerciaux le font, mais je ne les recommande PAS. Laissez-moi vous expliquer : Supposons que le transformateur ait un nombre de tours

(tension) de 1:4 pour un gain de tension théorique de 12 dB. Cela rend *inévitavelmente* son rapport d'impédance de 1:16. Par conséquent, toute impédance de charge du côté pro (symétrique) sera réfléchiée du côté consommateur (asymétrique) comme 1/16 de celle-ci. Puisque les entrées symétriques typiques ont des impédances allant de 10 à 40 kS, elles seront vues par

la sortie du consommateur de 625 S à 2,5 kS. Rappelons que les sorties grand public sont généralement évaluées pour piloter une "charge minimale de 10 kS". C'est parce que leur impédance interne (ou de "sortie") (généralement non spécifiée) est généralement de 1 kS ou plus. Par conséquent, le **gain réel n'est pas de 12 dB**, mais seulement de 3 à 8 dB. En outre, la sortie du consommateur subira une **perte importante de marge de sécurité**, jusqu'à 8 dB, ce qui provoquera un écrêtage prématuré. Étant donné que la plupart des sorties grand public utilisent des condensateurs de couplage conçus pour une "charge minimale de 10 kS", la charge importante se traduit généralement par une **mauvaise réponse des basses**. En général, les spécifications relatives à ces problèmes sont *manifestement absentes* des fiches techniques des fabricants !

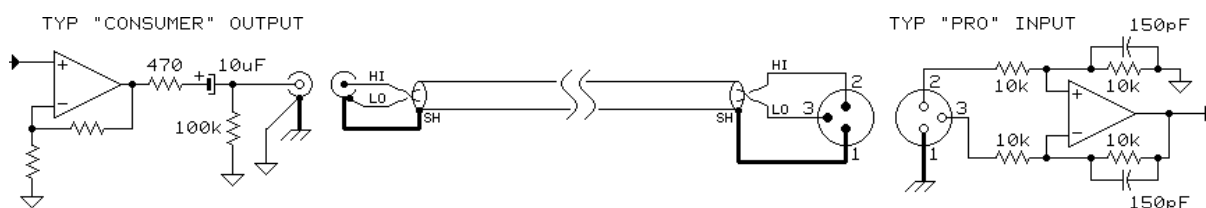
Le gain n'est généralement pas un réel problème dans la plupart des systèmes car les entrées des équipements professionnels ont généralement une "portée" de gain supplémentaire. Si nous éliminons l'exigence de gain, nous avons plus d'options pour les interfaces asymétriques à symétriques. Dans la plupart des cas, la **réjection du bruit** est de loin la question la plus importante.

Le branchement simple largement utilisé illustré ci-dessous, utilisant un câble **blindé à un seul conducteur** et un **adaptateur** RCA vers XLR, a pour résultat une réjection de bruit de masse de **0 dB** - gaspillant toute la réjection de bruit potentielle de l'entrée symétrique !



**Mauvaise connexion utilise un adaptateur RCA vers XLR - Rejet de bruit
= 0 dB**

L'autre connexion, qui utilise un câble **blindé à paires torsadées**, tire parti de la réjection du bruit offerte par l'entrée symétrique. Comme le bruit de masse circule maintenant dans le conducteur de blindage plutôt que dans l'un des conducteurs de signaux, la réjection du bruit est améliorée d'environ 30 dB lorsque l'entrée est un type d'amplificateur différentiel "actif" typique. Si l'entrée symétrique de l'équipement utilisait un transformateur d'entrée ou le circuit intégré InGenius®, la réjection serait améliorée d'environ 80 dB. [27]

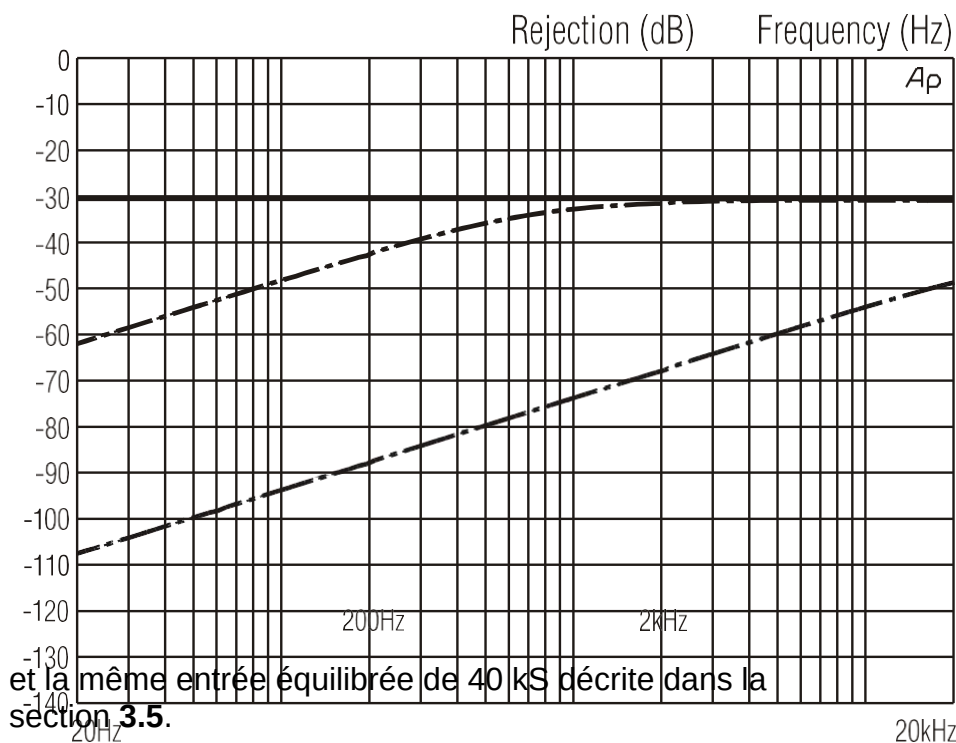


Décaleur de niveau utilisant des transformateurs pour le gain
EbTech LLS-2

La connexion **CORRECTE** est bien meilleure - **Rejet du bruit = 20 dB à 30 dB**

Le graphique suivant montre la réjection du bruit pour diverses interfaces *asymétriques* à *symétriques*. Le tracé supérieur à 0 dB représente le simple adaptateur et la connexion par câble à 2 conducteurs. Le tracé à ! 30 dB montre l'amélioration due à la connexion alternée à 3 conducteurs. Le graphique suivant montre l'effet

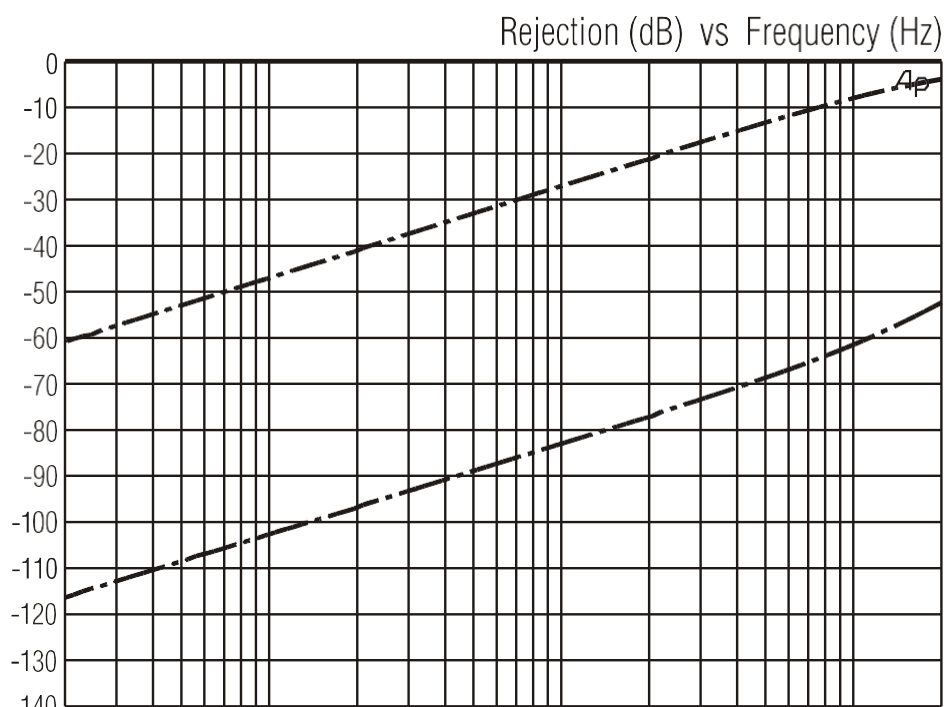
vs



3.8 - INTERFACES SYMÉTRIQUES À ASYMÉTRIQUES

Les différences de niveau de fonctionnement sont une préoccupation légitime dans ces interfaces. Comme les entrées grand public comportent rarement un atténuateur passif, elles sont facilement surchargées par les niveaux de signaux professionnels. Encore une fois, puisque la référence professionnelle est de +4 dBu ou 1,228 V rms et que la référence consommateur est de -10 dBV ou 316 mV rms, une perte d'environ 12 dB est nécessaire. Évidemment, la sortie d'un appareil professionnel pourrait être abaissée de 12 dB, mais ses indicateurs de niveau seraient alors inutiles et les performances en matière de bruit seraient dégradées.

