

# L'état de l'art de la reproduction sonore stéréophonique en automobile.

par Claude Carpentier

mise à jour du 25 Novembre 2003

*« Si l'énergie et l'intelligence dépensées à améliorer la reproduction stéréophonique en automobile au cours de ces 10 dernières années avaient été consacrées à un programme spatial, nous aurions déjà des résidences secondaires sur Mars. »*

G.L. Augspurger, Patent review  
J. Acoustic. Soc. Am. vol. 100 p.25(1996 July)

## **I – Le problème de la reproduction stéréophonique en automobile**

Cette réflexion (traduite de l'américain) est extraite du commentaire du brevet américain 5 420 929 déposé par Ford Automobiles USA le 30 mai 1995 et dont le titre est « Signal processor for sound image enhancement. »

Le commentateur a dû être impressionné par la liste de 13 brevets cités en référence par le déposant et tournant autour de la même idée.

Ce brevet propose de combler le vide du centre de l'image sonore en automobile en réduisant l'effet stéréophonique par adjonction dans chaque canal, d'une fraction du signal de l'autre canal.

C'est à ma connaissance la plus mauvaise idée qui ait été publiée sur le sujet et qui prouve une méconnaissance complète de la nature du problème réel posé par la reproduction stéréophonique en voiture.

Pour qu'un grand constructeur automobile se plante à ce point et qu'un ingénieur acousticien membre du review board du Journal de l'Audio Engineering Society n'y voit que du feu, c'est que l'affaire n'est pas évidente.

L'affaire n'est pas évidente, mais elle est simple et facile à expliquer. Le but de ce document est d'éclairer tous ceux qui s'intéressent à la hi-fi automobile sur la nature réelle du problème à résoudre et sur les solutions connues pour y remédier.

L'origine du problème, tout le monde la connaît : dans une voiture automobile normalement constituée, les passagers avants ne peuvent pas être situés tous les deux à égale distance des haut-parleurs droits et gauches.

La reproduction stéréophonique qui impose que l'auditeur soit situé à égale distance des deux enceintes droite et gauche paraît donc théoriquement impossible en voiture, tout au moins simultanément pour deux auditeurs situés côte à côte.

L'expérience confirme d'ailleurs largement la théorie puisqu'aux places avant, le son paraît très souvent provenir de l'environnement immédiat du haut-parleur le plus proche de l'auditeur. Et cela semble normal car le haut-parleur le plus proche est celui qu'on entend le mieux.

Mais la réalité est plus subtile. En effet, si l'on place un micro à un emplacement d'écoute et que l'on mesure la différence de niveau entre les haut-parleurs droit et gauche, on trouve en moyenne environ 3 décibels.

Or, lorsqu'on se place à égale distance des deux haut-parleurs et que par le moyen de la balance on avantage un canal de 3 décibels par rapport à l'autre, le centre de l'image sonore ne se déplace que légèrement, il ne vient pas quasiment se coller sur le haut-parleur dont le niveau a été avantage.

**Ce n'est donc pas la différence de niveau d'écoute** qui entraîne que dans une voiture on entend principalement le haut-parleur le plus proche.

La véritable raison est la suivante : la différence de distance entre l'auditeur et les enceintes provoque **aussi et surtout un conflit de phase de 180°** à certaines fréquences entre les canaux droit et gauche.

En effet, deux sources diffusant **le même signal** sont en opposition de phase pour un auditeur inégalement distant de ces deux sources, lorsque la demi-longueur

d'onde de la fréquence reproduite est un multiple impair de la différence de distance entre les deux sources et l'auditeur.

A ces fréquences, l'effet produit est le même que lorsqu'on inverse la phase d'une enceinte par rapport à l'autre d'une installation domestique. L'image sonore est détruite, les timbres sonnent le creux et le son est focalisé sur les haut-parleurs.

Les modulations à caractère purement stéréophoniques (comme le bruit rose non corrélé utilisé pour la mesure des courbes de réponse dans les concours IASCA) sont en général bien reproduites sur toute la largeur de l'habitacle car les deux canaux diffusent des signaux indépendants.

Le conflit de phase ne se produit, comme nous l'avons souligné, que lorsque les deux sources diffusent **le même signal**, c'est-à-dire pour les images sonores situées **au centre de la scène sonore** dont le caractère est essentiellement monophonique.

