

Mémoire de fin d'études de l'ENS Louis - Lumière  
Florent BOBET  
Section Son

## **SOMMATION ANALOGIQUE EN MIXAGE DE MUSIQUES ACTUELLES**

Directeur interne du mémoire : Mohammed ELLIQ

Directeur externe du mémoire : Pierre LUZY

Rapporteur du mémoire : Étienne HENDRICKX

Session de juin 2013

Je tiens à remercier mes directeurs de mémoire, Mohammed ELLIQ et Pierre LUZY pour leur aide précieuse et leur disponibilité.

Je tiens tout particulièrement à remercier Pierre et Martin pour leur implication. Leurs remarques, leurs suggestions, leur soutien et le partage de leur passion ont été une source d'inspiration indispensable à la rédaction de ce mémoire.

Merci également à tous les membres de Music Unit : Pierre-Luc, Julien, Issam, Pierre et Martin pour leur accueil, leur soutien et leur confiance.

## **Résumé**

Actuellement lors d'un mixage musical, plusieurs solutions s'offrent à l'ingénieur du son pour additionner les différents signaux qu'il traite. Cette addition de signaux résulte la plupart du temps en un fichier informatique contenant des données audio numériques qui seront diffusées ou stockées. Si dans la majorité des cas, les signaux de départ sont audio numériques, l'addition peut être effectuée numériquement grâce à un programme informatique, ou analogiquement au moyen de convertisseurs numérique/analogique et d'un montage électronique appelé sommateur analogique. Une étude historique, culturelle, économique et technique de cette méthode essaie d'observer l'intérêt de son usage à la place ou en complément de la sommation numérique. La réalisation de mixages à l'aide de ces différentes techniques tente de faire apprécier ces différences.

**Mots clés :** mixage, musique, numérique, analogique, sommation

## **Abstract**

Nowadays while mixing, a music sound engineer has got different solutions to sum the signals that he has to work with. Most of the time, this summing results in a data file containing digital audio informations which will be broadcasted or recorded. In most cases, signals used for mixing are digital, but summing can be achieved either digital or analog. In first case, the process is performed by means of digital to analog converters and an electronic circuit called summing amplifier. By studying historical, cultural, economical and technical aspects of this process, we will try to understand the interest of using this technique over the digital one. As a practical part of this thesis, we have mixed music extracts using these different methods with the aim of hearing these differences.

**Key words :** mixing, music, digital, analog, summing

# TABLE DES MATIERES

<b>I. INTRODUCTION</b>	<b>6</b>
<b>II. ETAT DE L'ART – MUTATION DES STUDIOS TRADITIONNELS</b>	<b>7</b>
<b>A. Choix du sujet</b>	<b>7</b>
<b>B. Historique – Crise de la musique enregistrée</b>	<b>10</b>
a. Naissance du phonogramme . . . . .	10
b. Évolution des métiers et des technologies . . . . .	13
c. Cycle de vie des produits . . . . .	17
d. Copie privée . . . . .	18
e. Échanges pair à pair . . . . .	20
f. Avènement du Home-Studio . . . . .	23
g. Conséquences de la crise sur la production musicale . . . . .	23
<b>C. Conclusion du chapitre</b>	<b>27</b>
<b>III. SOMMATION ET MIXAGE</b>	<b>27</b>
<b>A. Outils et usages du mixage de musiques actuelles en 2013</b>	<b>27</b>
a. Persévérance du mixage analogique dans les structures traditionnelles . . . . .	27
b. Persévérance du mixage analogique dans les nouvelles structures . . . . .	29
c. Utilisations de la sommation analogique . . . . .	32
<b>B. Sommation analogique</b>	<b>36</b>
a. Notion d'impédance électrique . . . . .	36
b. Quadripôles . . . . .	37
c. Adaptation d'impédances . . . . .	39
d. Sommateurs analogiques . . . . .	40
e. Sommateurs de tensions . . . . .	44
f. Sommateurs de courants . . . . .	48
g. Modèle réel, débats sur l'usage de la contre-réaction . . . . .	49

<b>C. Conclusion du chapitre</b>	<b>50</b>
<b>IV. TENTATIVE DE CARACTERISATION PERCEPTIVE DES APPORTS DE LA SOMMATION ANALOGIQUE</b>	<b>50</b>
<b>A. Elaboration d'un corpus</b>	<b>50</b>
a. Choix de projets multipiste numériques . . . . .	50
b. Mixage du corpus . . . . .	51
c. Choix d'une topologie . . . . .	52
d. Fabrication d'un sommateur . . . . .	52
<b>B. Protocole appliqué au corpus</b>	<b>54</b>
a. Export numérique . . . . .	54
b. Sommation analogique . . . . .	56
c. Traitement A du mixage sommé numériquement . . . . .	59
d. Traitement B du mixage sommé numériquement . . . . .	60
e. Mastering . . . . .	61
f. Séance d'écoutes . . . . .	61
g. Limites du protocole et conclusions . . . . .	63
<b>C. Conclusion du chapitre</b>	<b>64</b>
<b>V. CONCLUSION GENERALE</b>	<b>66</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>ANNEXE A</b>	
<b>ANNEXE B</b>	

## I. INTRODUCTION

La transduction, terme emprunté à la biologie, désigne à la fois la transformation par une cellule d'un type de signal ou stimulus en un autre type de signal<sup>1</sup> et le transfert d'une information d'une cellule à une autre par le biais d'un vecteur<sup>2</sup>. Le monde de l'audio est donc à la fois transducteur, car vecteur de cette information et transduit, car issu d'une transduction. Le signal audiofréquence est en effet obtenu par analogie. Les variations de pressions d'une onde acoustique sont transduites en variations de tensions. Le temps, autre variable intervenant dans le phénomène est en revanche conservé tant que le signal n'est pas enregistré. L'enregistrement sonore ajoute à la transduction simple (pression en tension) une transduction double (tension en flux magnétique ou nombre, temps en longueur/vitesse de défilement, ou nombre). Cette transduction fait donc correspondre à une variable physique, une autre variable physique ou un nombre. Qui dit transduction dit traduction. L'événement sonore est transmis dans une langue spécifique, vecteur de la transduction. L'appréciation d'un événement sonore passe donc par la connaissance de la langue dans laquelle il est transmis. Cette connaissance est conditionnée par un apprentissage et par des références culturelles. Cette analogie avec le langage permet d'entrevoir une des raisons possible des réticences manifestées par une partie du milieu audio professionnel lors de la naissance de l'audio numérique. Peut-être cette hostilité est-elle justifiée lorsque cette langue nouvelle prétend remplacer la précédente ? Pour notre part, nous considérons heureux et chanceux le polyglotte qui perçoit mieux que quiconque les richesses offertes par le monde et sa diversité.

---

1. <http://fr.wiktionary.org/wiki/transduction>

2. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/transduction/79089>

## II. ETAT DE L'ART – MUTATION DES STUDIOS TRADITIONNELS

### A. Choix du sujet

Les premières interrogations ayant par la suite entraîné le choix de ce sujet de mémoire sont nées des usages professionnels observés lors des différents stages ou partenariats effectués auprès de studios de production musicale<sup>1</sup> durant ma scolarité d'une part ainsi que ceux rapportés par mon directeur externe de mémoire<sup>2</sup>, Monsieur Pierre LUZY, d'autre part.

Aujourd'hui, le constat concernant les pratiques de l'ensemble des studios musicaux est le suivant : qu'il s'agisse d'un modeste « Home-Studio » ou d'un fastueux studio de variétés, si l'usage de la bande analogique s'est très largement raréfié au profit de l'acquisition numérique, il n'en est pas de même des traitements et encore moins du mélange, autrement dit de la sommation des signaux audio. En effet, plusieurs solutions s'offrent aux professionnels, mixeurs dans la plupart des cas, pour réduire le projet « multipiste » d'une station audionumérique en deux pistes ; la diffusion de ces pistes s'effectue souvent au moyen de deux enceintes<sup>3</sup> ou deux écouteurs. Ces solutions sont souvent issues de combinaisons variables de sommations analogiques, réalisées à l'aide de sommateurs dédiés ou de consoles analogiques, et de sommations numériques effectuées directement au sein de la station audionumérique.

Un précédent mémoire de fin d'études de l'École Nationale Supérieure Louis - Lumière<sup>4</sup>, ainsi qu'une récente publication à l'AES<sup>5</sup>, révèlent l'absence de différences objectives et subjectives entre les procédés de sommation des différentes stations audionumériques actuellement à disposition des ingénieurs du son, n'offrant ainsi qu'un seul et unique rendu possible lors de cette étape finale du mixage. Peu de tests de ce genre semblent avoir été menés sur la sommation analogique. Le manque de littérature technique détaillée à ce sujet,

---

1. Etlanuit – MUSIC UNIT, Sequenza, Blackbox

2. Ferber, Gang, Juno, Pigalle, Harryson

3. Ecoute dite « stéréophonique »

4. PREVESTO B., « *La sommation numérique* », ENS Louis - Lumière 2012

5. LEONARD B., LEVINE D., BUTTNER-SCHNIRER D., « *Convention Paper 8776* », AES 2008

l'obscurantisme des revues spécialisées, des documentations constructeurs ainsi que les arguments évasifs voire fallacieux que l'on y trouve parfois, ne permettent pas à l'utilisateur, certes non-érudit, mais cependant passionné par le sujet, de se faire un avis documenté et éclairé sur l'intérêt que peut présenter l'usage de la sommation analogique.

Le choix de ce sujet est donc pour moi l'occasion de tenter de « défricher ce terrain », en m'intéressant principalement aux caractéristiques perçues liées à cet usage. Dans ce but, l'objet du mémoire sera, dans un premier temps, de mener une réflexion autour des raisons possibles d'un tel usage, au moyen d'un historique des techniques de production de musiques actuelles, de l'économie de la musique enregistrée et des techniques de diffusions de cette dernière. Dans un second temps, nous détaillerons les procédés techniques et les technologies impliquées dans le processus de sommation analogique. Enfin, nous réaliserons des mixages et développeront un protocole susceptible de mettre en valeur les apports d'une telle pratique.



*« Je pense qu'il est très important, afin de correctement envisager l'avenir, que les gens concernés par la musique enregistrée connaissent l'histoire des studios d'enregistrement du passé. »<sup>6</sup>*

---

6. SWEDIEN B., « *Make mine music* », MIA MUSIC

## **B. Historique – Crise du marché de la musique enregistrée**

Il paraît impossible d'aborder correctement ce sujet technique sans dresser au préalable un bref historique du studio de production de musiques actuelles. En effet, les usages professionnels, observables aujourd'hui, découlent d'interactions multiples entre différents événements scientifiques, techniques et technologiques, mais aussi économiques, culturels et sociaux, qui ont profondément modifié l'univers de la production musicale. Nous évoquerons donc dans cette partie les deux phénomènes principaux qui ont transformé l'allure des studios d'enregistrement de manière régulière tout au long du XX<sup>ème</sup> siècle : la crise du disque et l'avènement du Home-Studio.