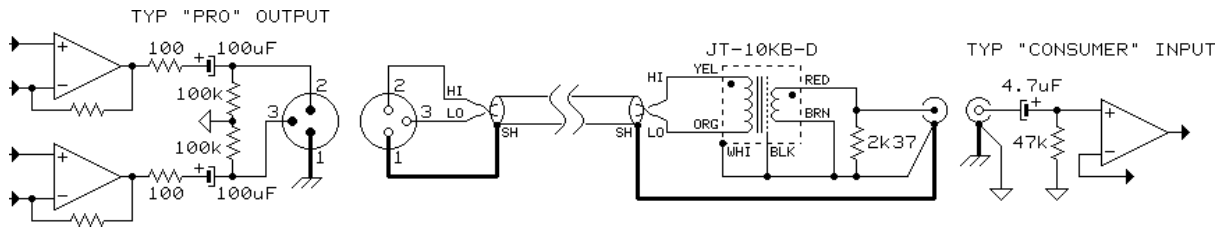
d'un isolateur utilisant un transformateur de *sortie* ordinaire. Il améliore le ronflement à 60 Hz d'un peu plus de 20 dB, mais a peu d'effet sur les artefacts de bourdonnement au-dessus d'environ 1 kHz. Un isolateur de haute qualité utilisant un transformateur d'*entrée* augmente la réjection à près de 100 dB à 60 Hz et à environ 65 dB à 1 kHz. 3 kHz. Pour obtenir la meilleure réjection de bruit possible, n'utilisez pas de câble à 2 conducteurs entre la sortie asymétrique et l'entrée de l'isolateur. Utilisez plutôt une entrée symétrique (connecteur XLR) et le câble à 3 conducteurs câblé comme dans le branchement alternatif. Ces tests ont été effectués en utilisant un Sortie asymétrique 600 S



La réjection du bruit de masse est également souhaitable. Le graphique montre la réjection du bruit pour diverses interfaces *symétriques* à *asymétriques*. Le tracé supérieur à 0 dB représente une connexion directe, par exemple avec un adaptateur ou un câble adaptateur. Les **connexions directes posent des problèmes** en raison de la grande variété de circuits de sortie symétriques dans les équipements, chacun ayant ses propres limites. Certains, comme celui du schéma,

peuvent être endommagés si l'une de leurs bornes de sortie est mise à la terre. Les étages de sortie utilisent soit des transformateurs, soit des sorties "servo-balancées" très répandues,

doivent avoir une borne mise à la terre afin de produire un signal de sortie correct à l'autre. Mais la sortie "servo-équilibrée" peut osciller ou devenir instable si la connexion à la terre est effectuée à l'extrémité éloignée (réception) d'un câble[28]. [28] Ce dilemme peut être résolu en utilisant un transformateur. Le graphique du milieu montre qu'un transformateur de *sortie* réduit le ronflement à 60 Hz d'environ 50 dB et les artefacts de bourdonnement autour de 3 kHz de moins de 20 dB. Un transformateur d'*entrée* de haute qualité, tel que celui illustré ci-dessous, augmente la réjection à plus de 105 dB à 60 Hz et à près de 75 dB à 3 kHz.



Un isolateur à transformateur est la **seule** interface "universelle" qui fonctionnera bien avec **n'importe quel** étage de sortie connu. De manière pratique, un transformateur avec un rapport de transformation de 4:1 atténue également le signal de 12 dB.



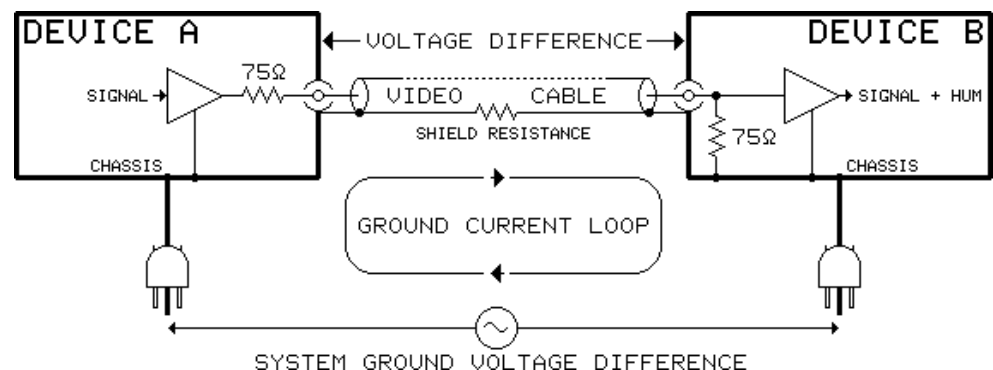
Isolateur Pro à
Consumer
Jensen ISO-MAX PC-2XR

4 - INTERFACES VIDÉO

4.1 - LE "HUM BAR"

L'Academic Press Dictionary of Science and Technology définit une barre de ronflement comme "une barre sombre et horizontale dans une image de télévision, causée par une interférence de ronflement dans le signal vidéo". Pour les écrans vidéo NTSC standard, une perturbation qui monte lentement vers le haut est sa signature. Le mouvement est causé par la légère différence de fréquence entre la fréquence de champ vidéo NTSC, 59,94 Hz, et les 60 Hz de la ligne électrique. La différence de fréquence de 0,06 Hz signifie qu'il faut environ 16 secondes pour passer du bas au haut de l'écran. Comme expliqué précédemment, les différences de tension à la terre sont souvent générées par le transformateur parasite du câblage du bâtiment et sont fonction des courants de charge des circuits de dérivation. Étant donné que de nombreuses charges, si ce n'est la plupart, tirent leur courant de ligne électrique sous forme d'impulsions à chaque sommet du cycle de courant alternatif (c'est-à-dire à 120 Hz), on observe le plus souvent une **paire** de perturbations.

Le blindage du câble vidéo coaxial est la voie de retour du courant du signal vidéo mais, comme le montre le dessin, il devient **également** un chemin pour le courant de terre de la ligne électrique. L'intensité du courant dans cette boucle dépend de



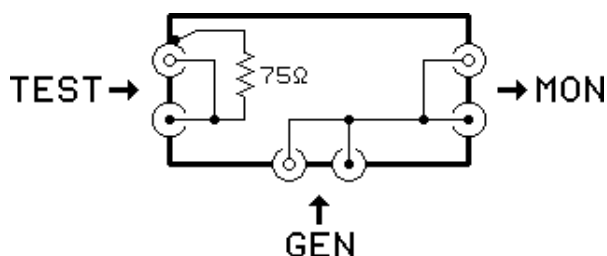
l'intensité du signal
vidéo.

la différence de tension entre la terre du système et la résistance totale de la boucle, conformément à la loi d'Ohm. Cela signifie également qu'une chute de tension, proportionnelle à la résistance du blindage, apparaîtra sur toute la longueur du câble. Les impédances du pilote (dispositif A) et du récepteur (dispositif B) étant égales, la moitié de cette tension est ajoutée au signal vu par le récepteur. Comme dans toutes les interfaces asymétriques, l'impédance (résistance) du blindage est commune au signal et aux chemins de courant de terre, créant ce mécanisme appelé **couplage à impédance commune**.

