

Approche de la préamplification Hi-Fi de qualité...

De nombreux amplificateurs dignes de la Haute Fidélité moderne, dont le 225 TURBO, ont été publiés dans nos colonnes. Avant de vous conduire à réaliser votre préamplificateur stéréophonique, il nous semble important d'éclaircir le sujet dont la philosophie d'étude est fondamentalement différente des circuits de puissance.

Parce que l'auteur vous proposera différentes techniques dont certaines n'ont pas forcément bonne réputation, il s'expliquera sur ses choix qui restent arbitraires : ce sont des solutions qui pourtant ont donné d'excellents résultats d'écoute.

Etudier un circuit performant qui emploie du matériel courant n'est pas si simple qu'il y paraît, mais présente l'avantage pour le lecteur d'un approvisionnement facile.

Les alimentations

C'est comme on le devine le point de départ des performances, et nous pensons que bien des réalisations du commerce pèchent par ce point.

Il faut absolument rejeter les descentes d'alimentation utilisées à une certaine époque qui consistaient à reprendre la tension (plus élevée) d'alimentation de l'amplificateur pour ensuite l'abaisser par résistance aux différents points d'alimentation des étages préamplificateurs.

La tension d'alimentation d'un étage donné est en effet par ce système tributaire de sa consommation instantanée même si un découplage capacitif est effectué ; de sorte qu'on s'éloigne de l'idéal théorique exploité d'ailleurs dans les schémas équivalents qui veut que les deux pôles d'alimentation d'un circuit, d'un point de vue uniquement dynamique soient un court-circuit.

Avec les circuits modernes de régulation de tension, il est simple et économique de parvenir à approcher la perfection théorique d'alimentation. On dispose alors de la meilleure réponse transitoire et généralement de protections multiples incluses dans les boîtiers.

La figure 1 symbolise ce qui précède que le lecteur devra retenir comme l'expression du plus élémentaire bon sens. Si par chance la totalité des sous-ensembles du préam-

plificateur s'alimente sur le même potentiel continu, la stabilisation deviendra plus économique que les réseaux passifs, et la performance est en prime.

Comment les distribuer dans l'appareil

Ce point est très important et n'apparaît pas sur un schéma de principe : c'est au moment de la réalisation que l'on s'interroge. Ne cachons pas que c'est un inconvénient des

préamplificateurs Hi-Fi que de nécessiter un câblage fourni y compris sur les alimentations continues.

Reportez-vous à notre figure 2 qui montre trois cas possibles de réalisation pratique. Soient A, B, et C trois étages de consommation différente (par exemple RIAA, tonalité et ampli de sortie).

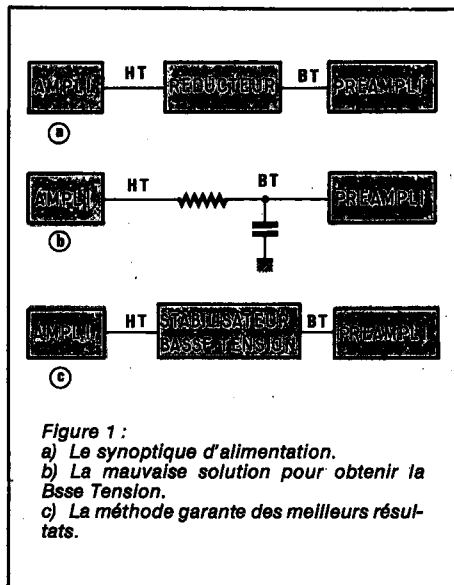
Aux bornes du bloc d'alimentation existe une faible résistance interne qu'il faut tenter de retrouver en A, B et C.

- 1^{er} cas : A est bien alimenté mais B voit une résistance plus forte, et C qui est le plus gourmand en courant est en bout de ligne !

- 2^e cas : Nous le qualifierons de « moins pire », bien qu'il soit plus astucieux. En effet A, B et C voient ici sensiblement la même résistance de ligne, mais les liaisons directes inter-étages continuent à introduire un bruit aléatoire de circulation, très critique pour un étage RIAA (accrochages, ronflements accentués, etc...)

- 3^e cas : C'est le bon montage car A, B et C sont totalement indépendants et voient tous la plus basse résistance de ligne, celle du bloc d'alimentation en fait. Hélas, ceci conduit à tirer beaucoup de fils entre les circuits, et c'est pourquoi beaucoup y renoncent ; c'est pourtant la première astuce pour minimiser le bruit d'un préampli...