### **a. Naissance du phonogramme**

La possibilité de fixer de la musique sur un support puis de dupliquer ce phonogramme en série et à l'identique a donné naissance au début du XX<sup>ème</sup> siècle au marché de la musique enregistrée. De peu après 1877, date de l'invention du phonographe, jusqu'aux années 2000, date du début de la « crise du disque », la musique enregistrée est vendue sur des supports. En France, en 1905, est accordé aux auteurs-compositeurs un droit nouveau : le droit de reproduction mécanique, cessible, créant un métier qui existe alors grâce à ces droits : le métier de producteur de phonogramme.

Aux alentours de 1920, apparaît l'enregistrement électrique, qui s'effectue alors au moyen de microphones. Cet événement majeur va, avec la possibilité de dupliquer les phonogrammes, faire entrer la vente de musique sur support dans une longue période de relative prospérité (le disque n'étant pas un produit de première nécessité, son industrie est fortement affaiblie lors des périodes de crise économique). L'enregistrement électrique transforme profondément les studios rudimentaires de l'ère acoustique, et invente le métier d'ingénieur du son. En 1929, André CCEROY décrit les premières séances parisiennes de studio électrifié de l'histoire :

*« Une forme brunâtre, ronde comme un phare d'auto, attire le regard. C'est le microphone électrique, grand sorcier du lieu. Sous un air d'impassibilité, il travaille. Les ondes sonores émises par l'orchestre font osciller en lui un courant électrique de faible intensité mais qui, à l'aide de lampes valves, sera par trois fois amplifié, la première fois dans le socle même du micro, la deuxième et la troisième par des batteries de lampes placées dans le laboratoire voisin [...] Solennels et revêtus de blouses blanches, deux ingénieurs « recording » évoluent parmi cet attirail scientifique. Leur tâche est délicate. Elle exige d'eux non seulement des connaissances de physicien, mais aussi une oreille exercée, suffisamment sensible pour saisir les rapports entre l'émission et la reproduction des ondes sonores. »<sup>7</sup>*

Cette avancée technologique va bouleverser le monde de la musique. Produire un disque est un exercice tout autre que celui de la performance scénique ; désormais, seuls survivront les artistes capables de correctement se produire sur disque et ce tant dans le monde de la musique savante que celui de la musique populaire. Pour exemple Charles TRENET dans les années 30, ne forgera pas sa carrière à l'école du Music-Hall ou du café-concert comme ses aïeux. Très tôt, il rencontrera dans les studios de la Columbia des musiciens de séances et des arrangeurs influencés par le jazz qui l'aideront à créer une identité musicale propre et connaîtra la renommée grâce à ses premiers disques. Pour l'auditeur également, la sensation est autre et unique, et les avancées technologiques rapides et nombreuses font du phonographe, dès les années 20, un objet considéré avec sérieux. En témoigne cette critique qui a suivi la tournée du chanteur de variétés américain Jack SMITH à Paris en février 1929 :

*« Jack Smith a maintenant repris son paquebot pour le nouveau monde. Vous êtes rentrés chez vous et vous avez recherché ses disques les plus séduisants. [...] Et vous vous êtes aperçus que la machine parlante vous apportait des joies musicales plus subtiles et plus complètes que l'audition directe. Jack Smith est un chanteur délicieux, mais le fantôme de sa voix est cent fois plus délicieux encore.*

---

7. CÉROY A. et CLARENCE G., « *Le Phonographe* », Paris, Kra, 1929

*Dans votre fauteuil, au Palace, vous vous êtes trouvés là à une certaine distance de l'artiste : le disque, au contraire, vous apporte, intacte, la sonorité ronde et harmonieuse que le microphone avait captée à quelques centimètres de ses lèvres. Aucune nuance ne vous échappe. Les soupirs, les murmures et les chuchotements sont infiniment plus émouvants sous cette forme et à leur sortie de la « chambre noire » de votre appareil que dans le vaste vaisseau brillamment éclairé du music-hall. [...] Ne nous dites plus d'un disque qu'il donne l'illusion parfaite de la réalité : s'il s'en tenait là, ce serait vraiment une bien pauvre chose. Ne savez-vous donc pas que la noblesse de la phonographie est précisément de nous entraîner d'un coup d'aile au-delà du réel ? »<sup>8</sup>*

Cet enthousiasme n'est évidemment pas unanime. Théodore ADORNO sera un critique féroce des débuts de la musique commerciale. William FAULKNER perçoit également très tôt les perversités de ce qui sera qualifié à partir des années 50 et 60 de « culture de masse ». Il décrit en 1929, dans l'un de ses romans, l'attitude d'une foule prolétaire, formée un dimanche, fascinée par les premières diffusions de la musique enregistrée :

*« L'atmosphère ensoleillée s'emplissait de la concurrence des postes de T.S.F. et des phonographes aux portes des drogueries et des marchands d'instruments de musique. Devant ces portes, tout le jour, une foule demeurait massée à écouter. Ce qui la touchait le plus, c'étaient les ballades d'une mélodie simple, sur le thème de la misère, du châtiment, du repentir, chantées mécaniquement, déformées et amplifiées par les ondes ou par l'aiguille ; des voix désincarnées, qui sortaient en mugissant de meubles imitation bois ou de pavillons imitation pierre, par-dessus les figures en extases, les lentes mains noueuses depuis longtemps façonnées à la tyrannie de la terre, lugubres, âpres et résignées. »<sup>9</sup>*

---

8. L' Edition musicale vivante, février 1929

9. FAULKNER W., « Sanctuaire », 1931

## b. Évolution des métiers et des technologies

Cet au-delà du réel (le réel faisant ici indubitablement référence à l'écoute de concerts), ou plutôt cette réalité propre au disque, déjà présente et ressentie à la fin des années 20, s'accroîtra fortement durant les années 50 avec l'apparition de nombreux progrès techniques, comme le disque vinyle 33 tours, la stéréophonie et l'amélioration de la qualité des microphones.

Avant cela, l'enregistrement électrique en studio se limite à l'exécution d'une œuvre entière, souvent interprétée dans une disposition de concert, captée par un nombre réduit de microphones disposés loin des sources, mixée et gravée directement sur une laque en shellac. Aux États-Unis dans les années 1940, les studios d'enregistrement appartiennent aux majors, il existe alors très peu de studios indépendants. Ils sont sommairement traités acoustiquement. L'absence d'absorption des fréquences basses et la forte absorption des fréquences aiguës et médiums au moyen de rideaux et de tapis en font des lieux à l'acoustique sourde et imprécise. A cette époque les séances sont minutieusement organisées, les processus y sont standardisés et rigides<sup>10</sup>. Les cabines de mixage sont également traitées sommairement. Ce sont de petites cabines dans lesquelles on mixe en mono.

Les années 50 marqueront un tournant dans l'enregistrement musical. C'est à cette période qu'apparaissent les techniques de production qui ont mené à l'esthétique de la musique Pop. La stéréophonie est tout d'abord expérimentée dans les studios de façon clandestine car les maisons de disques refusent encore d'en entendre parler. La qualité « audiophile » intéresse un large public sensible à l'amélioration de la qualité des enregistrements. La prise de son fractionnée se développe, l'usage d'absorbants entre les différents instruments (panneaux acoustiques) se répand. L'utilisation de chambres de réverbération devient nécessaire et permet de reproduire l'espace que la prise de son fractionnée ne capte plus. L'arrivée des magnétophones à bandes autorise des expérimentations et des transformations du son impossibles jusqu'alors. Ainsi, l'enregistrement de Les Paul « How High is the Moon » en 1951

---

10. PUTNAM MILTON T., « *A thirty-five Year of the recording studio* », AES 1980

(cf. Fig. 1), ou le délai « slap-back » sur la voix d'Elvis PRESLEY, témoignent de l'abandon rapide du réalisme sonore et des techniques traditionnelles d'enregistrement pour la musique populaire.

En 1957, l'enregistrement stéréophonique devient une réalité commerciale. Les cabines des studios sont alors agrandies, mieux traitées et accueillent deux enceintes.

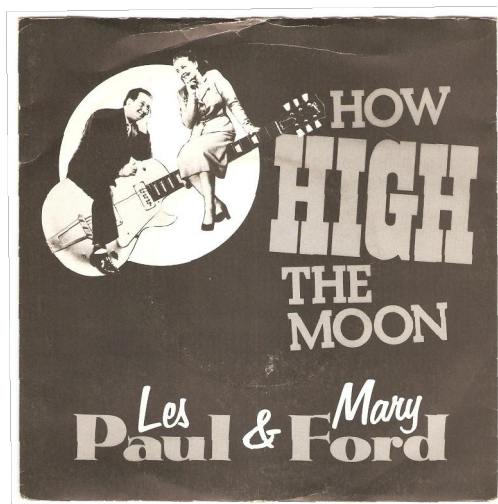


Fig.1 Pochette du 45 tours « How high is the Moon »

Les consoles évoluent également en ce sens, désormais équipées de transistors pour les différentes sections de pré-amplification, elles permettent également de spatialiser les sources dans l'espace stéréophonique. Le jazz et la musique classique, diffusés en FM, évoluent beaucoup grâce à la stéréophonie. La prise de son et le mixage deviennent une mise en espace complexe, et le souci de réalisme, contrairement au rock ou à la pop, s'accroît. Rudy Van GELDER est un ingénieur du son de jazz très représentatif de cette époque. La « Hi-Fi », terme en vogue à ce moment, est selon lui ce rapport de la prise de son au réalisme sonore. Ses enregistrements aérés continuent de reproduire la sensation de concert en présentant des sources très spatialisées<sup>11</sup>. Dans un premier temps, seuls le jazz et la musique classique sont concernés par cette évolution car les radios rock de la fin des années 50 diffusent sur la bande AM en mono très compressée. Les premiers magnétophones à deux et à trois pistes servent donc aux « re-recording » ou « overdubs » ainsi qu'au remixage du soliste plus qu'à la création d'un

11. <http://www.jazzwax.com/2012/02/interview-rudy-van-gelder-part-1.html>

espace stéréophonique qui ne s'installera véritablement qu'une décennie plus tard, sur les enregistrements pop ou rock.

Le succès du microsillon est mondial et l'entrée dans les années 60 est également le début de la culture de masse. Cette économie florissante accroît les évolutions technologiques et l'enregistrement magnétique connaît de nombreuses évolutions jusqu'aux années 70. Cet essor profite également aux studios qui sont alors capables de renouveler fréquemment leur matériel. L'évolution des technologies augmente la technicité du processus d'enregistrement et la créativité offerte aux artistes, aux producteurs et aux ingénieurs. Les séances d'enregistrement des Beatles, largement documentées, témoignent de ces évolutions. Le studio devient, dans leur cas et dans beaucoup d'autres plus tardivement, un espace de création où « le son » fait partie intégrante de l'œuvre.