C'est ce phénomène qui explique la quasi absence de matière sonore dans l'axe de symétrie du véhicule.

C'est aussi ce phénomène qui explique que même lorsqu'on arrive par le moyen de la balance à amener pour un auditeur le centre de la scène sonore dans l'axe de symétrie de la voiture, l'image est à peu près respectée mais les timbres sont dégradés à cause des oppositions de phase.

Examinons maintenant à quelles fréquences se produit le conflit de phase. Pour cela, exprimons tout d'abord que la différence de distance  $d$  est un multiple impair des demi-longueurs d'onde :

$$d = (2n+1) \times L/2 \quad L : \text{longueur d'onde} \quad F : \text{fréquence}$$

Sachant que  $F = v/L$  et que  $v$  : vitesse du son = 330 m/s

$$F = 165 \times (2n+1) \times 1/d$$

La fréquence la plus basse concernée correspond à  $n = 0$   
Si  $d = 0,33$  mètres ce qui est une valeur courante, il vient :

$$F = 165/0,33 = 500 \text{ Hz}$$

A cette fréquence, nous nous trouvons en plein **centre de la bande des fréquences de la parole**. C'est ce qui explique que les speakers et les chanteurs placés au centre de la scène sonore sont systématiquement rejetés sur les cotés.

En ce qui concerne les instruments, ils se déplacent en fonction de la note jouée. En effet, si la fréquence de la note correspond à un multiple pair de la différence de distance, la position de l'instrument est conservée, et si elle correspond à un multiple impair de la différence de distance, l'instrument est rejeté vers les extrémités de la scène sonore.

La fréquence suivante est donnée par  $n = 1$ . C'est l'harmonique 3 de la précédente ce qui fait 1500 Hz qui est plus haut que la fréquence fondamentale moyenne de la voix humaine en conversation courante.

Le conflit de phase se met facilement en évidence en traçant deux courbes de réponse. La première avec les deux haut-parleurs en phase et la seconde avec les deux haut-parleurs hors phase. Il y a suspicion légitime de conflit de phase lorsque le niveau de la courbe hors phase dépasse celui de la courbe en phase.

Pour faire cette expérience, il faut introduire le même signal dans les deux canaux. Attention à ne pas utiliser sans précaution le bruit rose IASCA qui est un bruit non corrélé.

Le bruit rose IASCA est insensible à la polarité relative des deux canaux. Il donne la même courbe de réponse quelle que soit la phase relative des canaux, ce qui nous l'avons déjà souligné dans un document antérieur n'est pas le meilleur moyen de détecter les anomalies d'une configuration et notamment les conflits de phase.

Mais ceci est une autre histoire et on peut tout de même l'utiliser dans la détection des conflits de phase en introduisant soit la voie droite soit la voie gauche dans les deux canaux.

Lorsqu'on effectue de tels relevés on s'aperçoit qu'en réalité, les choses sont plus compliquées car la « zone hors phase » peut s'étendre sur plus de deux octaves. Il y a de toute évidence d'autres sources de conflits.

Par exemple, dans la VelSatis, la zone hors phase commence à 80 Hz atteint son maximum à 500 Hz et s'arrête brusquement à 700 Hz.

La meilleure configuration **au regard de ce problème** est celle qui produit naturellement c'est-à-dire sans traitement du signal le premier accident de phase le plus haut et le moins prononcé.

## **II - Quelle image en voiture ?**

Avant d'aborder les solutions connues pour améliorer les choses il n'est pas inutile d'aborder cette question. En effet, en supposant que l'on dispose d'un « super processeur » permettant de régler la scène sonore à volonté, où met-on le centre ?

La réponse est simple en cas de présence d'écrans vidéo. Le centre de la scène sonore doit alors coïncider avec le ou les écrans.

En l'absence d'écran vidéo, on peut sur le plan théorique hésiter entre l'axe de symétrie du véhicule et les axes des sièges pour avoir le centre en face de chaque auditeur.

Si l'image est étroite la première solution est préférable car la seconde ne laisse pas grand chose du côté de la porte.

Dans la pratique, un centre situé entre l'axe de la voiture et l'axe des sièges peut être considéré comme satisfaisant en écoute courante.