Pour un maximum de clarté des dessins, nous avons omis de repré-



senter les découplages capacitifs qui accompagnent A, B et C. Ils sont indispensables pour compenser les longueurs des fils et feront l'objet d'une mention ultérieure.

Minimiser les champs magnétiques 50 et 100 Hz

Parce qu'un étage RIAA est généralement apte à amplifier des fréquences de cet ordre avec une tension d'attaque proche du millivolt et un gain de 1 000 (60 dB), ce point est extrêmement critique.

Quand des câbles relient entre elles des impédances atteignant les 100 k Ω , il faut évidemment qu'ils soient blindés. Pourtant le blindage d'un fil n'est pas un éliminateur parfait de ronflements secteur : il ne fait que les limiter.

Ceci explique qu'un éloignement physique du transfo et du circuit RIAA soit indispensable. La meilleure pratique consiste à enfermer chacun d'eux dans un coffret métallique individuel. Comme l'ensemble des composants du circuit RIAA est sensible au rayonnement secteur, certains constructeurs mettent en boîte (métallique) ce préamplificateur à l'intérieur du coffret.

Ceux qui réalisent l'ensemble TURBO seront dispensés de cette mécanique supplémentaire grâce à l'emploi d'un transformateur torique peu rayonnant enfermé dans le coffret amplificateur. Nos préamplificateurs compatibles utiliseront le ± 30 V du panneau arrière pour élaborer un ± 15 V sans transformateur auxiliaire : ce n'est pas par hasard...

Les composants mécaniques

Nous entendons par là connecteur DIN ou RCA (CINCH), rotacteurs, inverseurs à bascule, potentiomètres, etc., disposés sur le parcours du son. En raison des impédances élevées des circuits qu'ils raccordent, et des faibles tensions en jeu, le courant électrique réel est dérisoire.

A titre d'exemple, considérons que 100 mV circulent dans 100 k Ω ; la

division donne un courant de 1 microampère qui parcourt des contacts de switches ou des curseurs de potentiomètres. Si l'on sait que la résistance de contact diminue lorsque croît la taille des contacts, il paraît clair que des commutateurs de puissance sont préférables.

Le lecteur peut objecter qu'un ohm est négligeable devant 100 k Ω : c'est vrai. Mais le problème se situe différemment, il concerne l'oxydation de ces contacts. Quand un switch coupe 1 ampère, il observe une étincelle sur les points de contact qui a un effet nettoyant. Quand il coupe 1 million de fois moins, il n'y a aucune étincelle et donc aucun auto-entretien du contact mécanique.

Pour cette raison, les constructeurs de ces composants présentent souvent des options pour un produit donné qui sont le dépôt d'argent ou d'or sur les extrémités des contacts (parfois les deux métaux successivement). A titre d'exemple, les excellents rotacteurs ELMA (Suisse !) emploient des plots en laiton argenté avec flash d'or 0,5 microns, voire couche d'or dur 3 ou 5 microns. Leur emploi en préamplification est donc une excellente pratique.

Quand des connecteurs RCA plaqués or équipent une entrée RIAA, c'est pour cette même raison. Ne pas oublier qu'en vieillissant, un point de connexion qui s'oxyde devient semi-conducteur et constitue une excellente diode de détection radio.

Nous prenons au sérieux les propos de certains mélomanes qui parlent de distorsions « mécaniques » des préamplificateurs, qui sont attribuées autant aux curseurs des potentiomètres économiques (contact fantaisiste à faible courant) qu'à la connectique en général.

Pour résumer ceci, nous montrons en figure 3 ce qui est, et ce qu'il faudrait obtenir en réalité dans un préampli. La morale à retenir est qu'il faut minimiser le nombre de composants mécaniques en série avec la BF, et les choisir de bonne qualité.

Qu'on nous permette ici de passer un message aux firmes comme ELMA et ALLEN-BRADLEY (qui fabriquent aux USA les excellents potentiomètres de la série J) : est-il possible de trouver vos produits sur tout

le territoire à un prix accessible quand on est un particulier ?