Les années 70 sont marquées par l'arrivée de l'enregistrement multipiste, qui transforme en profondeur les studios d'enregistrement et l'industrie de l'audio. Les studios indépendants apparaissent en nombre à cette époque. Ils offrent un son lié aux techniques et outils choisis par les ingénieurs résidents, voire élaborés spécifiquement pour le lieu. Certains ingénieurs du son deviennent à cette époque des indépendants et travaillent ainsi dans des studios adaptés à leurs besoins. Le multipiste transforme l'architecture des studios qui se dotent désormais de cabines séparées, offrant un choix d'acoustiques variées et une isolation phonique parfaite entre les différents lieux de prise de son. Il devient alors possible d'enregistrer chaque source séparément et précisément, sans diaphonie acoustique, malgré une exécution simultanée. Cette méthode d'enregistrement autorise un traitement beaucoup plus radical des sources et un recours quasi systématique à la réverbération artificielle. Les outils de traitements qui apparaissent à cette époque témoignent de cette radicalisation. L'apparition d'un grand nombre de nouveaux instruments électriques et électroniques font du choix du « backline » des studios, une composante importante de leur identité sonore.

Auparavant, les consoles de mixages étaient fabriquées à la demande, dans les garages ou

caves d'ex-ingénieurs du son bricoleurs qui concevaient des circuits électroniques adaptés à leurs besoins et à ceux de leurs commanditaires. La forte demande en matériel liée à la profusion de studios mène progressivement à l'industrialisation des consoles de mixage. Rupert NEVE, fabricant Américain emblématique de consoles, quitte à la fin des années 60 le sous-sol de sa maison et ouvre son usine<sup>12</sup>. D'autres fabricants comme FLICKINGER, SSL, API ou HARRISSON apparaissent durant cette période. Les consoles analogiques de la fin des années 70 sont adaptées aux standards d'enregistrement alors répandus dans le milieu professionnel. L'apparition des magnétophones à 16 pistes puis à 24 pistes sur bande de 2 pouces donnera un étalon de la taille de celles-ci. Les consoles in-line des studios seront alors communément des consoles à 24 voies, adaptées à l'usage d'un magnétophone à 24 pistes, des consoles à 32 voies, adaptées à l'usage de deux magnétophones à 16 pistes ou des consoles à 48 voies, adaptées à l'usage de deux magnétophones à 24 pistes. Ces consoles sont massives, notamment car elles intègrent sur une même tranche deux circuits de pré-amplification, traitements et « routing », permettant de gérer le signal provenant des micros dirigé vers les enregistreurs et le signal « retour » provenant des enregistreurs permettant le contrôle et l'écoute de l'ensemble.

Les années 80 poursuivent la quête de la précision assouvie par les nouvelles technologies. L'automation, inventée dans les années 70, permet un mixage minutieux et reproductible. La SSL 4000, console dont chaque voie est pourvue d'un gate, d'un compresseur, d'une égalisation par tranche, équipe de nombreux studios et offre une précision inégalée au mixeur. Le MIDI, les effets et les synthétiseurs numériques sont à cette époque les instruments d'une musique aux sonorités extravagantes et électronisées, qui rompt définitivement avec la réalité acoustique. Dans les années 90, l'usage des séquenceurs audionumériques se répand, remplaçant progressivement les enregistreurs multipiste analogiques et numériques. Cependant, la technologie numérique balbutiante devant les 70 années d'évolution de l'audio analogique ne fait pas l'unanimité et beaucoup d'enregistrements rock et pop des années 90 sont encore produits sur bandes analogiques à l'aide de consoles analogiques.

---

12. <http://rupertneve.com/company/history/1960-2/>



### c. Cycle de vie des produits

Le marché du phonogramme alterne tout au long de sa vie entre des phases d'essor et de déclin. Ces phases creuses reposent sur un phénomène économique constaté dans l'ensemble de l'industrie, autrement dit sur le marché de produits (par opposition au marché de services). Ce sont des cycles de renouvellement dus aux cycles de vie des produits.

Le cycle de vie d'un produit est un concept économique qui décrit l'évolution des profits générés par ce dernier tout au long de sa vie sur le marché (cf. Fig. 2). Mathématiquement, il exprime la quantité des ventes d'un produit en fonction de cette période. La courbe obtenue est une sorte de gaussienne présentant une phase d'introduction du produit sur le marché, durant laquelle il ne génère pas de profits compte tenu du coût de sa mise en place : investissements des différentes industries dans du matériel ou des infrastructures qui permettent la création et la distribution du produit. Succèdent à celle-ci une phase de forte croissance durant laquelle les profits augmentent, une phase de maturité durant laquelle les ventes se maintiennent autour du maximum de la courbe, le marché est alors saturé et enfin, des périodes de déclin puis de quasi-disparition.

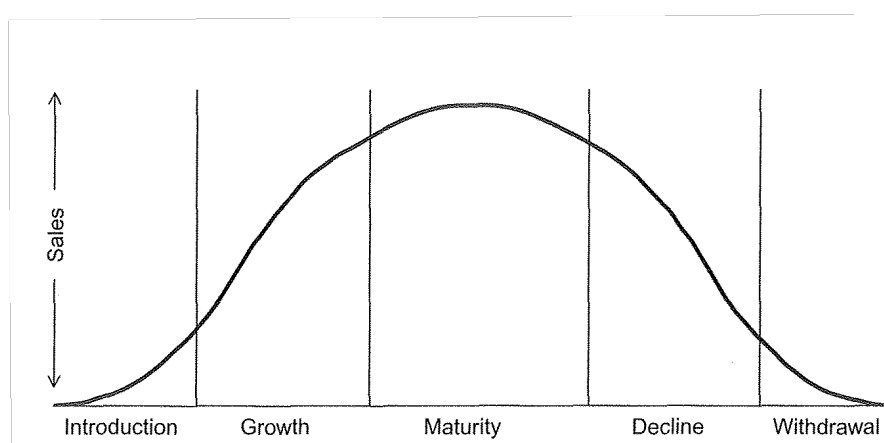


Fig.2 Le cycle de vie d'un produit

Ce cycle de vie des produits est constatable à différentes échelles. Ainsi, un genre musical ou un artiste, devenu produit via un phonogramme présente une telle évolution

commerciale, l'album d'un artiste également. Ces cycles sont généralement plus courts que ceux d'un support. Par exemple, le cycle de vie moyen d'un album dure de 12 à 18 mois. Celui du disque compact (CD) a commencé dans les années 80 et demeure actuellement dans une phase de déclin. Ces différents cycles de vie des supports se sont succédés tout au long du XX<sup>ème</sup> siècle, entrecoupés par des phases de renouvellement. Le début des années 90 constitue un cycle de renouvellement important durant lequel le vinyle qui a connu un essor jusqu'alors inégalé par un autre support cède sa place à la cassette puis au CD (cf. Fig. 3).

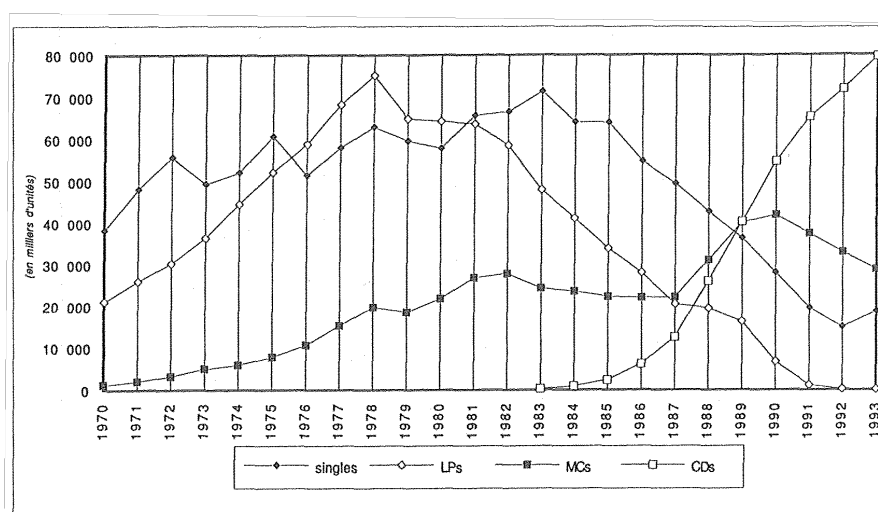


Fig.3 Evolution des ventes de supports

#### d. Copie privée

Ce cycle de renouvellement présente cependant un aspect nouveau : la reproductibilité domestique. En 1979, Sony lance le baladeur à cassettes (Walkman), grâce auquel des adolescents le plus souvent, écoutent de la musique copiée légalement ou non par leurs soins, reproduisant directement le contenu de vinyles ou d'émissions de radio. L'œuvre enregistrée devient alors dissociable de son support original et accessible presque gratuitement. Dans les années 90 le disque compact enregistrable présente également cette caractéristique et autorise des copies à l'identique (sans dégradation) de l'œuvre originale par des particuliers.

Aux États-Unis, le syndicat de l'industrie du disque, la RIAA, mène au début des années 80 une campagne contre cette pratique, qualifiée de « piratage »<sup>13</sup> et obtient l'instauration d'une taxe sur les cassettes vierges qui lui est reversée. En France, le 3 juillet 1985, la « rémunération pour la copie privée » est mise en place grâce à la loi Lang. C'est une redevance sur les supports vierges, étendue à la mémoire flash et donc aux clés USB et lecteurs MP3. Cette redevance témoigne d'une tolérance de l'État à l'égard de la circulation et de la copie des œuvres, tout en permettant une rémunération dite « indirecte » des ayants droit (auteurs, artistes interprètes et producteurs).

On constate que l'essor de la copie privée à partir de 2000 est inversement proportionnel à l'évolution des ventes de disques (cf. Fig. 4). Cette observation fait état d'une co-variation et non d'une corrélation. Comme pour les impacts des échanges pair à pair sur le marché du disque, certaines études concluent à une corrélation, d'autres pas.