Un signal vidéo standard a une magnitude totale de 1 V crête à crête, dont environ 700 mV correspondent à la plage active noir-blanc de l'image affichée. Bien que certains écrans vidéo traitent la vidéo avec des circuits de "blocage de socle" qui les rendent plus tolérants aux perturbations à basse fréquence telles que les barres de ronflement, des interférences de moins de 7 mV crête à crête sont perceptibles dans de nombreux systèmes dans les conditions les plus défavorables. Par conséquent, une différence de tension de 14 mV crête à crête seulement d'une extrémité à l'autre d'un câble peut créer un problème visible. Les courants de fuite normaux provenant d'équipements équipés de fiches à deux broches causent rarement un problème de ronflement. En général, les problèmes ne surviennent qu'en cas de flux de courant plus élevé entre deux équipements mis à la terre.

4.2 - TROUVER L'INTERFACE DU PROBLÈME [21]

Il s'agit d'une simple variation des procédures de dépannage *audio*. Comme de nombreux moniteurs, si ce n'est la plupart, passent à l'écran bleu en l'absence de signal vidéo, ce test utilise une source vidéo portable pour maintenir l'affichage actif. Si vous travaillez beaucoup dans le domaine de la vidéo, vous possédez peut-être déjà un appareil similaire au générateur de motifs NTSC B&K Precision modèle 1257. Il est important que le générateur soit alimenté par une batterie et non mis à la terre. L'autre chose dont vous aurez besoin est un adaptateur de test ou un "mannequin" câblé comme indiqué ci-dessous. Il est pratique de le placer dans une petite boîte en aluminium moulé utilisant des connecteurs RCA et BNC.

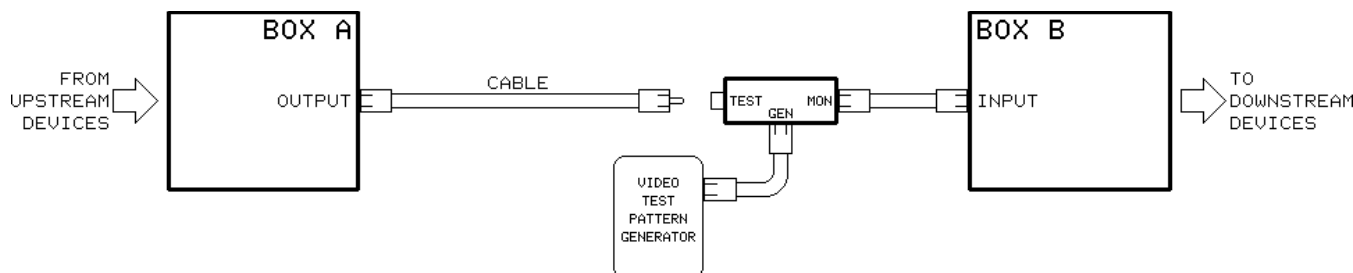


En plaçant temporairement le mannequin et le générateur à des endroits stratégiques du système, on obtient des informations précises sur la nature du problème. Le câble entre le mannequin et le boîtier B doit être aussi court que possible et beaucoup plus court que le câble testé. **Commencez toujours par l'entrée de l'écran et RETOURNEZ vers les sources de signaux.**

Chaque interface de signal est testée selon une procédure en quatre étapes :

Étape 1

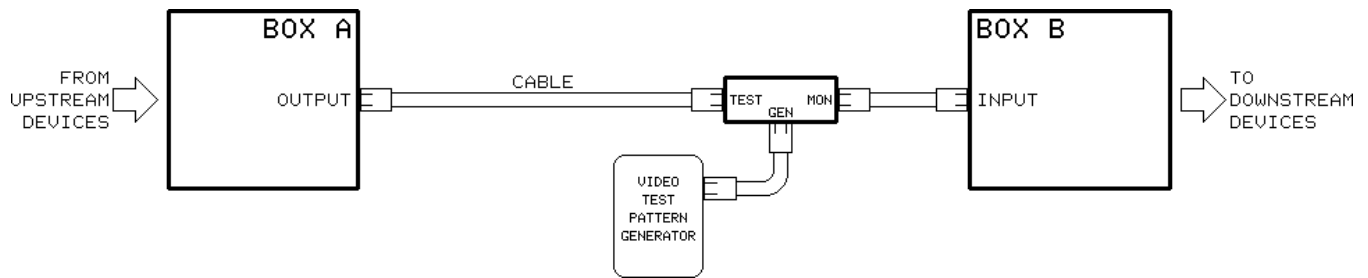
Débranchez le câble de l'entrée du boîtier B et connectez le générateur fictif comme indiqué ci-dessous en utilisant un câble très court. *Ce test empêche tout courant de bruit, qui pourrait autrement circuler dans le blindage du câble, de pénétrer dans la boîte B.*



La perturbation a disparu ? **Non** - le problème se situe soit au niveau de la boîte B, soit plus en aval. Rebranchez le câble et effectuez ce test sur l'interface aval suivante.
Oui - passez à l'étape suivante.

Étape 2

En laissant le mannequin/générateur en place, branchez le câble dans le mannequin comme indiqué ci-dessous. *Ce test permet au courant de bruit dans le blindage du câble d'entrer dans la boîte B.*

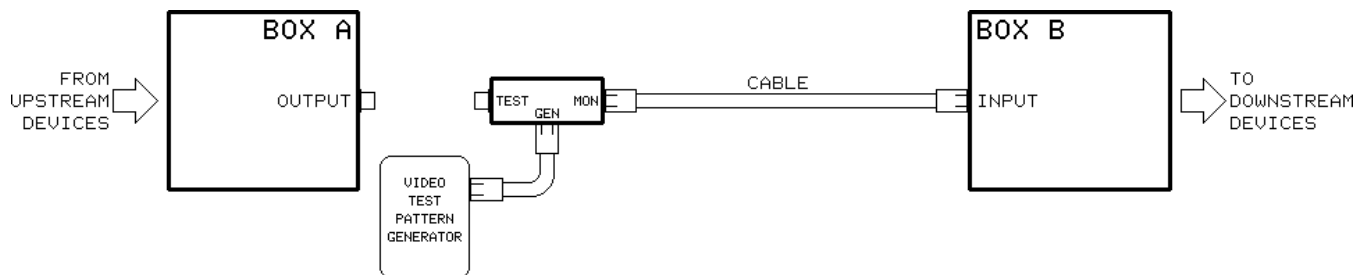


La perturbation a disparu ? **Non** - le problème peut être dû à un couplage d'impédance commune à l'intérieur de la boîte B ou d'un dispositif plus en aval. Si l'entrée est différentielle (c'est-à-dire que le blindage n'est pas directement mis à la terre), le problème peut être dû au dépassement de ses limites de tension en mode commun. Si le problème ne vient pas du boîtier B, reconnectez le câble et commencez la procédure de test sur l'interface suivante en aval.
Oui - passez à l'étape suivante.

Étape 3

Retirez le générateur fictif et branchez le câble directement sur l'entrée du boîtier B. Débranchez l'autre extrémité du câble de la sortie du boîtier A et branchez-le sur le générateur fictif comme indiqué ci-dessous.