La plupart des amateurs de Hi-Fi possèdent ou vont réaliser un préampli en composants économiques courants. Voici un conseil dans la rubrique secourisme : si votre préampli grésille, crachote, accroche ou parle du nez, les premiers soins pour son rhume des contacts peuvent être appliqués avec la bombe KF « F 2 » (facile à se procurer). Il faut manœuvrer le composant pendant et juste après application du fluide pour guérir votre appareil. Un tel préamplificateur s'enrhume une à deux fois par an selon nos statistiques.

Les masses ou la guerre des étoiles

Même dans les circuits véhiculant des courants faibles, on doit éviter de former des boucles de masse. En théorie, une masse est une masse. Ceci suppose des conducteurs de résistance nulle, et en pratique on dispose en fait de plusieurs masses électriquement différentes. L'expression « boucle de masse » désigne une configuration de masse dans laquelle une différence de potentiel existe entre deux points de masse.

Quand un système installé dans un coffret métallique formant masse montre une différence de 1 V entre deux points du châssis (le cas existe), si on considère la résistance finie comme égale à 1 Ω , il passe 1 Ampère dans la tôle, et elle dissipe 1 W de puissance. En revenant à la figure 2 (1^{er} cas), on imagine que les bus de distribution d'alimentation ont une résistance finie, ce qui signifie que A, B et C ont des potentiels différents et donc ne fonctionneraient pas de façon identique même si les circuits étaient les mêmes.

Prenons un autre exemple avec l'amplificateur opérationnel de la figure 4. Dans le premier dessin voici ce que l'on suppose avoir réalisé. Le second dessin montre la réalité du circuit laissant apparaître des résistances R₁ et R₂ de câblage formant un pont diviseur sur l'entrée + de l'ampli. La charge de sortie fait circuler un courant dans ces résistances qui conduit à un potentiel fini sur l'entrée +. Cette tension est en fait une tension de réaction, soit le meilleur

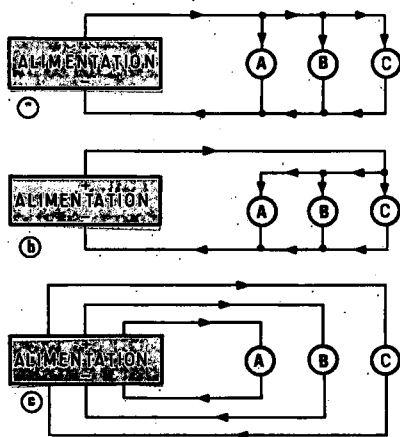


Figure 2 :
 a) Schéma réel de distribution déconseillé en préamplification B.F.
 b) Variante toute aussi problématique.
 c) Mode de distribution idéal, bien que long à câbler.

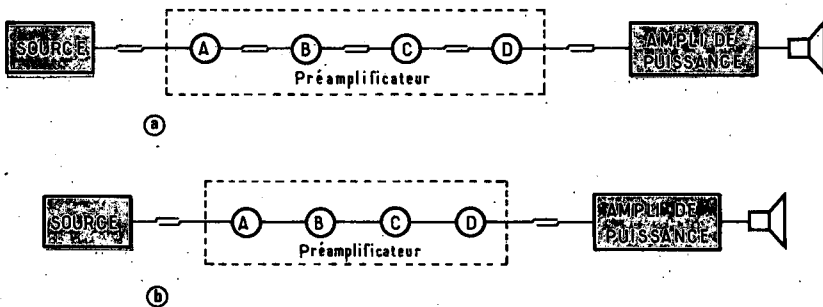


Figure 3 :
 a) Dans le cas général, il y a beaucoup trop de mécanique en circuit.
 b) Un idéal de réalisation pour le mélomane.

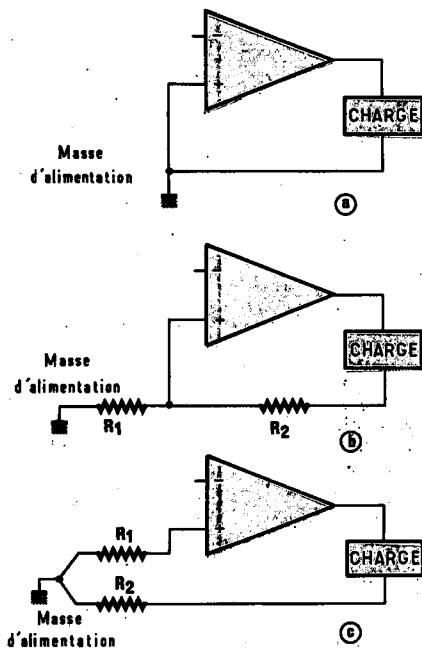


Figure 4 :
 a) Le circuit théorique.
 b) Le circuit pratique susceptible d'oscillations dues aux boucles de masse.
 c) Le circuit pratique qu'il faut réaliser pour un fonctionnement correct.

leur moyen de conduire l'étage complet à osciller ; c'est ainsi que l'on réalise un multivibrateur à ampli-op d'habitude.