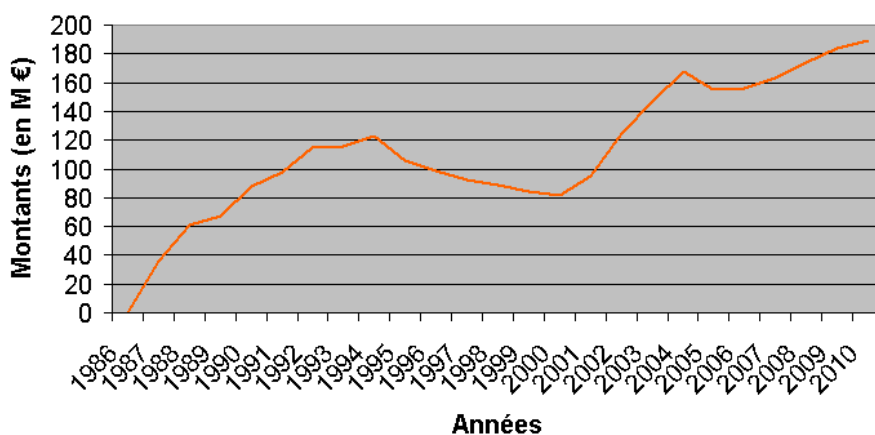


Fig.4 Evolution de la rémunération pour la copie privée

Nous avons observé précédemment la présence de cycles de vie de produits à différentes échelles. Si la crise du disque constitue la fin de cycle d'un support, comme l'a été la fin du cylindre de cire, du 78 tours ou du microsillon ; elle incarne également un événement unique : la phase de déclin du support, du phonogramme en général. Cette dématérialisation de l'œuvre, sa virtualisation, facilite son stockage et sa circulation. Le début du nouveau millénaire sera

13. [http://www.ipi.org/ipi\\_issues/detail/the-true-cost-of-sound-recording-piracy-to-the-us-economy](http://www.ipi.org/ipi_issues/detail/the-true-cost-of-sound-recording-piracy-to-the-us-economy)

incontestablement la période d'essor de l'internet, qui parachèvera la dissociation de l'œuvre et de son support entamée avec la copie privée.

### **e. Échanges pair à pair**

L'histoire de la musique en ligne, autrement dit, diffusée sans support physique via internet commence en 1993. Des étudiants de l'université de Santa-Cruz en Californie créent « l'Internet Underground Music Archive » ou IUMA. C'est un site internet sur lequel des artistes sans contrat avec un label peuvent mettre à disposition leur musique préalablement chargée sur un serveur, la rendant accessible à leurs fans. L'audio est alors encodé en MPEG. Ce format n'est pas sécurisé.

Peu de temps après, des entreprises américaines et européennes développent des sites internet de diffusion de la musique en ligne au moyen de « Digital Right Management » ou DRM, qui permettent un accès conditionnel et sécurisé aux œuvres<sup>14</sup>. Cependant, les maisons de disques ne croient pas à l'avenir de ce mode de consommation encore marginal et refusent de céder leur catalogue à ces entreprises qui font rapidement faillite.

Le MP3, dont le brevet est détenu par Fraunhofer-Gesellschaft, est un format initialement développé pour la radiodiffusion audio numérique. Ses créateurs ne perçoivent pas encore totalement son potentiel et accordent volontiers des licences à d'autres industriels. En effet, le téléchargement de fichiers audio sur internet reste, à ce moment, une procédure longue et coûteuse. De nombreux acteurs s'emparent ainsi du format qui devient progressivement le standard de l'industrie et des utilisateurs. Consciente tardive de l'explosion imminente du marché de la musique en ligne, la RIAA réunit juristes et entreprises informatiques lors du consortium SDMI<sup>15</sup>, dont le but est de créer un standard d'encapsulation protégé et inviolable des fichiers audio. Cette initiative n'aboutira pas.

---

14. Clé de cryptage, contrôle du nombre d'utilisations par exemple

15. Secure Digital Music Interactive

En 1999, aux États-Unis, naît le premier site internet d'échange pair à pair : Napster. Au même moment, apparaissent les premiers abonnements illimités à internet et les premiers baladeurs MP3, alors que les débits des connexions domestiques ne cessent d'augmenter. Télécharger devient beaucoup plus simple. Napster et MP3.com, premier site de téléchargement légal de MP3 (qui ne possède cependant aucun catalogue de majors), connaissent un essor fulgurant. Après de longs feuilletons juridiques et tentatives de négociations, MP3.com et Napster sont rachetés par des majors, et Napster est liquidée en 2002. Napster était en effet contrainte à la légalité car vulnérable : son unique serveur central coordonnait les échanges entre membres du réseau.

A la mort de Napster d'autres sites de pair à pair voient le jour, mais ils sont cette fois décentralisés. Des multitudes de serveurs à travers le monde relayent les opérations d'uploading et de downloading entre les différents utilisateurs du réseau, rendant compliqué son démantèlement. De plus, ces nouveaux sites installent leurs sièges dans des pays étrangers, créant un service offshore contre lequel les pays directement victimes (États-Unis, Europe, ...etc) sont juridiquement impuissants. Plusieurs réseaux de ce type verront successivement le jour, c'est le cas de Kazaa, Emule ou Bittorrent. Sur ces plates-formes de partage, la musique est de loin le premier média échangé. Elle représente par exemple 48 % des fichiers circulant sur le réseau eDonkey en 2004<sup>16</sup>. En effet, le rapport qualité/poids d'un fichier audio encodé en MP3 ou AAC est excellent en regard du mode d'écoute nomade qui s'est massivement développé avec l'apparition du baladeur.

Aujourd'hui, la régulation des échanges pair à pair est très difficile et ne parvient pas à se mettre en place. Deux idéologies s'opposent toujours : l'une prônant un accès simplifié et gratuit à la culture pour tous via des réseaux de partages. Elle est représentée par une grande majorité de consommateurs des jeunes générations ayant grandi avec le pair à pair. L'autre, attachée à une méthode traditionnelle de rémunération des ayants droits par un contrôle stricte de la diffusion de l'œuvre (recours aux DRM) est représentée par l'ensemble des sociétés d'auteurs, d'interprètes et de producteurs : Adami, SACEM, SDRM, SCPP, SPPF pour la France, RIAA,

---

16. <http://iptps04.cs.ucsd.edu/pepers/le-fessant-clustering.pdf>

MPAA pour les États-Unis, entre autres.

Cette dernière peine à se faire entendre et la pression exercée par ses lobbys sur les États véhicule une mauvaise image auprès d'un public qui au cours des années tend à considérer cet accès gratuit à la musique comme un droit fondamental. En effet, la technologie évolue très rapidement et de nouveaux modes de consommation via internet apparaissent sans cesse. La continuelle augmentation des débits a par exemple donné naissance en 2007 aux premiers sites de flux (streaming) audio, qui représentent aujourd'hui un mode de consommation extrêmement répandu de la musique. Parmi eux le site français Deezer et le site américain Grooveshark, créés tous deux en 2007. Ces technologies récentes sont également globalisées (entre les pays développés) alors que les législations en matière de droits d'auteurs et droits voisins sont spécifiques à chaque pays. Ainsi, la jurisprudence floue et l'absence de lois spécifiques au moment de l'apparition de ces technologies ne permettent pas une régulation rapide et efficace de ces nouveaux modes de consommation de la musique. L'inertie et les vides juridiques qu'ils génèrent laissent souvent place à une guerre des lobbys et les grandes maisons de disques finissent par racheter ces sites, signer des contrats avec eux ou les assigner en justice. Ces actions acculent ces sites à l'offre légale qui peine à trouver un public (cf. Fig. 5). Ce fût le cas de Napster, c'est aujourd'hui le cas de Grooveshark ou Deezer<sup>17</sup>.

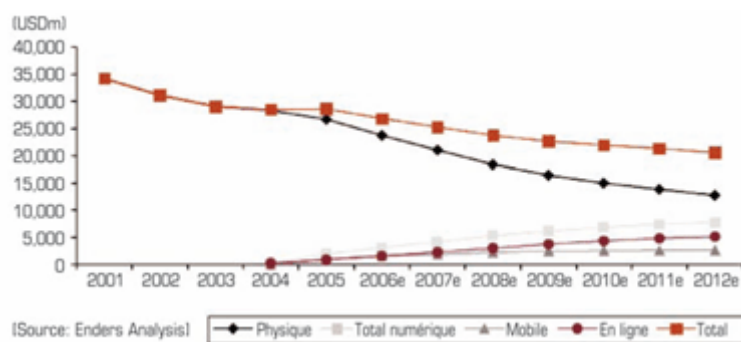


Fig.5 Evolution des ventes mondiales de la musique enregistrée

17. [http://www.lemonde.fr/technologies/article/2011/09/05/musique-en-ligne-universal-music-deboute-contre-deezer-en-refere\\_1567992\\_651865.html](http://www.lemonde.fr/technologies/article/2011/09/05/musique-en-ligne-universal-music-deboute-contre-deezer-en-refere_1567992_651865.html)

## **f. Avènement du Home-Studio**

La numérisation de la musique n'a pas uniquement modifié sa diffusion et la manière dont elle est écoutée. Sa production et son enregistrement sont eux aussi soumis au changement. Au milieu des années 80, apparaissent les premiers studios personnels ou Home-Studio. En une dizaine d'années, la technologie numérique rend compactes les installations dédiées à l'enregistrement et à la postproduction et démocratise l'accès à la production grâce notamment à du matériel de moins en moins coûteux et de plus en plus polyvalent.

Au début de leur apparition et à de rares exceptions près, ces studios personnels sont avant tout des aides à la création ou « project-studio ». Ils permettent aux musiciens équipés de pré-produire et de réaliser chez eux et sans contraintes de temps des maquettes sur lesquelles apparaissent grossièrement des idées de production, des orientations esthétiques, des traitements ou des effets. Ce sont aussi des nouveaux outils créatifs. Les séquenceurs et les échantillonneurs ou « samplers » donnent naissance à de nouvelles façons de composer ainsi qu'à une quantité incroyable de nouveaux genres musicaux.

Peu après, le développement de l'informatique et l'augmentation fulgurante de ses performances achèveront la démocratisation, la compacité et les performances de ces installations. L'ordinateur est aujourd'hui au centre de l'installation. Il permet l'enregistrement, l'arrangement, la génération de sons, les traitements, le mixage et le mastering. Le Home-Studio est devenu au fur et à mesure des années un outil sérieux et professionnel. S'ils étaient rares dans les années 80, on ne compte plus aujourd'hui les disques intégralement produits en Home-Studio.

## **g. Conséquences de la crise sur la production musicale**

Après plus d'une décennie de crise, la production musicale est toujours à la recherche d'un nouveau modèle économique. Le disque ne se vend plus, et les revenus de la musique

dématérialisée se font toujours attendre. Les producteurs d'aujourd'hui pratiquent un métier qu'ils ne peuvent rentabiliser qu'en diversifiant leur activité. Cette situation difficile fait d'autant plus souffrir les indépendants qui ne disposent pas des structures nécessaires à cette diversification. En effet, dans les plus grosses organisations (majors), les revenus de l'édition, de la production de spectacles vivants, de produits dérivés, compensent les pertes de la musique enregistrée. Cependant, ces structures diversifiées, tout comme les producteurs indépendants, tendent à minimiser les coûts de production.