Les solutions pour remédier au conflit de phase peuvent se classer en deux grandes catégories : les solutions symétriques qui mettent le conducteur et le passager sur un pied d'égalité et les solutions asymétriques qui privilégient un auditeur (en général le conducteur) par rapport à l'autre.

## **III - Les solutions asymétriques**

### **1 – La stéréo alternée :**

C'est la moins connue des solutions asymétriques. Elle consiste à mettre un haut-parleur dans l'axe de symétrie du véhicule en lui faisant reproduire un canal, l'autre canal étant reproduit par les haut-parleurs d'extrémités.

De cette manière, le conflit de phase est supprimé car chaque auditeur est sensiblement à la même distance des canaux droit et gauche et le centre de l'image est

en face de chaque auditeur. Cette solution est asymétrique car la stéréophonie est obligatoirement inversée pour un des deux auditeurs.

Le principal inconvénient de cette solution est qu'elle réduit considérablement la largeur de l'image sonore et le résultat global manque indéniablement de charme.

Pour la petite histoire, cette solution a fait l'objet d'une demande de brevet que j'ai déposée dans les années 80 et qui a été antériorisée par un brevet américain qui proposait un moyen de reproduction sonore au cinéma consistant à placer un haut-parleur dans chaque accoudoir en alternant les canaux gauches et droits...

## 2 – Le processing de retard numérique:

La plus facile à mettre en œuvre et donc la plus couramment pratiquée des solutions asymétriques consiste à intercaler un processeur de retard sur l'un des canaux de manière à le remettre en phase avec l'autre.

Le son se déplace dans l'air à la vitesse constante de 330 mètres par seconde. Cette vitesse est indépendante de la fréquence reproduite. Pour que le son provenant des deux canaux arrive en même temps à l'auditeur, il suffit donc de retarder le canal le plus proche du temps nécessaire au son pour parcourir la différence de distance « d » entre les deux haut-parleurs et l'auditeur.

La distance d parcourue pendant un temps t par le son de vitesse v est  $d = t \times v$

D'où  $t = d/v$

Le retard r est donc donné par la formule  $r = d/v = d/330$

Dans laquelle r est en secondes et d est en mètres ?

Si  $d = 0,33$  mètres  $r = 0,0010$  secondes = 1 millisecondes

Avec du matériel de qualité, cette solution permet d'obtenir à la place favorisée des résultats de très bon niveau, avec des timbres respectés et un centre de l'image sonore mieux défini qu'en hi-fi domestique. Certains trouveront que l'image perd de la largeur. Ceci est dû à la suppression des principaux conflits de phase.

Pour l'autre auditeur, il y a dégradation des conditions d'écoute car la distance virtuelle avec le haut-parleur le plus éloigné est à peu près doublée et donc la première fréquence de conflit de phase apparaît dès 250 Hz.

Des processeurs de retard numérique sont proposés par la plupart des grandes marques d'autoradio. Ils ont souvent l'inconvénient de faire partie intégrante de systèmes fermés et non compatibles entre eux.

### 3- Les filtres all-pass

Certains appareils analogiques sont munis de fonctions appelées « delay ». Ces delay sont des circuits électroniques appelés « all-pass » dont la propriété est de conserver le niveau du signal intact mais de faire varier sa phase.

Il existe deux type de all-pass, d'une part les all-pass d'ordre 1 qui sont les plus courants dont le déphasage varie de manière continue avec la fréquence et d'autre part les all-pass d'ordre 2, plus intéressants car ils sont capables de fournir un retard constant sur une large partie du spectre.

La mise en œuvre de ce type de circuit requiert de solides connaissances en traitement du signal.

### 4 – Le processeur de phase **UNIPHASE**

Alors que toutes les grandes marques proposent depuis très longtemps des processeurs de retard, je crois que l'**UNIPHASE** est le seul processeur de son espèce.

J'ai mis au point L'**UNIPHASE** en 1998 dans le but de proposer aux amateurs de hi-fi automobile un système qui permette d'obtenir des résultats équivalents aux véritables processeurs de retard sur le plan du centrage de la scène sonore, mais qui en plus donne à l'image sonore une largeur plus importante.

En effet, l'idée est la suivante : corriger la première rotation de phase c'est-à-dire pour  $n = 0$  et laisser le haut du spectre en l'état pour élargir l'image sonore.