Le dernier dessin de la figure 4 montre la bonne méthode de mise à la masse des deux connexions. Ce simple exposé montre bien que dans le cas d'un préamplificateur Hi-Fi, où beaucoup de connexions vont à la masse, un bus de distribution (ou le châssis) peuvent créer les pires situations de sortie, même sans excitation BF en entrée.

La comparaison d'un préampli avec une chaîne d'amplis-op est toujours possibles (même dans les réalisations transistorisées), ce qui nous permet de dire simplement que tout retour de masse d'une sortie en phase avec l'entrée + conduit à l'oscillation et à l'instabilité du préampli. Dans le cas d'une boucle en opposition de phase, les problèmes sont différents et se manifestent comme causant des erreurs de phase et des gains erratiques.

La solution consiste à employer un point unique de masse comme dans la figure 4 (dernier cas). Ici n'apparaît aucune tension de réaction pouvant causer l'accrochage H.F. Dans une réalisation sur circuit imprimé, il est très tentant de relier au plus court un composant à une piste de masse qui souvent entoure la carte. Cette méthode obligatoire en V.H.F. et surtout en U.H.F. à cause des longueurs d'ondes métriques ou centimétriques est formellement à proscrire en Hi-Fi (longueurs d'ondes kilométriques et plus).

Nous déconseillons également les plans de masse imprimés servant au contact des composants (effets de châssis bouclé), et finalement les cadres fermés qui forment une boucle idéale, soit un « autodrome » ou un « anneau de vitesse » pour les courants de masse.

Voyez notre figure 5 qui montre bien ce que chacun a pu rencontrer. Pour frapper l'imagination du lecteur, l'auteur emploiera des analogies qu'il vous prie d'excuser. Tout d'abord, nous avons exprimé par un point d'exclamation (!) ce qui est connu et fiable. Le point d'interrogation (?) symbolise la masse incertaine résultant d'un bouclage ou d'une mise en série. Les petites flèches représentent les composants aboutissant aux pistes de masse.

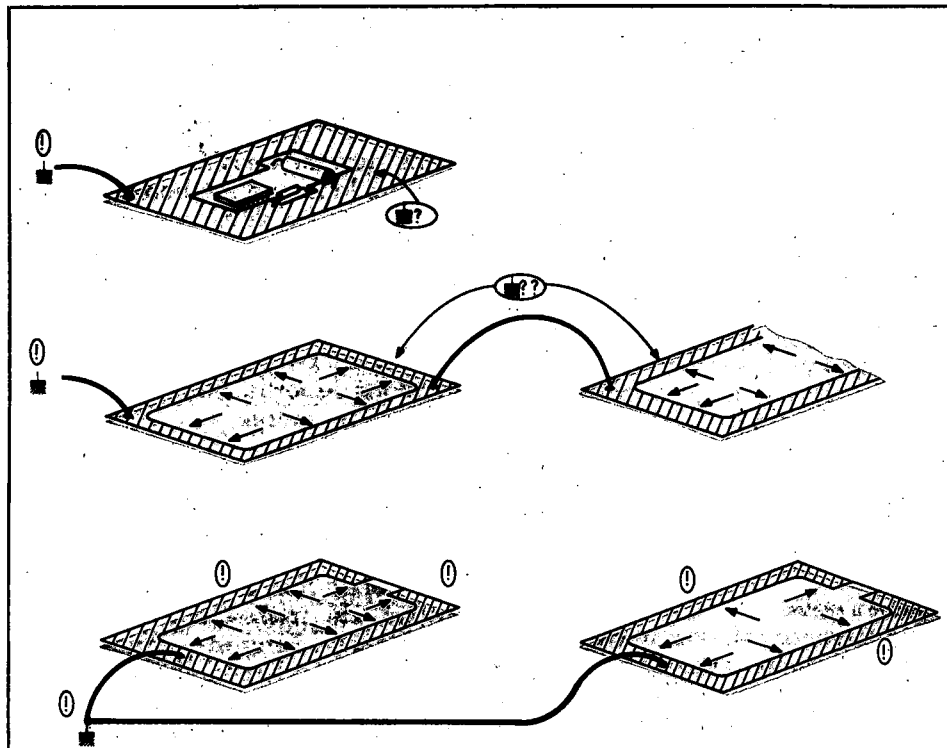


Figure 5 :