Ne connectez PAS le mannequin à la boîte A et ne le laissez pas toucher quoi que ce soit de conducteur. *Cette étape permet de tester le câble lui-même pour détecter le bruit induit par des champs magnétiques ou électrostatiques. L'extrémité la plus éloignée du câble est laissée électriquement flottante pour éviter tout autre flux de courant dans son blindage.*



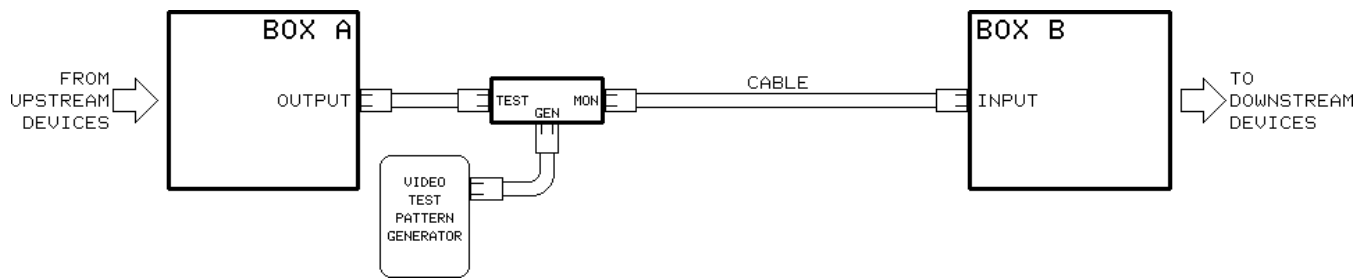
La perturbation a disparu ? **Non**, la perturbation est induite dans le câble lui-même. Ce phénomène est le plus souvent causé par un champ magnétique alternatif puissant à proximité du câble. Redirigez le câble pour éviter ce champ. Les sources de tels champs comprennent les câbles d'alimentation à courant élevé, les transformateurs de puissance et les écrans à tube cathodique. Le couplage de champs électriques est également possible, mais *extrêmement* rare dans les systèmes vidéo, à moins que le blindage lui-même ne soit cassé ou déconnecté.

Oui - passez à l'étape suivante.

Étape 4

En laissant le générateur fictif en place sur le câble, connectez le générateur fictif à la sortie du boîtier A comme indiqué ci-dessous. *Ce test empêche la boîte A de piloter la boîte B mais permet*

au courant de terre de circuler à travers le blindage du câble qui les relie.



La perturbation a disparu ? **Non** - le courant de terre est couplé par l'impédance commune du blindage du câble. Installez un dispositif d'isolation de la terre approprié.

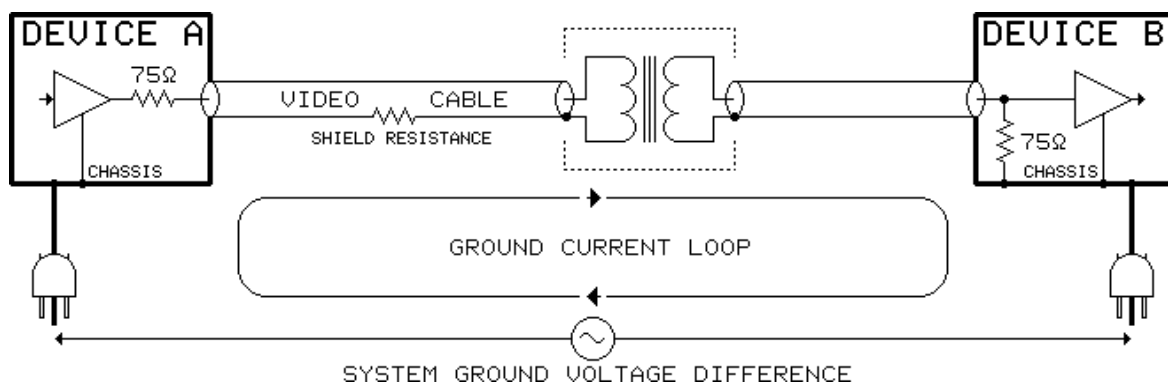
Oui - la perturbation existe sur la sortie du boîtier A. Effectuez ce test en quatre étapes sur l'interface entre le boîtier A et la source de signal en amont.

4.3 - SOLUTIONS [25]

Aux fréquences de puissance, environ la moitié de la chute de tension sur la longueur du blindage d'un câble coaxial est ajoutée directement au signal vidéo. Par conséquent, l'objectif de toute solution est de réduire cette chute de tension. De toute évidence, il est logique de réduire autant que possible les différences de tension de terre du système, mais cela nécessite souvent des modifications ou un recâblage coûteux de l'alimentation électrique. De même, l'utilisation de câbles plus courts ou de types ayant une résistance de blindage plus faible réduira l'impédance de couplage. Mais, si aucune de ces mesures n'est pratique, la solution générale consiste à réduire le courant de blindage en insérant dans le trajet du signal un dispositif à haute **impédance de mode commun** (c'est-à-dire l'impédance à la tension apparaissant entre ses entrées et ses sorties). Il existe trois types de dispositifs de base pour ce faire :

Transformateurs d'isolation véritable

Comme un transformateur audio pour les interfaces asymétriques, un transformateur convertit le signal vidéo lui-même en un champ magnétique alternatif qui induit ensuite un signal de réplique dans l'enroulement secondaire. Comme les deux enroulements sont électriquement isolés, l'impédance de mode commun est très élevée à 60 Hz. De même, la tension de masse n'est limitée que par l'isolation interne et atteint couramment 300 volts ou plus.



Isolateur vidéo composite
Jensen ISO-MAX VB-1RR

Par conséquent, le plus grand avantage d'un transformateur est que le courant de boucle est réduit à des niveaux négligeables et que la réjection des ronflements reste très élevée, même avec des **différences de tension de terre extrêmes** et/ou des **câbles très longs**.

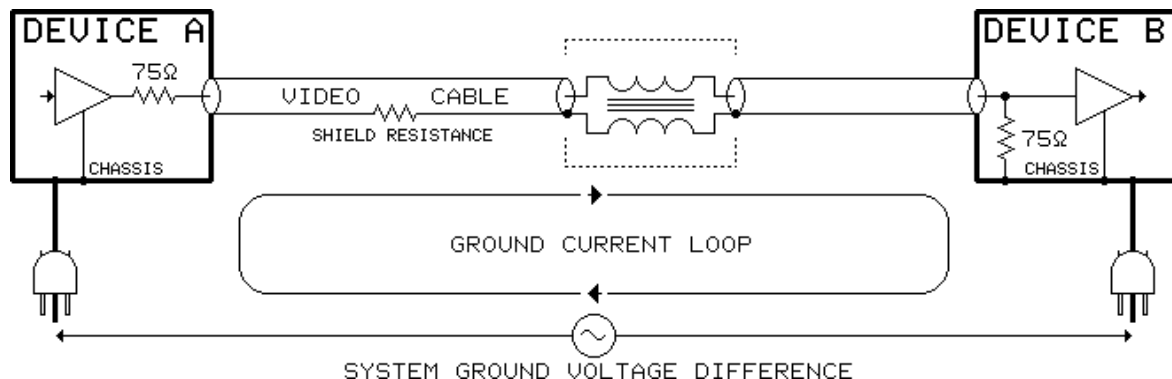


Isolateur S-Vidéo
Jensen ISO-MAX VS-1SS

Les transformateurs sont également passifs (c'est-à-dire qu'ils ne nécessitent aucune alimentation) et bidirectionnels (ils transmettent les codes de contrôle de la caméra, par exemple, dans la direction opposée). Leur principale **limite est la largeur de bande**. Les transformateurs réalisables ne peuvent pas avoir de réponse en courant continu et sont limités à une gamme de fréquences d'environ 1 000 000:1. Pour la vidéo NTSC, une mauvaise réponse en basse fréquence peut faire varier le niveau de noir du haut vers le bas de l'image - c'est ce qu'on appelle "l'inclinaison du taux de champ". Pour obtenir de bonnes performances à cet égard, il faut une réponse en basse fréquence allant jusqu'à environ 10 Hz. Par conséquent, les transformateurs vidéo pratiques et de pointe ont une bonne réponse de 10 Hz à 10 MHz environ, ce qui les rend adaptés à la plupart des applications *composites* ou *s-vidéo*.

Selfs à mode commun

Qu'on l'appelle éliminateur de ronflement, supprimeur de ronflement, humbucker, inhibiteur de boucle de terre, isolateur de boucle de terre ou (à tort) transformateur, la solution la plus largement utilisée pour les barres de ronflement est la self de mode commun ou CM. Bien qu'ils utilisent des enroulements et un noyau comme un transformateur, leur construction et leur fonctionnement sont fondamentalement différents.