Electroniquement, l'**UNIPHASE** est un filtre passe-tout d'ordre 2.

Pour l'utilisateur son réglage est très simple, il suffit de tourner un bouton jusqu'à temps que le centre soit le plus proche de la position souhaitée.

L'avantage de l'**UNIPHASE** par rapport aux processeurs de retard classiques est un coût beaucoup moins élevé, une image plus large, une très grande facilité de réglage, et une grande souplesse d'intégration aux systèmes ouverts.

#### **IV - Les solutions symétriques**

Les solutions symétriques sont au nombre de six :

- l'installation d'un haut-parleur de voie centrale reproduisant la somme des canaux droit et gauche
- la configuration « kick-panels » qui consiste à mettre les haut-parleurs reproduisant le registre médium près des passages de roues avant
- la configuration bi-stéréo de Jean Luc Remy
- la configuration SeatBox qui consiste à mettre les haut-parleurs reproduisant le registre médium sous les auditeurs
- la voie centrale virtuelle
- le filtre **ISOPHASE THEORIQUE**

Les deux premières sont très connues et couramment pratiquées depuis des années.

La troisième, est assez ancienne puisque son brevet appartient maintenant au domaine public.

La quatrième et la cinquième que j'ai mis au point il y a maintenant deux ans, sont restées jusqu'à ce jour relativement confidentielles.

La sixième, qui est le résultat de travaux pour Renault et PSA est la plus prometteuse.

##### **1 – La voie centrale :**

L'ajout d'une voie centrale reproduisant la somme des canaux droit et gauche à une installation stéréophonique classique permet de combler le vide au centre de l'image sonore.

En hi-fi domestique, la voie centrale ne pose aucun problème d'intégration lorsque les enceintes utilisées sont identiques et que l'auditeur est au centre de l'image sonore.

Son principal inconvénient en voiture est qu'elle se trouve entre le canal le plus éloigné et l'auditeur, et vient donc masquer ce canal, d'où un effet de rétrécissement de la largeur de l'image sonore.

Afin d'éliminer cet inconvénient, j'ai mis au point, en 1996, le processeur **TRISCENIC\*\*\***, dans lequel le niveau des registres médium et aigu de chacun des canaux droits, centre et gauche est modulé dynamiquement par deux processeurs analysant les corrélations de niveaux et de phases entre les canaux droits et gauches.

Cette solution est délicate à mettre en œuvre au niveau de l'intégration physique du haut-parleur central au tableau de bord et pose de redoutables problèmes de réglages d'égalisation et de phase pour obtenir une image d'ensemble cohérente.

Mais grâce à la confiance que m'ont accordé **Zoran Kosic d'Audiomax** et **Norbert Thomas d'Espace-Auto-Equipements**, le **TRISCENIC\*\*\*** régna pendant plusieurs saisons sur les concours IASCA en France.

## 2 - Les « kick-panels » :

Monter des haut-parleurs en « **kick-panels** » consiste à les mettre près des passages de roue et inclinés vers les auditeurs. Cette solution permet de réduire notablement la différence de distance entre les haut-parleurs et l'auditeur.

Cette différence peut être réduite jusqu'à environ 25 cm ce qui remonte le premier accident de phase qui passe de 500 Hz à 660 Hz, ce qui est un progrès.

Mais on est encore assez loin des 15 cm souhaitables, et l'accident de phase est encore très présent. Une voiture a été championne d'Europe IASCA avec un Kick-panels monté volontairement en opposition de phase.

Les autres avantages de cette configuration sont d'une part d'avoir des haut-parleurs baffles et d'autre part mieux orienté par rapport aux auditeurs, ce qui entraîne en général une excellente reproduction du registre médium.

C'est une excellente solution pour mettre en valeur des haut-parleurs, mais le problème est qu'ils ont du mal à se faire oublier.

D'où en général une image sonore trop focalisée sur les haut-parleurs, un manque de largeur dû à la faible distance entre les haut-parleurs, et un centre qui reste

très pauvre, plus pauvre encore qu'en hi-fi domestique, ceci à cause du conflit de phase qui n'a pas complètement disparu.

La largeur et la hauteur peuvent être améliorées en mettant des tweeters au niveau du tableau de bord. Ces améliorations se payent trop souvent au prix fort par une perte de cohérence de l'ensemble message sonore.