- a) Sur carte double face, un plan de masse ne doit servir qu'au blindage, pas à la polarisation des composants.
 b) Ici, chaque carte est bouclée et les masses sont en série avec le strap de liaison.
 c) Le même système corrigé pour un fonctionnement correct.

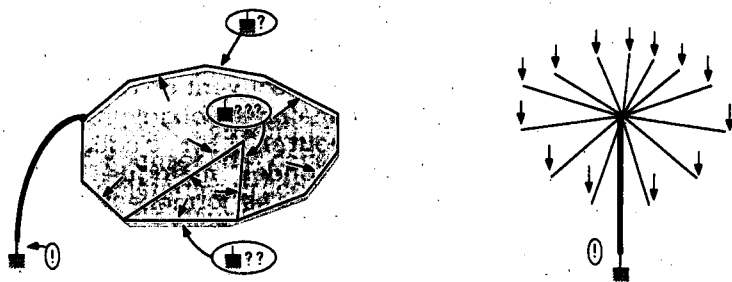


Figure 6 : Comparaison d'un circuit multibandes et d'un circuit en étoile.

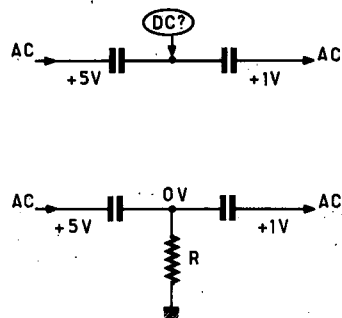


Figure 7 : Liaison flottante et liaison référencée entre deux étages.

Dans le premier cas, le plan de masse faisant blindage draine toutes les pollutions magnétiques et électrostatiques : c'est un collecteur d'égoût dans lequel on ne tremperait pas la queue d'un composant. Si quelques uns y sont soudés, c'est une erreur pratique à éviter pour le bruit.

Dans le second cas, deux cartes bouclées sont mises à la masse en série, et certainement un retour câblé en fin de chaîne : c'est presque le plan du Métro d'une grande ville, et tout y circule loin de la vraie masse.

La troisième cas est le bon : les boucles sont minimum (sur les cartes petits ruisseaux (composants) forment les grandes rivières (pistes), puis les fleuves (câbles) et enfin l'embouchure du courant (masse réelle).

Sur la figure 6 sont comparées les deux méthodes de réalisation en mode électrique. La bonne consiste à former une étoile dont le centre est relié à la masse de qualité. Les courants électriques et magnétiques s'annulent en ce point. Ouvrez donc votre parapluie et regardez l'intérieur : n'est-ce pas la meilleure illustration d'efficacité ?

Le problème des impédances élevées

Un préamplificateur Haute Fidélité est une mini-régie, donc un centre de contrôle du son. Ceci implique un câblage fourni entre les cartes électroniques et les composants mécaniques. Ce long travail de construction est, avouons-le, un des défauts de tels appareils. La grande quantité de fils blindés en présence demande beaucoup de patience et d'habileté au réalisateur amateur.

Ceci conduit tout naturellement à chercher à en limiter le nombre. La première pratique consiste à travailler avec de basses impédances dans les circuits à liaisons par fils. On doit considérer $100\text{ k}\Omega$ comme une valeur de potentiomètre maximale et tenter de travailler en dessous si possible. Les avantages sont nombreux en basse impédance :

— Courant plus élevé à effets auto-nettoyant pour les potentiomètres

— Relative insensibilité aux phénomènes de bruits et diaphonie causés par capacités et inductances parasites qui deviennent des composants actifs à haute impédance.

— Longueur réelle de câble moins critique, et possibilité de liaison en fil ordinaire (non blindé).