Aussi, cette décennie sera celle de l'essor des musiques électroniques, de plus en plus présentes au sein des majors. Hasard ou pas, ces musiques ont la particularité d'être pour la majorité, peu coûteuses en termes de production. Tout d'abord car elles se passent dans la plupart des cas de prises de sons live, élaborées dans des grands espaces, avec un nombre important d'interprètes. Ensuite, car les artistes électroniques ont souvent une sensibilité à la matière sonore proche de celle de l'ingénieur du son. Issus de la génération des « home-studistes », érudits parfois très jeunes aux techniques du son, certains génèrent et sculptent les sons sur des synthétiseurs, pratiquent la prise de son, manipulent effets et traitements. D'autres, composent l'intégralité de leurs œuvres à l'aide d'échantillons et de boucles prélevés sur des enregistrements existant, popularisant des années après sa naissance, la démarche de la musique concrète.

Comme les ingénieurs du son, ces jeunes artistes de la scène électronique, hip-hop et mouvements dérivés, utilisent des logiciels séquenceurs, qui ont décuplé la créativité offerte par la phase de production. Les frontières avec la composition et l'arrangement sont devenues de plus en plus floues, à tel point que ces processus autrefois très distincts et ordonnés chronologiquement sont aujourd'hui intimement liés et simultanés. Ces musiciens hybrides sont à la fois à l'aise tant au poste d'ingénieur du son qu'à celui de producteur. Certains d'entre eux, réalisent seul l'intégralité de leurs albums, de la composition au mixage, voire au mastering. Daft Punk<sup>18</sup>, James BLAKE<sup>19</sup> ou Tyler the Creator<sup>20</sup> sont des exemples récents de ces musiciens qui se

---

18. DAFT PUNK, « *Homework* », 1997

19. JAMES BLAKE, « *James Blake* », 2011

20. TYLER, THE CREATOR, « *Bastard* », 2010



sont approprié le rôle de producteur délaissé par le marché, l'ont totalement intégré à leur processus créatif et l'ont fusionné à celui de l'ingénieur du son et de l'artiste en une seule et même entité.

A l'inverse, les musiques acoustiques réunissant moins de public que la variété sont les plus touchées. Par exemple, Label Bleu, incontournable label de jazz français, cesse son activité de production en 2007<sup>21</sup>.

Cette crise touche de façon logique les acteurs traditionnels de la phase de production : les studios d'enregistrement et de mixage. Un grand nombre d'entre eux a aujourd'hui fermé. Certains survivent au prix d'efforts que seuls de rares passionnés sont prêts à concéder. La plupart ont évolué vers des structures plus compactes dans un souci de rentabilité. De plus, la performance des technologies numériques a depuis 15 ans très nettement réduit les différences entre un Home-Studio et un studio professionnel. Les outils d'acquisition sont bon-marché, la massive console analogique disparaît petit à petit au profit d'un logiciel séquenceur et de pré-amplificateurs en rack, parfois des tranches de console reconditionnées pour un usage indépendant (cf. Fig. 6). Les outils virtuels de traitement sont également communs aux deux catégories.

Les structures générées par la crise et l'évolution de la musique enregistrée sont définitivement plus compactes, et ne se différencient souvent du « Home-Studio » que lorsqu'elles ne servent pas d'habitation.



Fig.6 Exemple de tranches de console reconditionnées

21. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Label\\_Bleu](http://fr.wikipedia.org/wiki/Label_Bleu)

## C. Conclusion du chapitre

L'histoire de la musique enregistrée commence au début du XX<sup>ème</sup> siècle. Le cylindre de cire, puis le disque en shellac réalisent l'incroyable prouesse de figer un événement sonore sur un support. L'écoute de ce support est un voyage dans le temps : il permet de vivre et revivre un instant passé, probablement jamais vécu, durant lequel avec de la chance, du talent et beaucoup de travail, l'interprète est parvenu à toucher du bout du doigt l'absolu, à exprimer le plus exactement son œuvre. Il faudra peu de temps à cette expérience extraordinaire pour devenir un phénomène mondial et indispensable. Cent ans après, la musique est partout et plus que jamais présente dans nos vies. Cependant, le monde de la musique enregistrée traverse depuis plus d'une décennie une profonde mutation. La virtualisation des œuvres et la crise du support ont amené à repenser les méthodes de production dans un contexte de précarisation. Les évolutions technologiques, dont l'informatisation et l'audio numérique sont probablement les plus emblématiques, ont permis cette transition en démocratisant les outils nécessaires à la production. Les structures nouvelles sont compactes, les musiques nouvelles moins acoustiques. Devant ce dilemme où s'opposent la demande et les moyens d'y répondre, le monde de la musique enregistrée cherche encore un modèle économique viable, en témoignent les récentes réflexions politiques menées pour l'extension de la copie privée (rapport Lescure)<sup>22</sup>.

---

22. [http://culturecommunication.gouv.fr/var/culture/storage/culture\\_mag/rapport\\_lescurer/index.htm#/](http://culturecommunication.gouv.fr/var/culture/storage/culture_mag/rapport_lescurer/index.htm#/)

### III . SOMMATION ET MIXAGE

#### A. Outils et usages du mixage de musiques actuelles en 2013

Les contraintes économiques de la production ainsi que l'informatisation des studios laissaient fortement penser, à l'aube des années 2000, que la console analogique disparaîtrait progressivement et serait remplacée dans certains cas par des consoles numériques comme dans le mixage du son à l'image ou le mixage classique ou remplacée par les consoles virtuelles des séquenceurs reliées ou non à des surfaces de contrôles dans d'autres.

##### a. Persévérance du mixage analogique dans les structures traditionnelles

Plus de vingt ans après la révolution numérique, il semble que ces options n'aient pas séduit les mixeurs de musiques actuelles. Il suffit pour s'en convaincre d'observer l'équipement de « gros » studios encore en activité (cf. Fig. 7). Les raisons de la persévérance du mixage analogique dans ces structures traditionnelles sont diverses. La raison la plus importante est probablement l'usage très répandu de périphériques analogiques, complémentaires des plug-in pour le traitement des sources. Les consoles virtuelles ou les consoles numériques effectuent leurs opérations de « routing » exclusivement sur des signaux audio-numériques. Ainsi, lors de l'utilisation de périphériques analogiques, il faut convertir le signal audio-numérique en signal audio-analogique afin qu'il soit envoyé au périphérique. Cette conversion N/A est également requise lors d'un mixage analogique. Cependant, toute opération de « routing » lors d'un mixage numérique nécessite une conversion A/N préalable. Cette contrainte augmente donc considérablement le nombre de conversions A/N et N/A lors de chaînage de traitements analogiques avec des opérations de « routing ». Ces cas sont fréquents en mixage de musiques actuelles, où l'on effectue souvent des traitements en parallèle, des traitements sur des sous-groupes (groupement de certaines sources) et des traitements sur le master (groupement de l'ensemble des pistes). Or, une conversion A/N est une discrétisation d'un signal continu en temps et en amplitude ; elle est donc une approximation de ce dernier.

PAYS	NOM	ADRESSE	OUTIL DE MIXAGE STUDIO A	OUTIL DE MIXAGE STUDIO B	OUTIL DE MIXAGE STUDIO C
France	Studios de la Seine	80, rue traversière 75012 PARIS	Console numérique. Cabine utilisée essentiellement pour le mixage à l'image en 5.1.	Console analogique.	Console analogique.
France	Studio Ferber	56, rue du Capitaine Ferber 75020 PARIS	Console analogique.	Console analogique.	
France	Studio Gang	12/14, boulevard de l'Hôpital 75005 PARIS	Console analogique.		
France	Studio Pigalle	18, rue Jean-Baptiste Pigalle 75009 PARIS	Console analogique.		
France	Studio Davout	73, boulevard Davout 75020 PARIS	Console analogique.	Console analogique.	Console analogique.
France	Studio Plus XXX	36/37, rue des Annelets 75019 PARIS	Console analogique.		
France	Studio La Fabrique	454, petite route des Jardins 13210 SAINT REMY DE PROVENCE	Console analogique.		
France	Studio La Buissonne	397, route de la Buissonne 84210 Pernes-les-fontaines	Console analogique.		
France	Studio Blackbox	La dionnaie 49520 Noyant-la-Gravoyère	Console analogique.	Sommateur analogique.	
France	Studios de la grande armée	Palais des Congrès CIP 96 75 853 PARIS CEDEX 17	Console analogique.	Console analogique.	Console numérique. Cabine utilisée essentiellement pour le mixage à l'image en 5.1.
France	Studios Oméga	751, rue Merlin de Thionville 92150 Suresnes	Console analogique.		
France	Studios Guillaume Tell	20, avenue de la Belle Gabrielle 92150 Suresnes	Console analogique.	Console numérique. Cabine utilisée essentiellement pour le mixage à l'image en 5.1.	
France	Studios Polygone	4, avenue du Parc 31700 Blagnac	Console analogique.	Console analogique.	
Angleterre	Air Studios	Lyndhurst Hall, Lyndhurst Road, Hampstead London , NW3 5NG	Console analogique.	Console analogique.	Console numérique. Cabine uniquement utilisée pour le mixage à l'image.
Angleterre	Abbey Road Studios	3 Abbey Road, St. John's Wood, London NW8 9AY	Console analogique.	Console analogique.	Console analogique.

Fig.7 Outils de mixage de studios traditionnels en 2013

La succession de conversions A/N et N/A est donc une accumulation d'approximations, de modifications non-contrôlées du signal original<sup>1</sup>. De plus, une conversion A/N ou une conversion N/A induit un retard non-négligeable dans la propagation d'un signal audio. Ainsi, l'accumulation de conversions A/N et N/A nécessite une compensation des délais qu'elles induisent via l'usage de mémoire tampon, afin de préserver les relations temporelles des différentes pistes. Cette latence globale, égale à la latence la plus élevée, n'est pas gênante lors de l'étape de mixage mais peut le devenir lors de la phase de prise de son, le musicien écoutant dans son casque un son en retard par rapport au son émis.

D'autres raisons, justifient probablement cette persévérance de l'usage de consoles analogiques. Elles présentent des circuits munis de composants standardisés (transistors, circuits intégrés, ...etc) assez stables dans le temps, peu coûteux, aisés à entretenir et à maintenir rapidement. Ces dernières sont donc beaucoup moins sujettes à l'obsolescence que les consoles informatisées, argument de poids en regard du contexte économique.

L'empreinte sonore de ces outils est également un argument souvent invoqué par les professionnels. On attend d'une console « qu'elle sonne », qu'elle fasse du son, qu'elle ait du caractère, une personnalité, qu'elle signe les œuvres par son apport de chaleur ou par sa façon unique de générer des harmoniques.