### **3 – La bi-stéréo**

La bi-stéréo qui fût inventée en 1979 par Jean Luc Rémy consiste à placer deux groupes de haut-parleurs destinés à chaque auditeur avant, au-dessus du pare brise.

Cette solution a des qualités indéniables dont les principales sont un grand respect des timbres, un très bon rendement énergétique, une très bonne diffusion vers les places arrières et ce qui ne gêne rien, un charme indéniable.

Elle a été sérieusement étudiée par Renault et finalement écartée pour plusieurs raisons : d'une part comme pour les kick-panels, les haut-parleurs ont du mal à se faire oublier, en outre, une restitution du registre grave à un niveau commercial oblige à adjoindre au moins un haut-parleur spécialisé, ce qui fait 4 haut-parleurs au lieu de 2 ; enfin, l'exiguïté des voitures européennes rend sa mise en œuvre délicate.

### **4 – La configuration SeatBox**

L'idée à la base de cette invention a été la suivante : éviter le conflit de phase en **supprimant les ondes directes** entre les haut-parleurs et les auditeurs.

Pour cela il fallait trouver des emplacements dissimulés par rapport aux auditeurs.

Le résultat de la recherche fut une sorte de **pêche miraculeuse** car non seulement le résultat recherché fut atteint, c'est-à-dire que nous avons obtenu le centre de l'image sonore **dans l'axe de symétrie du véhicule à la fois pour le conducteur et pour le passager avant**, mais en outre, avec **une présence stupéfiante** compte tenu de l'absence d'ondes directes.

Ce résultat fut obtenu, en plaçant les haut-parleurs sous les auditeurs, suivant un axe proche de l'horizontale dans des plans parallèles à l'axe de symétrie du

véhicule, pratiquement dans des enceintes accolées où incorporées aux sièges avants.

Passé l'effet de surprise des premiers instants d'écoute où l'auditeur est stupéfié par la hauteur de l'image sonore compte tenu de la position des haut-parleurs, la première impression que l'on ressent à l'écoute d'un système **SeatBox** est une grande sérénité. « On est en paix » à dit Ivan Ravello « parce que ça marche » a ajouté Norbert Thomas.

Le système **SeatBox** procure une impression d'écoute vraiment hi-fi. On n'a pas l'impression d'être dans une voiture. Ceci est dû au fait qu'aux positions d'écoute, le conflit de phase entre la voie droite et la voie gauche est très atténué. De ce fait, les timbres sont reproduits avec un grand naturel.

Un autre grand avantage de la configuration **SeatBox** est qu'elle permet d'intégrer facilement des composants qui ne sont pas prévus pour l'automobile mais qui ont fait leur preuve en hi-fi domestique et notamment des tweeters de grandes dimensions.

## 5 - La voie centrale virtuelle :

Dans les véhicules de grande largeur, lorsqu'on écarte au maximum les enceintes **SeatBox** de l'axe de symétrie du véhicule, le centre de l'image sonore se déplace pour se positionner en face des auditeurs. On obtient alors une image très large par réapparition d'un léger conflit de phase avec un centre placé en face des auditeurs ce qui est une option tout à fait défendable.

A l'inverse, lorsqu'on rapproche deux enceintes **SeatBox** de l'axe de symétrie de la voiture, on augmente encore la présence et la cohérence du centre de l'image sonore et l'on obtient un canal central virtuel idéal, c'est-à-dire une monophonie parfaite au centre de l'image sonore qui s'élargit sur les messages stéréophoniques pour atteindre les trois-quarts des limites physiques du véhicule.

L'écoute d'un piano sur une voie centrale virtuelle de type **SeatBox** est un véritable régal. A haut-parleurs identiques, les timbres sont infiniment mieux reproduits qu'en stéréophonie domestique.

C'est vraisemblablement ce type de reproduction dont rêvaient les derniers partisans de la reproduction monophonique, seule capable à leur avis de retranscrire les timbres d'un instrument solo.

L'image centrale virtuelle a un énorme avantage par rapport à celle produite par une voie centrale classique. En effet, le centre de l'image sonore étant un centre virtuel obtenu par la conjugaison d'un haut-parleur diffusant le canal gauche et d'un autre diffusant le canal droit, lorsque la modulation n'est présente que dans un seul canal, le centre disparaît comme par enchantement.