En se référant au schéma, on remarque que le courant du *signal* vidéo circule du dispositif A au dispositif B par l'enroulement supérieur et revient par l'enroulement inférieur. Comme les deux enroulements ont le même nombre de tours et que le même courant les traverse dans des directions *opposées*, leurs champs magnétiques s'annulent et il *n'y a pas de champ magnétique lié au signal*. Cependant, le courant de **boucle de terre** circule dans le blindage et les conducteurs internes dans le *même* sens (presque tout le courant circule dans le blindage car le circuit du conducteur interne a une impédance beaucoup plus élevée). Par conséquent, le courant de boucle de terre produit un champ magnétique dans le noyau qui réagit avec la bobine pour créer une inductance (aussi appelée self), qui détermine l'impédance de mode commun. Les deux "enroulements" sont en fait une seule longueur de câble coaxial miniature. Inductance pour

Les unités commerciales vont généralement de 25 à 250 mH, ajoutant respectivement 10 à 100 S à l'impédance de la boucle de terre à 60 Hz. Comme expliqué précédemment, puisque la self est maintenant la plus haute impédance de la boucle de terre, la plupart de la différence de tension de terre apparaîtra maintenant entre ses ports d'entrée et de sortie. Cependant, il y a une **limitation sur la tension de terre**. différence. Le matériau du noyau et le nombre de tours utilisés déterminent la tension en mode commun à laquelle le noyau devient



magnétiquement "saturé", ce qui fait chuter l'impédance de la self. Par conséquent, les différences de tension à la terre dépassant un certain niveau provoquent des ronflements. rejet de se détériorer ou de disparaître.
Commercial

Selfs à mode commun multicanaux
Jensen ISO-MAX VBH-3RR et VBH-5BB

Les appareils varient beaucoup à cet égard ! Comparez attentivement les caractéristiques techniques (si vous les trouvez) !

Comme les transformateurs, les selfs CM sont également passives et bidirectionnelles. Le principal avantage d'une self CM est sa **large bande passante**. La réponse en basse fréquence s'étend jusqu'au courant continu et la réponse en haute fréquence n'est limitée que par la longueur et le type de câble coaxial utilisé dans l'enroulement. Les bandes passantes typiques vont de 100 à 1 000 MHz, ce qui rend ces unités adaptées aux systèmes de télévision haute définition. Les unités commerciales sont disponibles dans des configurations à 1, 3 et 5 canaux pour les formats composite, RVB, RVBHV et autres formats multicanaux. Les versions à 5 canaux peuvent être utilisées avec des câbles de rupture qui les adaptent également à de nombreux formats d'affichage informatique.

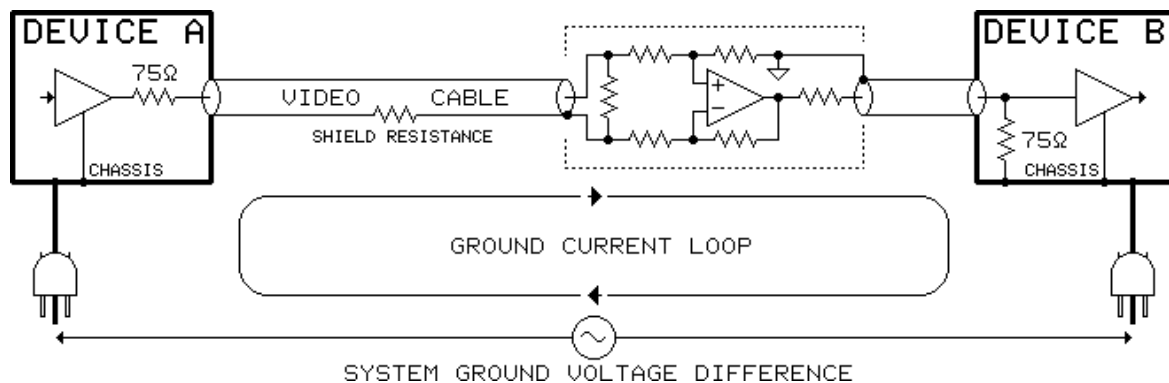
Amplificateurs d'isolement



Isolateur d'entrée
différentielle

Accessoire vidéo VB/VDA-H

Un amplificateur différentiel, tel que l'amplificateur généralisé illustré dans le schéma, a la capacité de "neutraliser" sa réponse à la tension en mode commun. Bien entendu, aux fréquences vidéo, le circuit doit être conçu avec soin pour maintenir une bande passante élevée. Dans les conceptions typiques, l'impédance de mode commun est d'environ 1 kS. Cette impédance de mode commun relativement faible rend la réjection très dépendante des impédances de la source d'entraînement. Dans un système vidéo, ces impédances varient en fonction de la résistance du câble (longueur) et de la précision de la source 75 S. Par conséquent, la plupart des amplificateurs différentiels nécessitent un réglage "trim" pour obtenir une réjection maximale en mode commun. Cela peut être un inconvénient dans



les systèmes portables où les câbles sont fréquemment changés ou réacheminés. Bien que les amplificateurs différentiels nécessitent une alimentation et contiennent des circuits actifs, des caractéristiques telles que des sorties multiples et un gain réglable peuvent être utiles.

Quelle est la largeur de bande nécessaire ?

Source typique	Format	Résolution	Fréquence d'images	La bande passante*
Cassette vidéo VHS	NTSC	240 "Lignes TV"	30 Hz	4 MHz

Diffusion analogique	NTSC	330 "Lignes TV"	30 Hz	6 MHz
Std Digital Broadcast, DVD	SDTV	480i 720 x 480 pixels	30 Hz	15 MHz
"DVD "progressif	EDTV	480p 720 x 480 pixels	60 Hz	30 MHz
Ordinateur	XGA	1024 x 768 pixels	60 Hz	71 MHz
Diffusion HD, DVD	HDTV	720p 1280 x 720 pixels	60 Hz	83 MHz

Diffusion HD, DVD	HDTV	1080i 1920 x 1080 pixels	30 Hz	93 MHz
Ordinateur	SXGA	1280 x 1024 pixels	60 Hz	118 MHz

* est égal à $1,5 \times$ le nombre total de pixels $\times$ la fréquence de rafraîchissement (*formule fournie par Peter Putman*) pour les formats numériques, et $1,5 \times$ la largeur de bande inhérente de la source pour les formats analogiques. Pour les bonnes conceptions, cette ! 3 dB de largeur de bande globale entraînera une perte de résolution négligeable.

Quel dispositif utiliser ?

Bien entendu, les exigences en matière de performances dépendent de la bande passante requise, de la différence de tension de terre présente, ainsi que de la longueur et du type de câble au niveau de l'interface problématique. Quelques points à garder à l'esprit :

- Quel que soit le type d'appareil, la réjection du bruit de fond diminue à mesure que le câble s'allonge. Un dispositif qui fonctionne bien sur un câble de 10 pieds peut produire des résultats inacceptables avec un câble de 100 pieds.
- Les différences de tension à la terre peuvent dépasser la capacité d'un appareil. Les tensions maximales peuvent aller de 0,1 volt à 1 500 volts rms (pour les appareils optocouplés), selon la marque et le modèle.
- Les câbles coaxiaux eux-mêmes limitent la largeur de bande. Par exemple, ! 3 dB pour 100 pieds de RG6 ou RG11 est d'environ 300 MHz ; pour 100 pieds de RG59, environ 150 MHz ; pour 1 000 pieds de RG11, seulement 5 MHz.
- Les informations essentielles peuvent être manifestement absentes des fiches techniques des fabricants. Dans de nombreux cas, une spécification clé, telle que le "rejet" ou le "CMRR", est proposée sans indice sur la manière dont le test a été réellement effectué - ou pourrait être vérifié par un sceptique comme moi !