En contrepartie, la basse impédance nécessite à tension égale une puissance supérieure, et donc un transistor suiveur en plus dans le circuit ou davantage d'échauffement dans un circuit intégré, toutes choses qui élèvent un peu le niveau de bruit global du montage. Comme partout en matière de haute fidélité, après la loi du parapluie, voici la loi du compromis qui préside à toute conception (et réalisation).

bruyant que le bipolaire, surtout les modèles de FET courants. S'il existe dans certains catalogues, dont SILICONIX, des modèles caractérisés par un NF (noise figure) de 0,5 dB, ils ne sont pas dans nos prix. A titre de comparaison, les transistors cités plus haut ont des densités de bruit de 2 dB, 3 dB et 5 dB respectivement, ce qui est parfait.

Pour les circuits intégrés, on doit choisir des modèles étudiés pour une faible densité de bruit. Nous utiliserons dans nos réalisations le produit économique qu'est le Quadrafet μ AF 771 de Fairchild (ou TL 71), et ultérieurement nous introduirons le TDA 2310 de SGS-ATES qui est une nouveauté (prochainement en distribution).

Le bruit

Disons tout de suite qu'il n'est pas notre souci majeur en appartement. Au-delà de 100 W, il devient plus gênant quand la musique s'arrête. Combien de mélomanes ont préféré un magnétophone à bobines de haute qualité à un k7 équipé de réducteurs de souffle ? Bien plus qu'on ne le croit en fait, et ceci montre la subtilité de notre personne humaine.

En omettant les ronflettes et détections radio diverses, on trouve deux familles de bruit dans les préamplis audio : les bruits de résistances et les bruits de semiconducteurs. L'emploi de résistances à couche métallique résout le premier problème, et signalons que l'on trouve même des résistances au tantale qui constituent le haut de gamme (nous les croyons difficiles à se procurer actuellement).

Le bruit dans les transistors peut être réduit en minimisant les courants dans leurs jonctions et en utilisant des modèles de qualité — exemple la paire BC 414/BC 416 de Thomson, ou le 2N 3822 s'il faut du FET —. Du point de vue subjectif, signalons que si un transistor bipolaire et un FET ont un facteur de bruit égal sur le papier ou au laboratoire, ce bruit n'a pas le même son à l'oreille, et le FET est généralement considéré comme moins désagréable.

La décomposition du spectre en 1/F montre sur un analyseur qu'il y a bien à densité égale une physiologie différente. Pourtant, nous ne dirons pas que le FET est moins

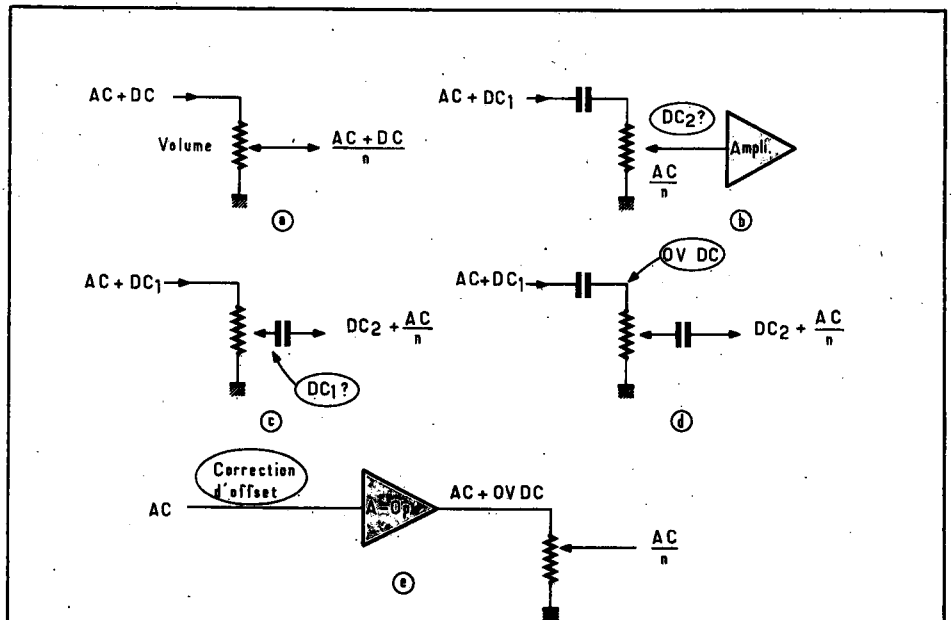


Figure 8 : Les réglages de volume.