Enfin, un argument plus récent, sujet central de ce mémoire, est invoqué depuis l'apparition de l'alternative numérique : le rendu de la sommation.

### **b. Persévérance du mixage analogique dans les nouvelles structures**

C'est en s'intéressant aux structures apparues depuis les années 2000 que l'intérêt porté à la sommation analogique est manifeste. Ces cabines de mixages compactes, appartenant à des producteurs ou mixeurs indépendants, contraintes économiquement et spatialement, ont trouvé grâce aux séquenceurs numériques des outils à la fois performants et adaptés à leurs besoins. Le

---

1. STOCKHAM T.G., « *A-D and D-A converters : their effect on digital audio fidelity* », AES 1971

mixage d'un très grand nombre de pistes peut aujourd'hui être entièrement effectué au sein d'un séquenceur, des plug-in permettent des traitements uniques, d'autres modélisent des périphériques analogiques avec une grande précision, automation et sommation sont également proposées par ces séquenceurs.

Cependant, depuis leur apparition, ces structures ne semblent pas se contenter de cette offre tout-en-un. Un grand nombre de ces studios fait en effet appel à des mélangeurs externes afin d'utiliser quelques périphériques et de sommer analogiquement le signal audio. Le marché de l'occasion des années 2000 à maintenant est révélateur de cette tendance. En effet, peu d'options compactes et professionnelles s'offrent alors. Les années 90 achèvent le passage aux outils numériques en radio et en télévision qui se débarrassent de leurs consoles analogiques. Parmi elles, certaines sont compactes et de grande qualité audio, destinées au départ à l'enregistrement mobile d'orchestres (cf. Fig. 8). Ces consoles seront des petits sommateurs de qualité prisés, devenant de plus en plus rares sur le marché de l'occasion. Les « sidecars », appoints des larges consoles des années 70, subiront la même reconversion, certains d'entre-eux ont vu leur prix tripler voire quadrupler à l'argus durant cette période (cf. Fig. 9).



Fig. 8 Console conçue pour des enregistrements mobiles Fig.9 Sidecar pouvant être utilisé en mixeur indépendant

Pour répondre à cette forte demande de petits mixeurs, de nombreux fabricants proposent désormais des sommateurs analogiques. Souvent dépourvus des fonctions traditionnelles des consoles de mixages telles que l'égalisation, le routing, les traitements de

dynamique ou les faders dans un souci de compacité ; ces petits boîtiers permettent de bénéficier d'une sommation analogique de qualité à moindre coût et sont utilisés en complément des séquenceurs logiciels (cf. Fig. 9). Les arguments commerciaux en faveur des ces sommateurs sont variables. Certains fabricants mettent en valeur l'argument de la couleur. En effet, l'offre analogique tend à se radicaliser en revendiquant un son différent : sommateurs à lampes (cf. Fig 10 ), sommateurs utilisant des transformateurs audio d'entrée et de sortie pour la symétrisation et la désymétrisation du signal. Les fabricants historiques comme Neve ou SSL se vendent plutôt comme garants d'une tradition sonore. Leurs outils de mixage analogique modernes se trouvent parfois également en postsynchronisation ou en mixage pour la télévision<sup>2</sup>. D'autres au contraire, comme pour les consoles, fabriquent ce type de produits dans un souci de transparence, présentant des performances et un coût élevés<sup>3</sup>.



Fig. 9 Sommateur analogique avec potentiomètres de volume, de pan, et une section de monitoring

2. Sonnovision Broadcast n°564

3. <http://www.soundonsound.com/sos/aug12/articles/splneosmedia.htm>



Fig. 10 Sommateur analogique à lampes

### c. Utilisations de la sommation analogique

S'il est commun dans des petits studios que des mixages soient réalisés entièrement au moyen d'un séquenceur, il est en revanche plus rare, dans les structures traditionnelles munies de consoles ou dans des structures compactes utilisant des sommateurs, que le mélange soit effectué exclusivement en analogique. En effet, le nombre de pistes logicielles aujourd'hui disponibles est considérable. Même les studios utilisant encore la bande analogique, repassent dans de nombreux cas par un séquenceur pour satisfaire les désirs d'arrangements, d'instruments additionnels et surtout d'édition des producteurs et artistes. Les productions actuelles sont souvent denses et le recours à des sommations hybrides, mélangeant sommations analogiques et sommations numériques est répandu.

Nous distinguerons trois méthodes de sommation utilisant la sommation analogique, correspondant à des cas théoriques spécifiques :

**-La sommation entièrement analogique** fait correspondre exactement, le nombre de pistes logicielles et le nombre de voies de conversion numérique/analogique. Le nombre de voies de console utilisé lui est égal ou supérieur, l'usage de traitements en parallèles ou de périphériques de spatialisation pouvant nécessiter l'ajout de voies. Les voies logicielles sont donc transformées en voies analogiques via des convertisseurs N/A et envoyées vers les voies d'une console. Le mixage est alors obtenu via l'enregistrement du bus master de la console qui véhicule le résultat de la sommation analogique sur une voie stéréophonique (cf. Fig.11).



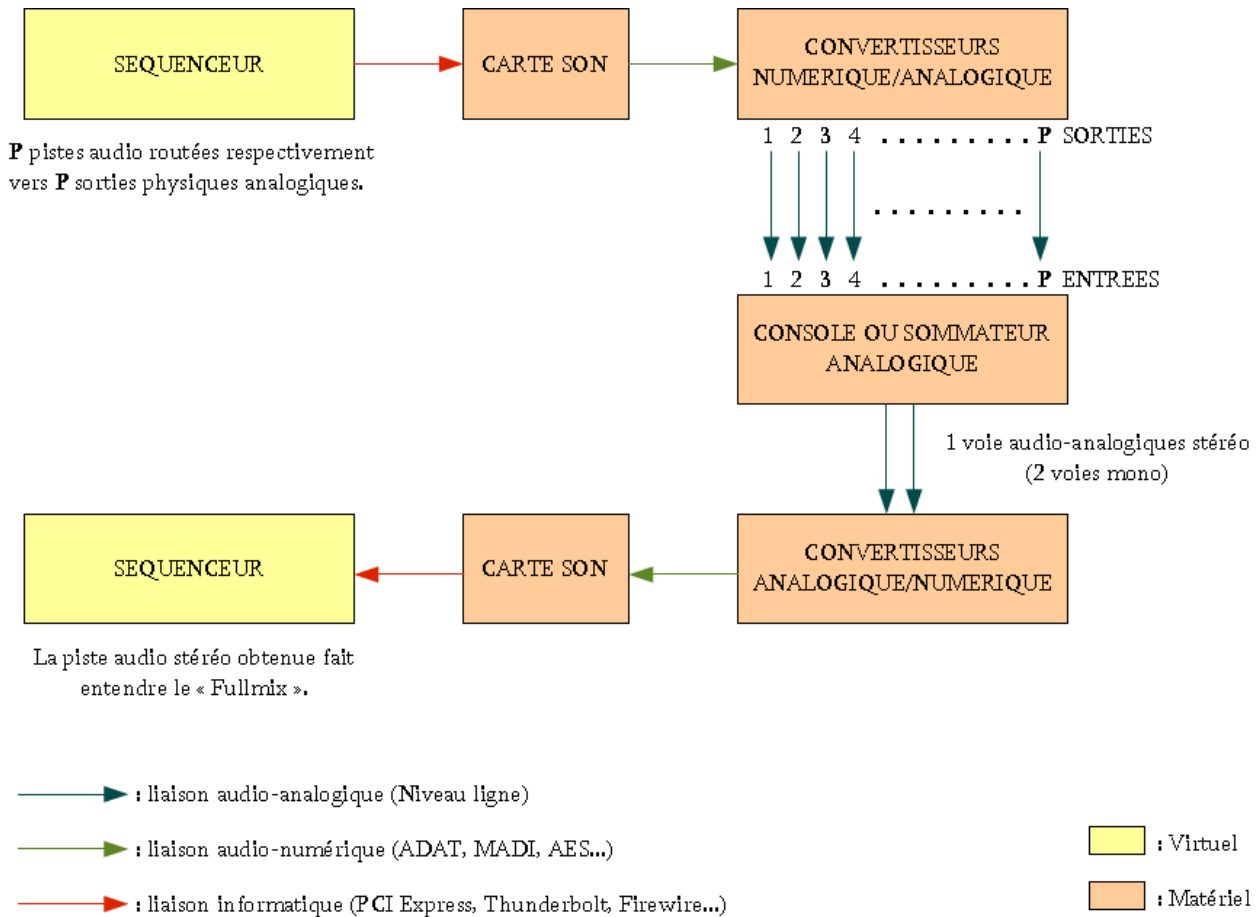


Fig. 11 Sommation entièrement analogique

-La sommation hybride à l'aide de pré-mixages analogiques fait également correspondre le nombre de pistes logicielles au nombre de voies de conversions numérique/analogique. Cependant, toutes les voies ne sont pas sommées sur une seule piste stéréophonique mais sur plusieurs, des stems. Les pistes logicielles sont donc réparties sur différentes stems sommées ultérieurement en numérique. Cette technique présente l'avantage de pouvoir regrouper les pistes logicielles par affinité : spectre, rôle musical par exemple, et donc d'effectuer certaines retouches avant ou pendant l'étape du mastering (ajustement de niveau, de timbre, traitements dynamiques globaux, ...etc). Dans les petites structures munies de sommateurs analogiques cette technique permet de privilégier la sommation analogique malgré le nombre réduit de voies d'un sommateur en réalisant les différentes stems les unes après les autres. La contrepartie est que l'opérateur ne parvient à écouter le résultat final qu'au moment d'enregistrer la dernière stem. Ce processus fastidieux présente lorsqu'il est maîtrisé l'avantage

de multiplier par le nombre de stems les périphériques à dispositions pour le mixage. Jean LAMOOT est un ingénieur du son français qui utilise cette technique. Il mixe ainsi avec peu de périphériques et une petite console « sidecar ». Même pour les structures disposant de grandes consoles, cette technique est répandue pour ses possibilités de retouches sans rappel ou « recall » (fastidieux et approximatif dans le cas de recours à des périphériques analogiques) qui peuvent alors être effectuées plus rapidement à l'aide de n'importe qu'elle autre station numérique. Les ingénieurs du son pratiquant cette technique évoquent également une alternative au rendu sonore du « full mix » analogique souvent plus intéressante<sup>4</sup> (cf. Fig. 12).