5 - INTERFÉRENCES RF ET TRAITEMENTS DES LIGNES ÉLECTRIQUES

5.1 - ELLE NOUS ENTOURE

Les interférences électromagnétiques, communément appelées EMI, ne sont pas difficiles à trouver - elles sont en fait très difficiles à éviter, surtout dans les zones urbaines. Elles peuvent être **rayonnées** (par l'air) et/ou **conduites** (par les câbles de signaux ou d'alimentation) dans l'équipement. Les sources courantes d'interférences rayonnées comprennent les émissions AM, ondes courtes, FM et TV ; les émetteurs de radio amateur, CB, télécommande, téléphone sans fil, téléphone cellulaire et une myriade d'émetteurs commerciaux de radio bidirectionnelle et de radar ; et les appareils RF médicaux et industriels. Les étincelles électriques, y compris les soudeurs, les moteurs à balais, les relais et les interrupteurs sont de **puissantes** sources d'interférences rayonnées et/ou conduites à large bande. Parmi les sources moins évidentes, citons les arcs électriques ou les décharges en couronne sur les isolateurs de lignes électriques (fréquents dans les zones côtières ou à forte humidité) ou les dysfonctionnements des éclairages fluorescents ou au néon. Bien sûr, la foudre (l'étincelle ultime) est un producteur bien connu d'interférences momentanées sur pratiquement tout ce qui est électronique. Comme les lignes électriques et téléphoniques se comportent également comme d'énormes antennes extérieures, elles regorgent souvent de signaux radio AM et d'autres interférences (voir "Ce n'est pas seulement du 60 Hz").

Mais les sources les plus gênantes se trouvent généralement à l'intérieur du bâtiment et les interférences sont transmises par le câblage électrique. La source incriminée peut se trouver dans la même pièce que votre système ou, pire encore, elle peut faire **partie** de votre système ! Les contrevenants les plus courants sont les gradateurs d'éclairage bon marché, les lampes fluorescentes, les écrans à tube cathodique et les appareils dotés d'une alimentation à découpage.

L'immunité aux RFI fait partie d'une bonne conception des équipements. Bien que les tests de susceptibilité aux RFI soient

désormais obligatoire en Europe, le marquage CE n'est certainement pas une garantie de performance sans faille. Malheureusement, une grande partie du matériel disponible aujourd'hui présente encore une très faible immunité. Dans les systèmes audio, les symptômes peuvent aller de la démodulation réelle des signaux radio, CB ou TV, entendus comme de la musique de fond ou des voix (bourdonnement dans le cas des signaux TV) à des distorsions plus subtiles, souvent décrites comme une qualité "voilée" ou "granuleuse" dans l'audio reproduit[11]. [11] Les systèmes vidéo, RF et de données peuvent présenter un large éventail de symptômes. Dans des conditions défavorables, des mesures externes peuvent être nécessaires pour obtenir une immunité adéquate[29]. [29]

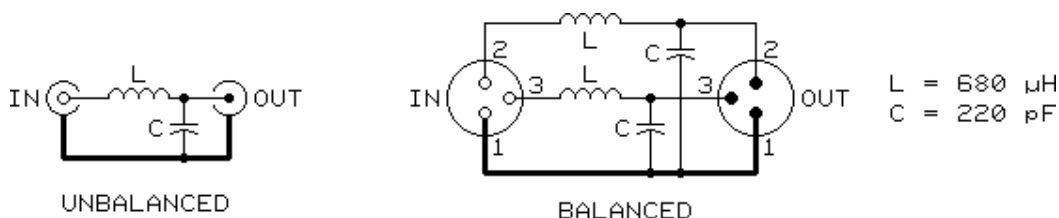
5.2 - SQUELCHING RF

Pour les interférences RF supérieures à environ 20 MHz, les noyaux de ferrite "clamshell" s'installent facilement sur l'extérieur des câbles existants et peuvent être très efficaces. Dans la plupart des cas, ils fonctionnent mieux lorsqu'ils sont placés sur le câble à l'extrémité de réception ou à proximité. On peut souvent les rendre plus efficaces en faisant passer le câble plusieurs fois dans le noyau.



Si cela est inadéquat, ou si la fréquence est plus basse (comme la radio AM), un filtre RFI passe-bas (rejetant les hautes fréquences) peut être nécessaire dans la ligne du signal. Les schémas ci-dessous présentent des exemples de filtres pour des applications de niveau ligne asymétrique et symétrique. Pour de meilleures performances et une qualité audio optimale,

Utilisez des condensateurs céramiques de type NP0 ou C0G avec des fils extrêmement courts (de préférence moins de 1/4"). Les inductances 680 μ H sont de petits noyaux de ferrite - courant nominal et résistance en courant continu.



ne sont pas critiques. Pour les interférences supérieures à 100 MHz environ, une ou deux perles de ferrite sur un fil peuvent remplacer L. Dans des situations très difficiles de radio AM, il peut être nécessaire d'utiliser des valeurs plus élevées de C - jusqu'à environ 1000 pF maximum. Pour le filtre équilibré, les inductances et les condensateurs doivent être Tolérance de $\pm 5\%$ ou mieux. Ces filtres fonctionnent généralement mieux à l'extrémité de réception du câble, les entrées étant généralement plus sensibles aux RF que les sorties - bien que ce ne soit pas toujours le cas. S'ils sont utilisés pour des lignes microphoniques de faible niveau, il convient d'utiliser des inductances toriques miniatures afin d'éviter tout risque de ronflement dû à des champs magnétiques alternatifs parasites.

5.3 - BASE TECHNIQUE

Les schémas de mise à la terre dits "techniques" ou "isolés" peuvent *parfois* réduire le bruit électrique dans le système de mise à la terre de sécurité. Ils sont surtout applicables dans les

situations où **le conduit peut entrer en contact avec l'acier du bâtiment, des conduites d'eau, des conduites de gaz ou d'autres structures** qui peuvent être mises à la terre et transporter des courants bruyants. Des prises de terre isolées spéciales ou "IG" (généralement de couleur orange) sont utilisées, qui isolent intentionnellement la borne verte de mise à la terre de sécurité de leurs étriers ou selles de montage. Par conséquent, la mise à la terre de sécurité n'est pas assurée par la "boîte en J" et le conduit, mais par un fil vert *isolé* distinct qui doit être ramené au panneau électrique à *côté des conducteurs blanc et noir du circuit pour maintenir une faible inductance*. Le plus souvent, le câblage n'est pas relié en chaîne à des prises sur le même circuit de dérivation, de sorte que le courant de fuite bruyant d'un appareil est moins couplé aux autres.

sur le même circuit de dérivation. Cependant, le couplage inductif entre les conducteurs de phase et le conducteur de terre (une source majeure de différences de tension de terre entre les prises) **n'est pas** réduit.

Les pratiques techniques de mise à la terre sont couvertes par l'article 250-74 du NEC et ses exceptions.

5.4 - ISOLATION, FILTRES ET "ALIMENTATION ÉQUILBRÉE" DE L'ALIMENTATION

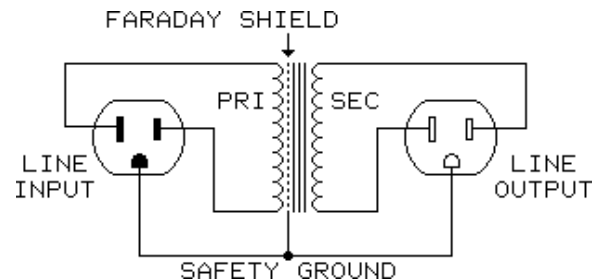
Comme les bruits du système sont le plus souvent couplés à la ligne électrique, les solutions qui, d'une manière ou d'une autre, la "nettoient" ou la "purifient" ont un grand attrait intuitif. Cependant, d'après l'expérience de cet auteur, de tels traitements ne produisent généralement que des améliorations marginales, voire aucune. En général, la solution la plus rentable est d'identifier et d'éliminer les boucles de masse ou d'autres problèmes qui permettent au bruit de s'introduire dans les trajets des signaux. Cette approche résout le véritable problème. **Traiter la puissance pour se débarrasser du bruit, c'est comme utiliser un fusil de chasse au lieu d'une balle d'argent pour cibler le problème !**

Tout d'abord, lorsqu'un filtre de ligne, un conditionneur ou un transformateur d'isolement est utilisé, le Code exige que le dispositif ainsi que sa charge soient toujours connectés à la terre de sécurité, comme indiqué.