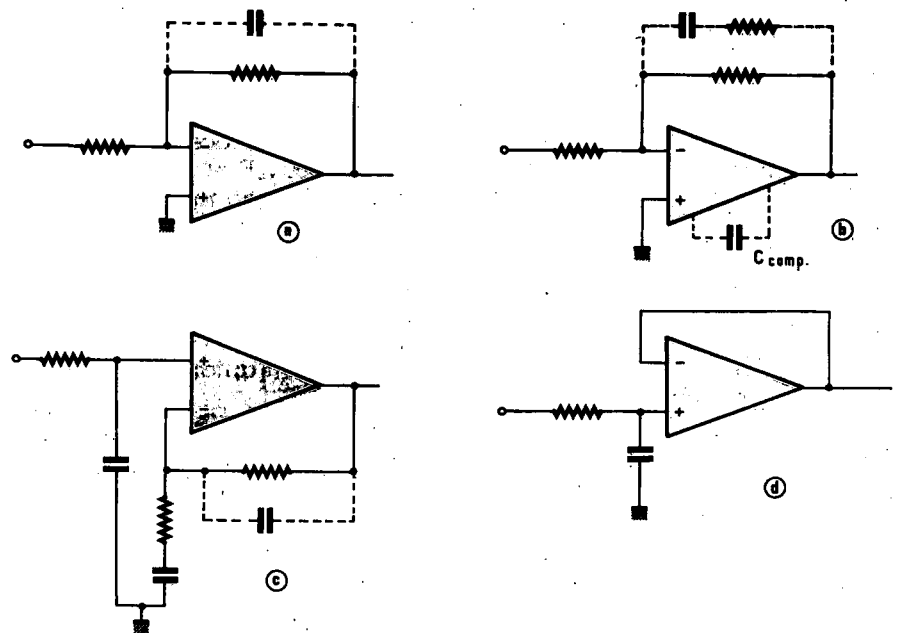


Figure 9 :
 a) Ampli-op compensé
 b) Ampli-op non compensé
 c) Ampli-op non déphaseur limité en vitesse
 d) Suiveur limité en vitesse

Les capacités de liaison

Employées pour bloquer la composante continue entre les étages actifs, elles sont contestables à l'oreille. Le terme réactif qu'elles introduisent est une cause majeure de rotation de phase et réduisant la marge de phase d'un étage, la stabilité dynamique globale se dégrade.

Hélas, il y a un minimum de liaisons capacitives à établir dans un préamplificateur, surtout aux entrées si elles peuvent être perturbées par un signal d'attaque porté par tension continue.

Notre figure 7 représente un cas typique de liaison problématique (par exemple entre préampli et ampli, ou tuner et préampli). On comprend bien que la jonction des deux condensateurs doit être référencée au 0 V continu par une résistance de valeur élevée qui dérive la somme des courants de fuite à la masse.

Dans le premier cas en effet, la jonction flottante a une polarisation parfaitement indéterminée en continu, variable suivant les fuites respectives des condensateurs, et le son sera « mou » voire distordu sur les crêtes. Si possible, supprimer un des deux condensateurs en série ; s'ils se trouvent chacun dans un appareil différent, placer R sur le cordon de liaison (dans une prise).

Un autre cas obligeant à l'emploi de capacités de liaison sur les préamplis est celui du bouton de volume sonore. Plusieurs configurations électriques sont possibles qui apparaissent sur la figure 8.

a) Le son (AC) est superposé à un potentiel continu fini (DC) et l'on retrouve une fraction du tout sur le curseur restant libre pour l'instant : rien ne peut y être relié en continu sans panne, et le potentiomètre « crache ».

b) on stoppe DC₁ par un condensateur, mais le potentiel DC₂ propre à l'ampli de sortie revient au curseur : près de la masse, il y a risque de panne, et le potentiomètre « crache ».

c) On bloque uniquement le retour de DC₂ : plus de risque de panne pour des valeurs ohmiques correctes, mais le potentiomètre « crache » toujours.

d) Les composantes continues DC₁ et DC₂ sont bloquées avant le potentiomètre (cas très fréquent sinon universel en technique « grand public ») : plus de « crachements » mais deux condensateurs créant une impédance complexe avec différen-

ciation puis intégration non équilibrées en alternatif, distorsion de phase et autres non-linéarités.

e) La solution qu'autorise un ampli-op très simplement : annulation du continu de sortie (DC = 0 V), plus de condensateurs ni de « crachements » si l'étage suivant est un autre ampli-op avec 0 V en entrée.