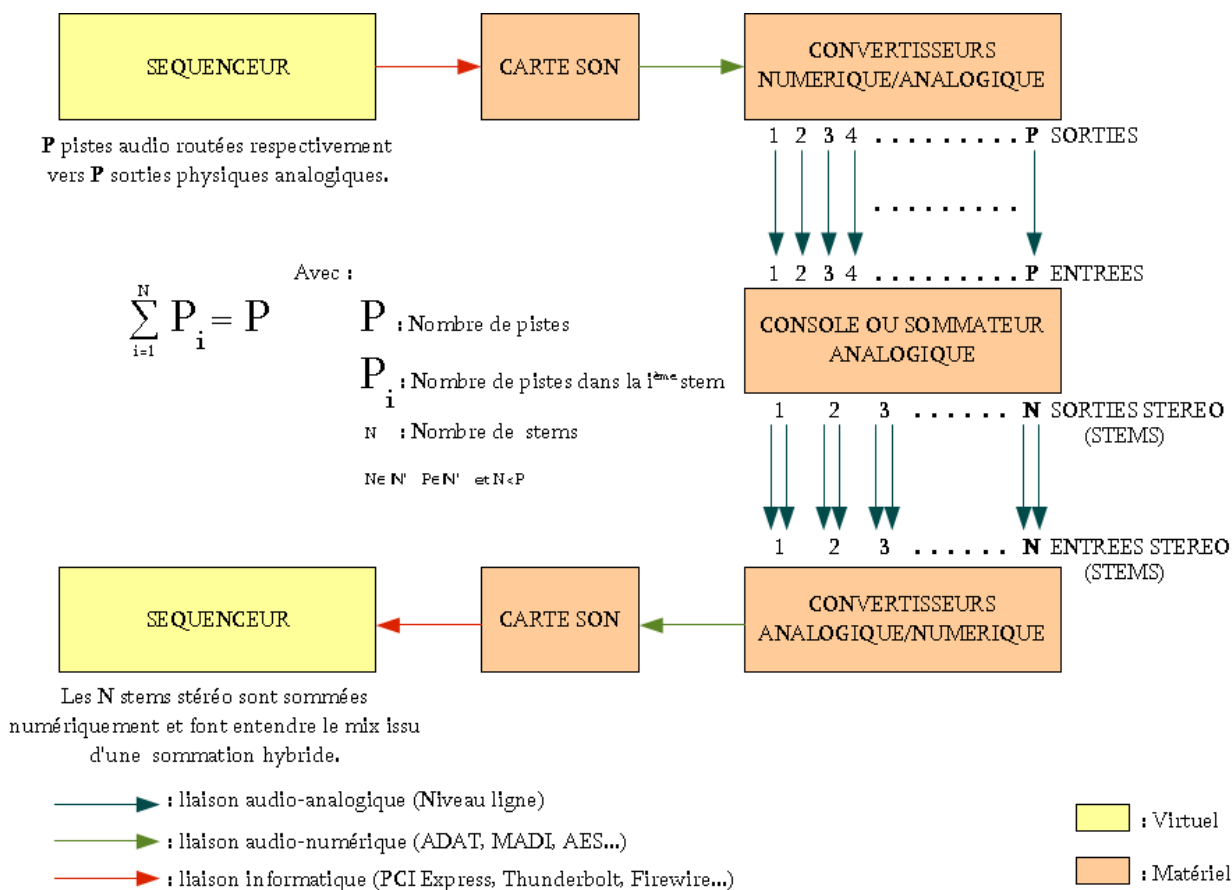


Fig. 12 Sommation hybride à l'aide de pré-mixages analogiques

4. ERNOULD F., « Studio Etlanuit Jouer collectif... », p.36, Keyboardsrecording, Avril 2011

-La **sommation hybride à l'aide de pré-mixages numériques** ne fait pas correspondre le nombre de pistes logicielles au nombre de sorties physiques. Certaines voies sont routées dans un même bus numérique au sein du séquenceur ; ce bus est ensuite affecté à une sortie physique (voie de conversion). Les pistes en question sont donc sommées numériquement préalablement à l'envoi vers la console ou le sommateur analogique. Ce processus peut être vu comme inverse au précédent ; les pistes logicielles étant sommées numériquement alors que les stems sont sommés analogiquement (cf. Fig 13.).

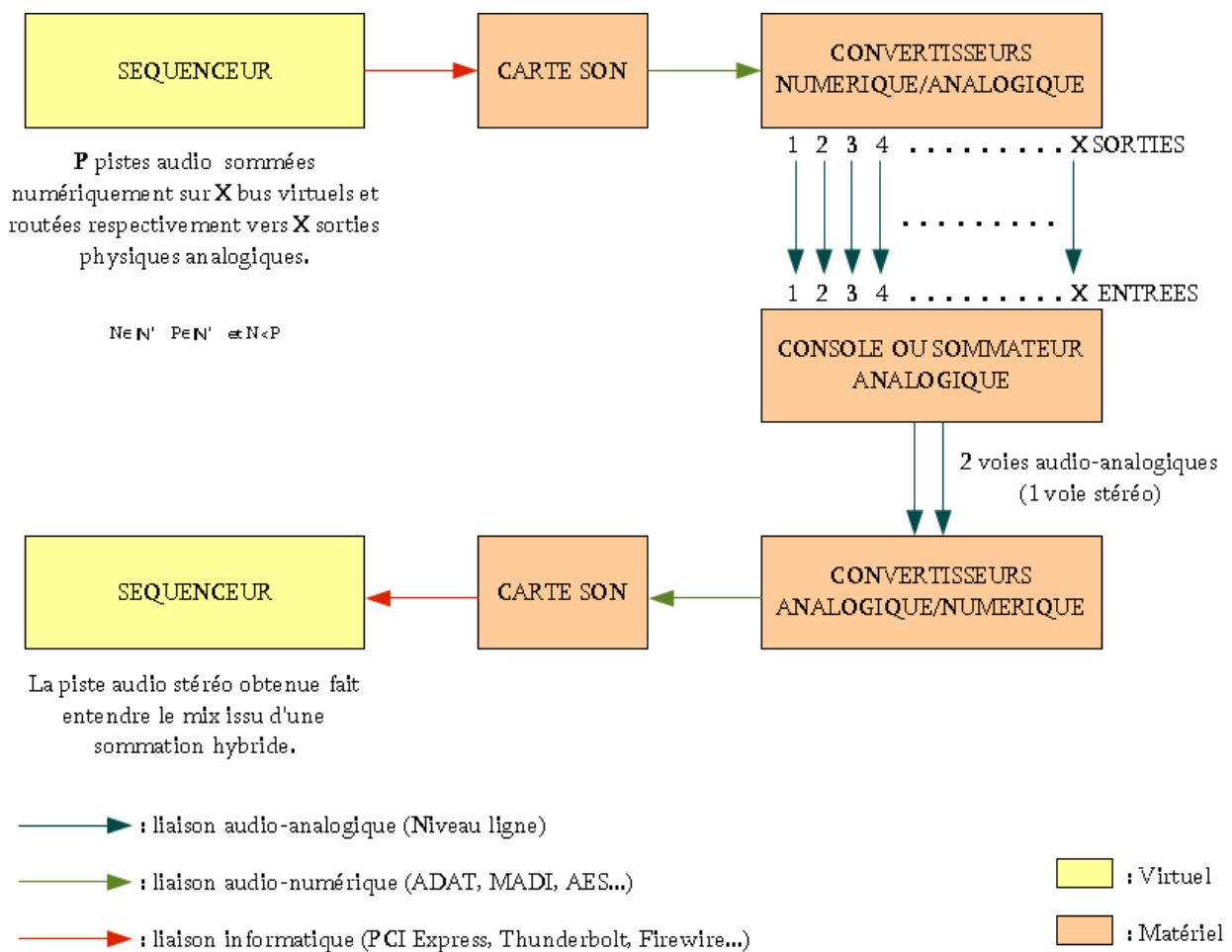


Fig. 13 Sommation hybride à l'aide de pré-mixages numériques

En pratique, les méthodes de mixages ayant recours à la sommation analogique sont souvent un mélange de ces différentes classifications théoriques.

## B. Sommaton analogique

### a. Notion d'impédance électrique

Nous tenons à rappeler brièvement une notion nécessaire à la compréhension des principes électroniques liés à la sommaton analogique : l'impédance. Ce terme désigne, en toute rigueur, le nombre complexe qui caractérise l'opposition au passage d'un courant sinusoïdal dans un dipôle. Il est lié à ce dernier par la relation suivante, la loi d'Ohm généralisée :

$$\tilde{Z}_{AB} = \frac{\tilde{U}_{AB}}{\tilde{I}}$$

$$\text{Avec : } \tilde{I} = \tilde{I}_0 \cos(\omega t + \phi_1) \quad \tilde{U}_{AB} = \tilde{U}_0 \cos(\omega t + \phi_2)$$

$\tilde{I}$  désigne l'intensité du courant sinusoïdal alimentant le dipôle,  $\tilde{U}_{AB}$  désigne la tension aux bornes du dipôle. On peut également exprimer l'impédance sous la forme d'un nombre complexe :

$$\tilde{Z}_{AB} = |Z| j \varphi$$

$$\text{Avec : } \varphi = \phi_2 - \phi_1 \text{ et } |Z| \text{ le module de } \tilde{Z}_{AB}$$

La résistance R, constitue la partie résistive de l'impédance, c'est donc la projection de  $|Z|$  sur l'axe des réels soit :

$$R = |Z| \cos \varphi$$

Dans le cadre de la sommaton, les impédances mises en jeu sont purement résistives,

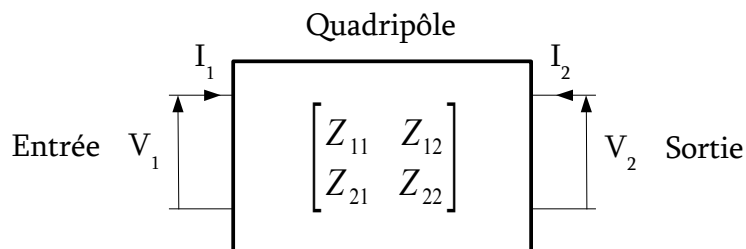
leur nombre complexe associé ne présente donc pas de partie imaginaire et dans ce cas :

$$\varphi=0 \Rightarrow \cos\varphi=1 \text{ donc } Z=|\tilde{Z}|=R$$

Dans d'autres cas plus généraux en audio, on désigne par impédance son module, homogène à une résistance, donc exprimé en ohms.