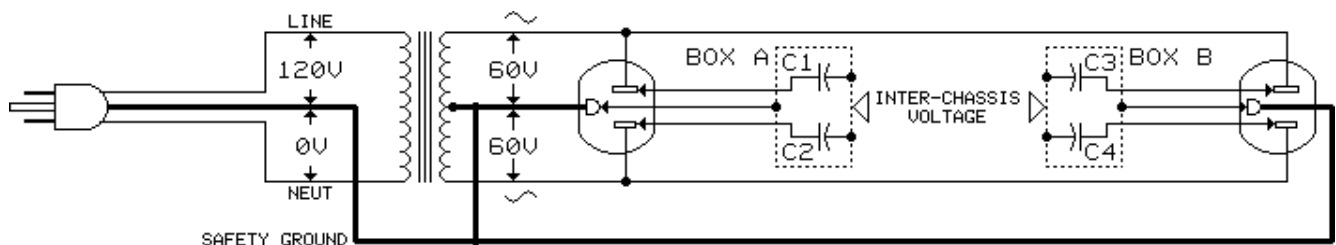
Comme les capacités des enroulements des transformateurs et/ou les condensateurs de filtrage détournent des courants de bruit supplémentaires de 60 Hz et de haute fréquence dans le système de mise à la terre de sécurité, ils *aggravent fréquemment le problème qu'ils prétendent résoudre*.

Deuxièmement, les chiffres d'atténuation du bruit vantés pour pratiquement tous ces dispositifs de ligne électrique sont

très peu réaliste. Les mesures sont effectuées avec tout l'équipement (générateur, détecteur et appareil testé) monté sur un grand **plan de masse** métallique. Bien que les spécifications résultantes soient impressionnantes, elles ne *s'appliquent* tout simplement pas aux performances dans une situation réelle où la mise à la terre se fait par des fils ou des conduits de sécurité. Mais ces dispositifs **peuvent** être très efficaces lorsqu'ils sont installés au niveau du branchement électrique, où toutes les masses de sécurité du système sont physiquement très proches d'un point de référence commun (généralement la tige de terre).



Transformateur d'isolement de puissance



L'alimentation équilibrée tente d'annuler le courant de terre avec des tensions symétriques

"L'alimentation équilibrée" ou, plus précisément, l'alimentation *symétrique* en courant alternatif

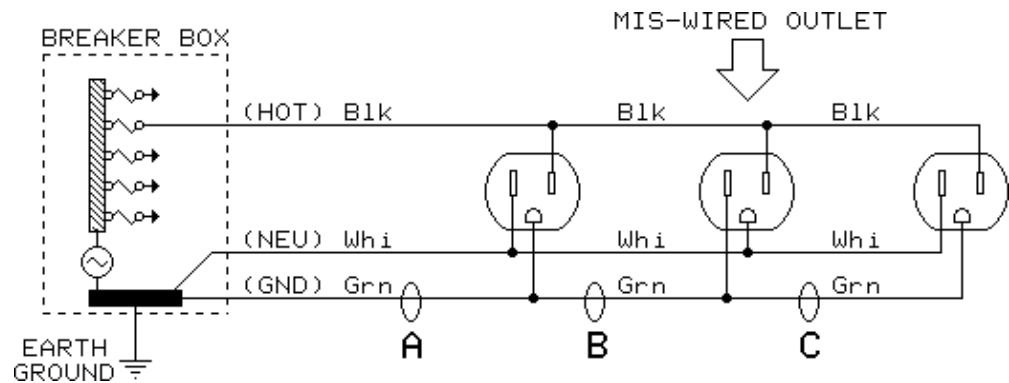
est un concept séduisant. Cependant, ses partisans *supposent* souvent, à *tort*, que l'équipement possède des capacités précisément adaptées entre chaque branche de la ligne d'alimentation et le châssis (C1 et C2 ou C3 et C4) lorsqu'ils expliquent comment il annule le bruit de masse. Bien sûr, *si cela était vrai*, les courants de bruit capacitifs provenant de chaque branche de 60 volts seraient alors d'égale magnitude et de polarité opposée, et s'annuleraient complètement. Mais cette hypothèse **n'est pas** valable pour l'écrasante majorité des équipements du monde réel, dont les rapports de capacité sont souvent de 3:1 ou 4:1. Même les partisans de la puissance équilibrée admettent que **la réduction réelle du bruit est généralement inférieure à 10 dB et dépasse rarement 15 dB** (rappelons que les réductions de bruit de 10 dB sont généralement décrites comme "moitié moins fortes" par les auditeurs). Et il est peu probable que les fabricants d'équipements adoptent un jour des transformateurs de puissance coûteux avec des enroulements primaires capacitivement "équilibrés" ou des filtres RFI utilisant des condensateurs de précision.

Mais l'alimentation symétrique peut s'avérer rentable dans *certain*s systèmes. Un exemple pourrait être une installation de duplication vidéo ayant 50 interconnexions vidéo asymétriques (coaxiales) et des barres de ronflement à un niveau inacceptable de ! 30 dB. Dans ce cas, l'amélioration de 10 dB que l'on peut attendre d'une alimentation symétrique (ou d'une " mise à la terre technique ") pourrait réduire les barres de ronflement à un niveau plus acceptable de ! 40 dB, résolvant ainsi efficacement le problème. Mais, pour l'audio, une amélioration de 10 dB fera rarement la différence entre des performances inacceptables et acceptables !

En réalité, bon nombre des avantages souvent attribués aux systèmes de "traitement de l'énergie" sont simplement dus au fait de brancher tous les équipements du système sur la même barrette de prises ou sur un circuit de dérivation dédié. Pour des raisons évidentes, c'est toujours une bonne idée !

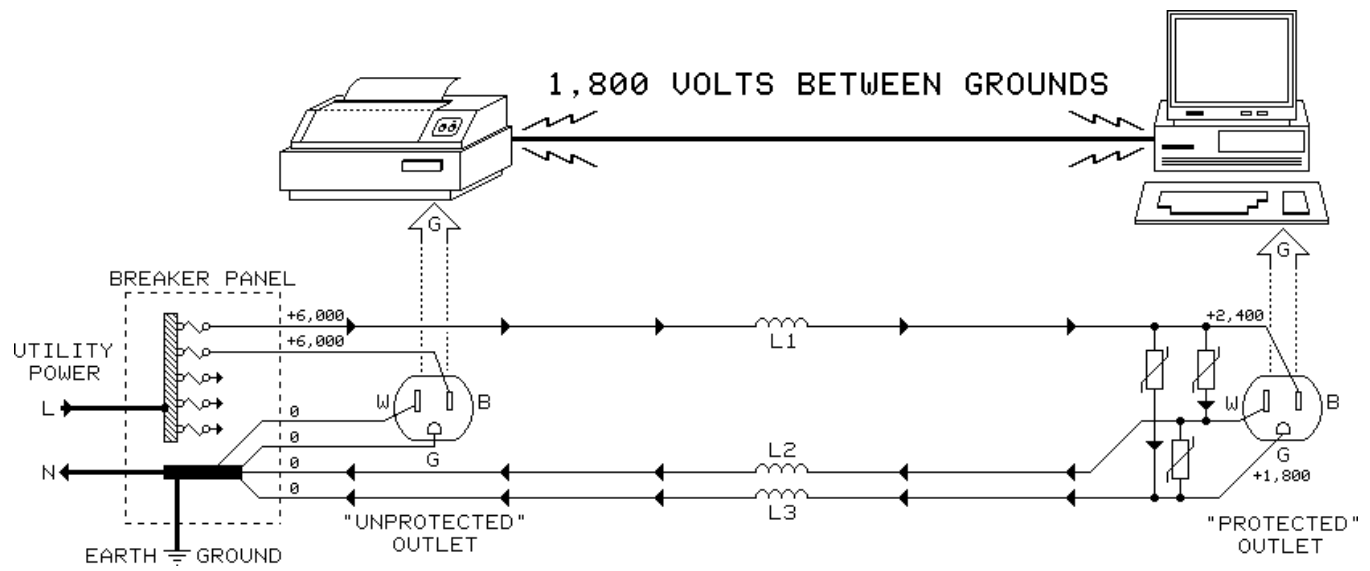
Une simple erreur de câblage de prise de courant qui intervertit les conducteurs neutres et de terre de sécurité permet au *courant de charge* de circuler dans le câblage de terre de sécurité. Les chutes de tension anormalement élevées ainsi créées peuvent provoquer un **bruit de masse important** dans les systèmes utilisant des équipements mis à la terre en toute sécurité. Cette erreur *ne peut pas* être trouvée avec une simple prise de courant

mais la mesure du courant aux points A, B et C avec une pince ampèremétrique le révélera clairement. [30]