On retiendra donc qu'il faut le moins de condensateurs en série avec le son qu'il sera possible techniquement, soit trouver un compromis qui ne complique pas trop l'étude. Il est décidément peu simple de sortir des signaux vraiment carrés d'un préamplificateur qui en reçoit...

La tentation des amplis-opérationnels

Elle existe en premier lieu du fait de leur symétrie interne qui ressemble à l'ampli 225 TURBO (et à ses grands frères). Mais l'emploi de ces circuits intégrés a mauvaise réputation. Nous croyons que le bruit est secondaire, et l'avons dit plus haut, la distorsion d'Intermodulation Transitoire (DIT) et autres erreurs en dynamique.

Leurs gains en boucle ouverte sont très élevés, trop élevés pour ne pas poser un problème en Hi-Fi. Leur stabilité dynamique est également imparfaite et doit être corrigée de préférence avant l'attaque plutôt qu'en contre-réaction.

L'emploi d'un circuit intégré amplificateur commence par un bon découplage d'alimentation à ses bornes. Il faut placer un chimique de 10 μ F à 100 μ F et un mylar de 10 à 100 nF sur chaque polarité de l'ampli-op. En leur absence, on s'expose à des couplages inter-étages à travers l'impédance interne des lignes d'alimentation. Des oscillations lentes dites « motorboating » sont à craindre tout autant que des accrochages H.F.

L'adaptation dynamique d'un étage à ampli-op consiste à lui donner l'aptitude à restituer correctement des signaux carrés dans la bande utile. La figure 9 montre différentes pratiques stabilisant ce type de réponse sur des boîtiers courants. Examinons-les brièvement :

a) Soit un ampli-op à compensation interne (μ AF 771) : si l'on entre un signal carré, il sort différencié, soit enrichi en harmoniques « dures ». Une petite capacité (inférieure à 100 pF) est nécessaire sur la contre-réaction pour limiter le gain aux fré-

quences élevées. Elle vaut généralement moins de 100 picofarads.

b) Soit un ampli NE 5534/TDA 1034 qui n'est compensé que pour des gains de boucle égaux ou supérieurs à 3 (et instable en dessous). Cette fois-ci la méthode montrée en a) conduirait à l'oscillation garantie, car il faut d'abord établir C comp dans le circuit. Ceci fait, on monte un R-C série tel que le gain de boucle ne soit jamais inférieur à 3 (ou bien on donne à C comp une valeur élevée, supérieure aux 22 pF conseillés).

c) Un ampli non inverseur se voit limité en vitesse par un intégrateur à faible constante de temps sur son entrée positive : c'est la meilleure pratique pour lutter contre la DIT (et aussi contre les réceptions C.B. ou radio parasites). La compensation de boucle est secondaire et optionnelle.

d) Dans le circuit suiveur, la même limitation amont est disposée. À noter que l'on peut compenser la résistance physique d'entrée par une résistance de même valeur en série dans la boucle de contre-réaction.

Avec une observation attentive de tout ceci, il devient possible de faire travailler des amplificateurs opérationnels en régime « musical », car la lutte contre les distorsions en régime dynamique (très audibles) conduit à l'élimination du son « dur » ou « transistor » que l'on accorde habituellement à des circuits ordinaires. On ne peut concilier vitesse et vérité musicale en amplis-op. Toutefois, le choix de modèles à slew-rate élevé 13 V/μ sec. et convenablement limités en dynamique donne des résultats auditivement excellents.

Conclusion provisoire

Toutes les données que nous venons de développer ne sont que la partie visible de l'iceberg aux yeux de l'auteur. Pour ne pas lasser le lecteur, il s'arrêtera là pour cette fois, afin de vous présenter ses réalisations dont l'histoire et le résultat participent grandement de ce qui vient d'être dit. Sachez dès maintenant qu'il n'y a pas deux préamplificateurs identiques sur le papier qui le soient à l'écoute, et tentez votre chance, car c'est un appareil finalement raisonnable sur le plan du coût.