**Il n'y a jamais masquage naturel du canal situé le plus loin de l'auditeur par la voie centrale. La largeur de la scène sonore reste intacte.**

En outre, l'image sonore produite par une voie centrale virtuelle est beaucoup plus large que celle produite par un seul haut-parleur central. Elle n'est pas ponctuelle mais spatiale. Elle occupe comme nous l'avons dit environ les trois-quarts de l'espace engendré par les limites physiques du véhicule. Parfois plus dans certains cas.

## **6 – Le processing ISOPHASE :**

L'idée de l'égaliseur de phase m'est venue en 1998. C'était l'époque du **TRISCENIC\*\*\*\***. Le problème de l'époque était d'obtenir des voitures qui marchent aussi bien à droite qu'à gauche, ce qui n'était jamais le cas, et ne l'est toujours pas d'ailleurs tout simplement parce que l'aménagement des véhicules n'est pas symétrique.

Je me souviens qu'à l'époque j'avais fait le croquis de la face avant d'un appareil qui n'existait malheureusement pas car il nous aurait bien aidé. C'était un égaliseur de phase en tiers d'octave. Je l'avais montré à **Norbert THOMAS** en lui disant « c'est ça qu'il nous faut » ; en ajoutant aussitôt : « le problème c'est que je ne sais pas le faire ».

Les années passèrent puis arriva l'année 2000 et les **SeatBox** qui éliminèrent d'un coup 90% des problèmes d'image. Oublié l'égaliseur de phase.

Lorsque j'ai présenté en 2001 mes **SeatBox** dans le groupe **Renault** on me déclara que ce serait beaucoup de travail de les intégrer dans les sièges et qu'en attendant je pouvais me rendre utile en essayant d'améliorer par traitement du signal le rendu des haut-parleurs dans les emplacements habituels.

C'est ainsi qu'on me fit écouter une version « **Cabasse** » de la **VelSatis** quelques semaines avant sa sortie. Un son propre mais une image catastrophique et un record de dissymétrie droite/gauche.

Je me dis alors que dans ces conditions l'**UNIPHASE**, lui même dissymétrique avait sa chance car je comptais sur la dissymétrie naturelle de la voiture, pour que le résultat final soit à peu près équilibré.

Or, le relevé de ce que j'appelle pour simplifier la courbe de phase, c'est à dire la mise en évidence des conflits de phase par comparaison des courbes « en phase » et « hors phase » mis en évidence une zone « hors phase » beaucoup plus importante qu'à l'ordinaire, ce qui m'incita à modifier le circuit électronique de base de l'**UNIPHASE** pour mieux l'adapter à ce cas spécifique.

Et, la première écoute de ce nouveau circuit fût un choc. Au lieu d'agir de manière dissymétrique, comme l'**UNIPHASE** d'origine, l'action de ce nouveau circuit était **symétrique**, c'est à dire qu'il avait tendance à rapprocher le centre de l'image sonore de l'axe de la voiture des deux cotés, et ceci, sans que la voiture y soit pour quelque chose.

Je me précipitai alors sur l'oscillo pour comparer les comportements de l'ancien et du nouveau circuit sur des signaux test. Effectivement c'était évident et je me dis que j'aurais pu y penser plus tôt...

Mais, la structure de ce circuit qui agissait à l'origine sur trois octaves pour les besoins spécifiques de la **VelSatis** se révéla impropre à traiter des bandes étroites. On était encore loin de l'égalisation en tiers d'octave, que je ne savais toujours pas faire.

Mais maintenant j'avais une vraie piste pour un engin dont le potentiel dépassait ce que j'avais imaginé à l'origine.

Puisque j'avais un groupe automobile comme client potentiel et que l'affaire se terminerait sous forme d'un programme dans un **DSP** il était temps de mettre l'affaire entre les mains de spécialistes du traitement numérique du signal audio.

Mais avant, il me fallait être sûr du résultat final. Pour cela, puisque je ne savais pas faire un traitement sur une bande étroite en analogique, j'ai eu l'idée de faire un traitement sur bande large mais avec du **signal en bande étroite**, ce qui revenait à faire du traitement en bandes étroites.