5.5

Au cours des dernières années, la peur, les histoires d'horreur et la science de pacotille ont été utilisées pour vendre une multitude de dispositifs de protection contre les surtensions. Cependant, l'utilisation irréfléchie de parasurtenseurs **conventionnels** sur les prises de courant peut en fait augmenter le risque de dommages matériels ! Les supprimeurs ordinaires utilisent trois dispositifs MOV (varistance à oxyde métallique) qui détournent l'énergie de la surtension vers le système de mise à la terre de sécurité. Comme le montre le schéma suivant, lors d'une surtension ou d'un pic, des différences de tension très élevées sont créées dans le système de mise à la terre de sécurité. Lorsque les lignes de signaux relient des appareils sur différentes prises ou circuits de dérivation, les circuits d'interface sont souvent endommagés lorsqu'ils sont exposés à ces tensions élevées. [31]



Pour se protéger contre les surtensions induites par la foudre, des dispositifs de protection doivent être installés **à l'entrée principale du service**. Pour protéger les sous-circuits ou les pièces d'équipement, je recommande vivement les supprimeurs **en mode série**, tels que ceux fabriqués par Surge-X. Plutôt que de détourner l'énergie de la surtension, les dispositifs en mode série présentent une *impédance élevée* à la surtension qui limite son courant et dissipe lentement son énergie. Ils ne déversent pas de bruit ou de courants élevés potentiellement dommageables dans le système de mise à la terre de sécurité.



Protection contre les
surtensions en mode série
Surge-X SX-2120



Protection en mode série pour circuit de
dérivation
Surge-X SX-15NE

RÉFÉRENCES :

- [1] Gerke, D. et Kimmel, W., *The Mysteries of Grounding*, IEEE EMC Society Newsletter, Summer 1998, pp. 13-14.
- [2] Whitlock, B., *Ground Rods : Magical Noise Sinks ?*, Sound & Video Contractor, novembre 2000, pp. 102-103.
- [3] Whitlock, B., *Surge Protection : The Enemy Within*, Sound & Video Contractor, juillet 1999, pp. 94-95.
- [4] Morrison, R. et Lewis, W., *Grounding and Shielding in Facilities*, Wiley-Interscience, New York, 1990, pp. 47-49.
- [5] Modèle 34000, Technology Research Corp., Clearwater, Floride, Tél. (727) 530-9580, www.trci.net.
- [6] Hiser, S., *1997 Electrocutions associées à l'utilisation de produits de consommation*, United States Consumer Products Safety Commission, 2000, www.cpsc.gov.
- [7] Mah, J. et al, *1997 Residential Fire Loss Estimates*, United States Consumer Products Safety Commission, 2000, www.cpsc.gov.
- [8] Morrison, R., *Solving Interference Problems in Electronics*, première édition, John Wiley & Sons, 1996, p. 35.
- [9] Morrison, R. et Lewis, W., *Grounding and Shielding in Facilities*, Wiley-Interscience, New York, 1990, pp. 168-169.
- [10] Whitlock, B., *Hum & Buzz in Unbalanced Interconnect Systems*, Application Note AN004, Jensen Transformers, 1996, www.jensentransformers.com.
- [11] Jensen, D. & Sokolich, G., *Spectral Contamination Measurement*, Audio Engineering Society 85th Convention, 1988, Preprint #2725.
- [12] Keltz, A., *Unbalanced vs. Balanced Lines and Cables*, Articles techniques, Whirlwind USA
- [13] Ott, H., *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, Second Edition, John Wiley & Sons, 1988, p. 116.
- [14] *Reference Data for Radio Engineers*, Fifth Edition, Howard W. Sams, 1972, p. 11-1.
- [15] Whitlock, B., *A New Balanced Input Circuit for Maximum Common-Mode Rejection in Real-World Environments*, Audio Engineering Society 101st Convention, 1996, Preprint #4372, disponible sur www.jensentransformers.com.
- [16] Muncy, N., *Noise Susceptibility in Analog and Digital Signal Processing Systems*, Journal of the Audio Engineering Society, juin 1995, p. 435-453.
- [17] Brown, J. et Whitlock, B., *Common-Mode to Differential-Mode Conversion in Shielded Twisted-Pair Cables (Shield-Current-Induced Noise)*, Audio Engineering Society 114th Convention, 2003.
- [18] Windt, J., *An Easily Implemented Procedure for Identifying Potential Electromagnetic Compatibility Problems in New Equipment and Existing Systems : The Hummer Test*, Journal of the Audio Engineering Society, juin 1995, pp. 484-487.
- [19] Fielder, L., *Dynamic Range Issues in the Modern Digital Audio Environment*, Journal of the Audio Engineering Society, mai 1995, pp. 322-339.
- [20] Pease, R., *Troubleshooting Analog Circuits*, Butterworth-Heinemann, 1991.
- [21] Whitlock, B., *Losing the Hum Bar, Part 1 - Troubleshooting*, Sound & Video Contractor, mai 2002, pp. 26-30.
- [22] Whitlock, B., *Balanced Lines in Audio Systems : Fact, Fiction, and Transformers*, Journal of the Audio Engineering Society, juin 1995, pp. 460-462.
- [23] Ott, H., *op. cit.* p. 105.
- [24] Morrison, R., *Noise and Other Interfering Signals*, John Wiley & Sons, 1992, p. 55.
- [25] Whitlock, B., *Losing the Hum Bar, Part 2 - Product Solutions*, Sound & Video Contractor, juillet 2002, pp. 20-26.
- [26] *PolyPhaser Modèle IGA-90V*, PolyPhaser Corporation, Minden, Nevada, (800) 325-7170, www.polyphaser.com.
- [27] Whitlock, B., *Interconnection of Balanced and Unbalanced Equipment*, Application Note AN003, Jensen Transformers, Inc, 1995.
- [28] Hay, T., *Differential Technology in Recording Consoles and the Impact of Transformerless Circuitry on Grounding Techniques*, Audio Engineering Society 67th Convention, 1986, Preprint #1723.
- [29] Whitlock, B., *Understanding and Controlling RF Interference*, Sound & Video Contractor, février 1999, pp. 78-80.
- [30] Whitlock, B., *Neutral Ground*, Sound & Video Contractor, juin 2001, pp. 24-26.
- [31] Whitlock, B., *Surge Protection : The Enemy Within*, Sound & Video Contractor, juillet 1999, pp. 94-95.
- [32] Muncy, N., *The Benefits of Surgex Surge Suppression*, www.surgex.com/pdf/surgex11001.pdf.

DES SUGGESTIONS DE LECTURE POUR UNE ÉTUDE PLUS APPROFONDIE :

- 1. Whitlock, B., *Handbook for Sound Engineers*, 3e édition, Focal Press, 2001, Glen Ballou, éditeur, chapitre 11, *Transformateurs audio* et Chapitre 32, *Mise à la terre*.
- 2. Morrison, R. & Lewis, W., *Grounding and Shielding in Facilities*, 1ère édition, John Wiley & Sons, 1990.
- 3. Morrison, R., *Solving Interference Problems in Electronics*, 1ère édition, John Wiley & Sons, 1996.

Révisé le 30 janvier 2005

Remarque importante - La mention de produits spécifiques et/ou l'inclusion de leurs images dans le présent document ont pour seul but d'illustrer des exemples et n'impliquent pas l'approbation de l'auteur.

Romex® est une marque déposée de General Cable Industries,
Inc. ISO-MAX® est une marque déposée de Jensen Transformers,
Inc. InGenius® est une marque déposée de THAT Corporation.
ExactPower® est une marque déposée d'Atlantis Power Quality Systems, Inc.

Transformateurs Jensen, Inc. (nouvelle adresse à partir de
janvier 2005) 9304 Deering Avenue
Chatsworth, Californie 91311

Internet : www.jensen-transformers.com ou www.iso-max.com
Téléphone : (818) 374-5857 (9h00 - 17h00 PST,
fermé le vendredi)

Fax : (818) 374-5856 (7 jours/24 heures)

Courriel : info@jensen-transformers.com

Bill Whitlock e-mail : whitlock@jensen-transformers.com