Pour cela, j'ai utilisé des signaux corrélés de sinus wobulés en tiers d'octave, partant du principe (de Fourier) que si ça marchait sur des signaux sinus ça marcherait sur un signal complexe.

Et ça a marché, c'est à dire qu'en modifiant la réponse en phase de chaque canal de manière appropriée on pouvait sur des bandes étroites rapprocher l'image de l'axe de symétrie du véhicule pour les deux cotés. Miracle...

Ensuite, très vite vint l'idée de découper le spectre en bandes tiers d'octave, d'effectuer le traitement ad hoc séparément sur chaque bande puis de recomposer le tout, en croisant les doigts pour ce qui en sorte ressemble encore à du son.

Effectivement, ça ressemblait encore à du son car l'oreille qui est très intransigeante vis à vis de certaines distorsions est heureusement outrageusement permissive vis à vis d'autres, et notamment vis à vis des différences de temps de propagation de groupe..

Et c'est heureux car sans cela, peu d'enceinte HIFI haut de gamme mériteraient le label « haute fidélité ».

Grâce à **Vincent Burel**, qui a réalisé un programme numérique 4 canaux j'ai en Juillet 2002 démontré à l'équipe **Renault-VDO-Sofaital** qu'il était possible sans effets pervers d'améliorer de manière symétrique la qualité de restitution stéréophonique dans un véhicule **ESPACE**..

Restait que les moyens connus pour y parvenir étaient trop coûteux en ressources pour espérer les voir incorporés avant 10 ans dans les **DSP** de première monte

J'étais persuadé que s'il existait une solution élégante et peu coûteuse en ressources elle passerait forcément par des filtres passe-tout. Et, à force de triturer des all-pass dans tous les sens j'ai fini par mettre au point une cellule paramétrique permettant d'intervenir sur la phase stéréophonique en un point quelconque du spectre sonore de manière aussi précise et conviviale que l'on intervient sur le niveau.

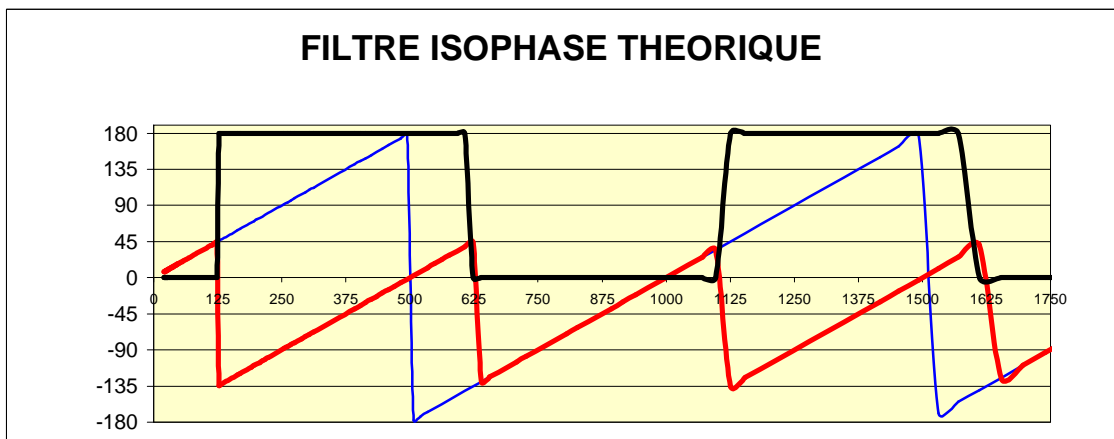
L'égalisation de phase va profondément modifier les conditions de reproduction sonore en automobile.

En effet, il suffit d'inverser la phase relative entre les deux canaux dans certaines zones du spectre sonore pour inverser symétriquement la polarité de la distorsion de phase entre les deux canaux.

Cette inversion de polarité permet de passer d'un état de distorsion de phase positive qui attire l'image sonore vers le haut-parleur le plus proche de l'auditeur à un état de distorsion de phase négative qui attire l'image sonore vers le haut parleur le plus éloigné, compensant ainsi la distorsion de niveau induite par la différence de distance entre les haut-parleurs et les auditeurs.

J'ai ainsi défini un filtre que j'ai baptisé filtre **ISOPHASE THEORIQUE**.

Le terme **ISOPHASE** a été choisi pour rappeler la symétrie du résultat obtenu et le terme **THEORIQUE** pour rappeler que ce filtre ne tient compte que des effets de la différence de distance entre les haut-parleurs et les auditeurs.



La courbe noire est la réponse du filtre. La courbe bleue est la courbe de distorsion structurelle de phase et la courbe rouge est la courbe résultante.

Nous avons bien supprimé tous les conflits de phase à 180° et toutes les distorsions positives de phase supérieures à 45° pour les échanger contre des distorsions négatives de phase favorables à une bonne reproduction de l'image sonore. Et ceci simultanément pour les deux auditeurs situés côte à côte.

#### **IV-La configuration SLX 4.0**

L'habitude prise en HIFI automobile de faire reproduire par les haut-parleurs arrières la même modulation que les canaux avant n'a jamais fait l'unanimité.

En effet, avec les configurations classiques, l'écoute à l'arrière d'un véhicule est en général assez frustrante lorsqu'elle n'est pas carrément pénible.

En outre, la modulation produite par les haut-parleurs arrières n'est pas toujours bénéfique aux auditeurs situés à l'avant.

Il est possible d'obtenir de meilleurs résultats tout en restant en 4 canaux en procédant de la manière suivante :

- reproduire par les HP arrières un signal Surround monophonique convenablement filtré.
- utiliser le canal restant avec une voie centrale réelle ou virtuelle de type SeatBox.

De cette manière, grâce à la voie centrale, les passagers arrières ont une belle scène sonore frontale, mais ne sont pas frustrés car ils baignent dans le signal Surround.

#### **V – La configuration SLX 7.1.**

Lorsque qu'on augmente les moyens, on peut obtenir une configuration capable de reproduire les messages stéréophoniques et Surround aussi bien à l'avant qu'à l'arrière de la voiture sans avoir à retoucher aux réglages de base.

Par rapport à la configuration 4.0 la configuration 7.1 comporte en outre :

- un canal de basses,
- une voie centrale virtuelle stéréophonique pour les passagers avants

- une voie centrale réelle pour les passagers arrières
- une voie Surround additionnelle pour les passagers avants.

Grâce notamment au traitement ISOPHASE Cette configuration fournit une qualité de reproduction sonore inégalée en automobile.

## VI- Les perspectives d'avenir :

Lorsqu'une personne novice en son en voiture écoute une configuration bien réglée, sa première réaction est de dire que c'est au moins aussi bon que sur une chaîne **HIFI** d'appartement.

Doit-on pour cela en conclure que le problème de la reproduction stéréophonique en voiture est définitivement réglé ?

La réponse est non.

En effet le processing **ISOPHASE** allié à une voie centrale réelle ou virtuelle permet de positionner le centre de l'image en n'importe quel point de la scène sonore ce qui est bien, mais il n'en reste pas moins vrai que chaque auditeur reste plus près d'un haut-parleur que de l'autre.

C'est comme si dans une salle de concert il occupait une place proche d'une des extrémités du rang ; ce qui est moins bien que d'être au milieu.

L'idéal serait de **repositionner l'auditeur au centre de la scène sonore**. Pour ce faire, il faudrait placer le centre en face de chaque auditeur ce qui est maintenant facile, mais en outre, éloigner virtuellement les sources sonores dissymétriquement, ce qui risque de l'être beaucoup moins... Dans l'état actuel des choses, je ne vois pas bien comment on pourrait s'y prendre.

Plus facile serait de les éloigner symétriquement ce qui aurait pour conséquence de  **rapprocher chaque auditeur du centre de la scène sonore** ce qui serait une amélioration sensible.

Un rapide calcul montre qu'en doublant la largeur de la scène sonore on passe d'un rapport droite-gauche de masse orchestrale de **25-75%** à un rapport **40-60%** ce qui n'est pas du tout la même chose.

Une technique d'élargissement de scène sonore a été présentée par Ronald M. Aarts (de la société Philips) dans le numéro de mars 2000 du Journal de l'Audio Engineering Society intitulée :« Phantom Sources Applied to Stereo-Base Widening. »

Pour les Parisiens, les deux revues américaines citées dans ce document sont consultables à la médiathèque de l'IRCAM.

claudecarpentier@free.fr