### b. Quadripôles

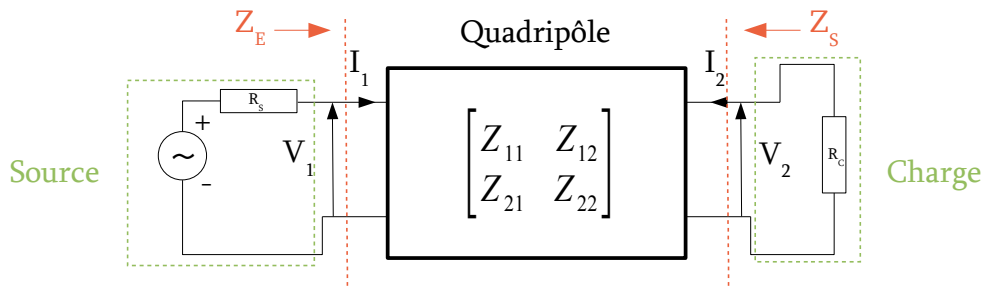
Dans la pratique, nous sommes principalement amenés à considérer des quadripôles ainsi que les relations qu'ils entretiennent entre eux pour une compréhension simple des circuits électroniques. Ces considérations imposent de distinguer différentes impédances. Un quadripôle peut être représenté de la façon suivante :



Le quadripôle présente deux entrées et deux sorties et leurs impédances associées :  $Z_{11}$ ,  $Z_{21}$ ,  $Z_{12}$ ,  $Z_{22}$ . Les différentes variables sont liées de la façon suivante :

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Le signal audio-analogique peut la plupart du temps être vu comme circulant d'un quadripôle à un autre ; ainsi, l'étude d'un quadripôle mène souvent à la considération de ce cas spécifique :



La sortie du quadripôle précédent est représentée comme un générateur, l'entrée du quadripôle suivant comme une charge. Dans le cas où le quadripôle est « attaqué » par une source à son entrée et « chargé » en sortie par une charge, son état électrique peut être décrit par les relations et variables suivantes :

- $Z_E$  est appelée **impédance vue en entrée** par le quadripôle

- $Z_s$  est appelée **impédance de sortie**

$$\begin{cases} V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 = -R_C \cdot I_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ Z_{21} \cdot \frac{I_1}{I_2} = -R_C + Z_{22} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_1 = Z_{11} \cdot I_1 - Z_{12} \cdot I_2 \\ \frac{I_2}{I_1} = -\frac{Z_{21}}{Z_{22} + R_C} \end{cases} \quad (1)$$

Or :

$$Z_E = \frac{V_1}{I_1} \Rightarrow Z_E = Z_{11} + Z_{12} \cdot \frac{I_2}{I_1} \text{ d'où d'après (1) } Z_E = Z_{11} - Z_{12} \cdot \frac{Z_{21}}{Z_{22} + R_C}$$

Lorsque le quadripôle n'est pas chargé , on a :  $R_C \rightarrow \infty$  donc  $Z_E = Z_{11}$ .

De même :

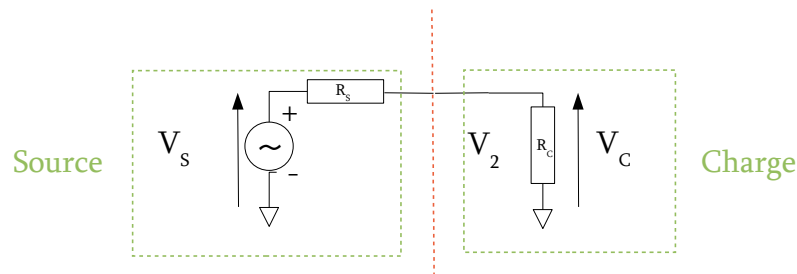
$$\begin{cases} V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 = -R_S \cdot I_1 \\ V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Z_{11} + Z_{12} \cdot \frac{I_2}{I_1} = -R_S \\ V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{I_2}{I_1} = \frac{Z_{12}}{Z_{11} + R_S} \\ V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{cases} \quad (2)$$

Or :

$$Z_s = \frac{V_2}{I_2} \Rightarrow Z_s = Z_{22} - Z_{21} \cdot \frac{I_1}{I_2} \text{ d'où d'après (2) } Z_s = Z_{22} - Z_{21} \cdot \frac{Z_{12}}{Z_{11} + R_s}$$

### c. Adaptation d'impédances en tension

Nous remarquons grâce aux chapitres précédents que le signal audio est transmis à travers l'impédance de sortie ou impédance source d'un générateur, vers un récepteur via son impédance d'entrée. La transmission des signaux audio nécessite, pour différentes raisons technologiques (usages d'amplificateurs opérationnels et de transistors), une adaptation en tension. Cette adaptation permet de transmettre, dans le cas idéal, l'intégralité de la tension de l'émetteur vers le récepteur. Regardons dans la pratique ce qu'il se passe :



$V_s$  est la tension générée que l'on veut transmettre, une fois franchie l'interface entre les deux quadripôles, elle deviendra  $V_c$ . Cette transmission de tension est soumise dans ce cas à l'effet du pont diviseur de tension créé par l'impédance source  $R_s$  de la source et l'impédance d'entrée de la charge  $R_c$ . On a :

$$V_c = \frac{R_c}{R_s + R_c} \cdot V_s$$

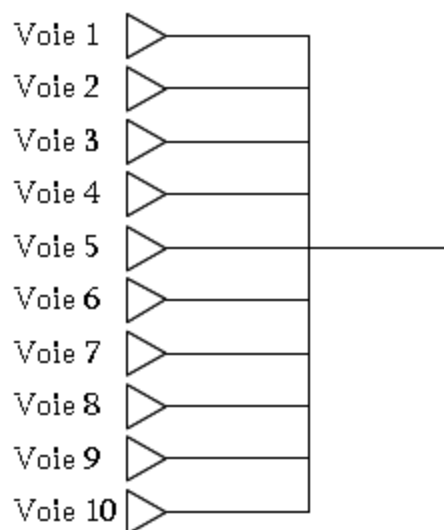
$$V_C \rightarrow V_S \text{ implique } \frac{R_C}{R_S + R_C} \rightarrow 1 \text{ soit } R_C \gg R_S.$$

Ainsi, les quadripôles audio présentent des impédances de sorties faibles (quelques dizaines à quelques centaines d'ohms), alors que les impédances de charges sont elles élevées (plusieurs kΩ). Ces caractéristiques sont indispensables pour comprendre l'allure de circuits tels que ceux des sommateurs audio.

#### d. Sommateurs analogiques

Le rôle d'un sommateur audio est de mélanger différentes sources basse impédance de niveau ligne sur une seule ligne de même caractéristique. Considérons ce point de départ simple comme unique condition à l'élaboration d'un sommateur et observons les différentes contraintes techniques qui s'imposent à mesure de sa construction.

Intuitivement, et par analogie au modèle de la sommation numérique<sup>4</sup>, il suffirait de relier les différentes sources à un même nœud par de simples fils. On obtiendrait alors, par exemple dans le cas d'un mélangeur 10 voies, le réseau suivant :



4. PREVESTO B., « La sommation numérique », ENS Louis - Lumière 2012



Réfléchissons au cas purement théorique : considérons chaque voie comme une source de tension parfaite, c'est le cas de la sortie d'un amplificateur opérationnel idéal, par exemple. Dans un tel cas, le courant à la sortie de chaque voie est nul, or ce réseau en étoile ne permet de sommer que des courants. Il est donc impossible en théorie de construire un sommateur de cette façon là.

Considérons maintenant un cas pratique, où les impédances de sortie de chaque canal ne sont pas nulles mais faibles, 10  $\Omega$  par exemple (un amplificateur opérationnel TL071 a une impédance de sortie de 170  $\Omega$  environ et un 5532 une impédance de sortie de 0,3  $\Omega$ <sup>6</sup>). On remarque que l'impédance de charge vue par un canal est égal à la l'impédance équivalente des 9 autres voies en parallèles. En considérant que chaque voie a la même impédance de sortie, on trouve la relation générale suivante pour un réseau à n voies d'impédance de sortie Z :

$$Z_{EQ} = \frac{Z}{n-1}$$

On a donc pour notre mélangeur :

$$Z_{EQ} = \frac{10}{9}$$

Soit :

$$Z_{EQ} \approx 1,1\Omega$$

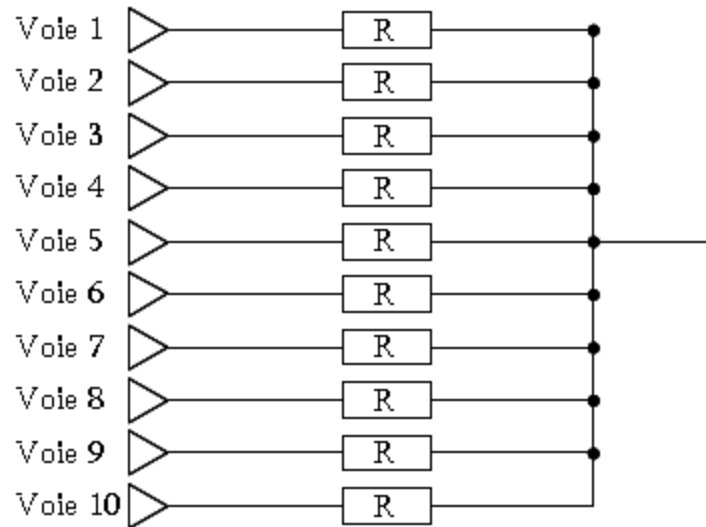
Le cas pratique confirme l'impossibilité de construire un sommateur selon cette méthode. La constitution d'un tel réseau rend impossible sa charge par une haute impédance dans le but d'avoir une bonne adaptation en tension.

La solution semble donc d'augmenter l'impédance présente en sortie de chaque voie. En pratique les sommateurs présentent donc des résistances de mélange sur chaque canal. Ces

---

6. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne5532.pdf>

résistances sont toutes de même valeur, le réseau ressemble alors à ceci :



L'impédance vue par une voie est maintenant égale à la valeur de R plus l'impédance des 9 autres voies en parallèle. On a pour un mélangeur de n voies :

$$Z_c = R + \frac{Z}{n-1}$$

Soit pour notre mélangeur 10 voies dans le cas de résistances de mélange de 1k ohms :

$$Z_c = 1000 + \frac{1000}{9}$$

Soit :

$$Z_c \approx 1,1 \text{ k}\Omega$$

Toutes les voies sont maintenant reliées au bus via des résistances de mélange. Celles-ci provoquent une atténuation au point de jonction créant le bus. En effet, dans le cas où un signal de tension  $U_E$  est fourni par chaque entrée, la tension  $U_B$  présente au nœud du bus une atténuation due au pont diviseur de tension formé par la résistance de mélange et l'impédance équivalente des autres voies. On a :

$$Att = \frac{U_E}{U_B} = \frac{R + Z_{EQ}}{Z_{EQ}} \Rightarrow Att = \frac{R + \frac{Z}{n-1}}{\frac{Z}{n-1}}$$

On rappelle que dans le cas de notre mélangeur :  $R=Z$  d'où :

$$Att = n$$

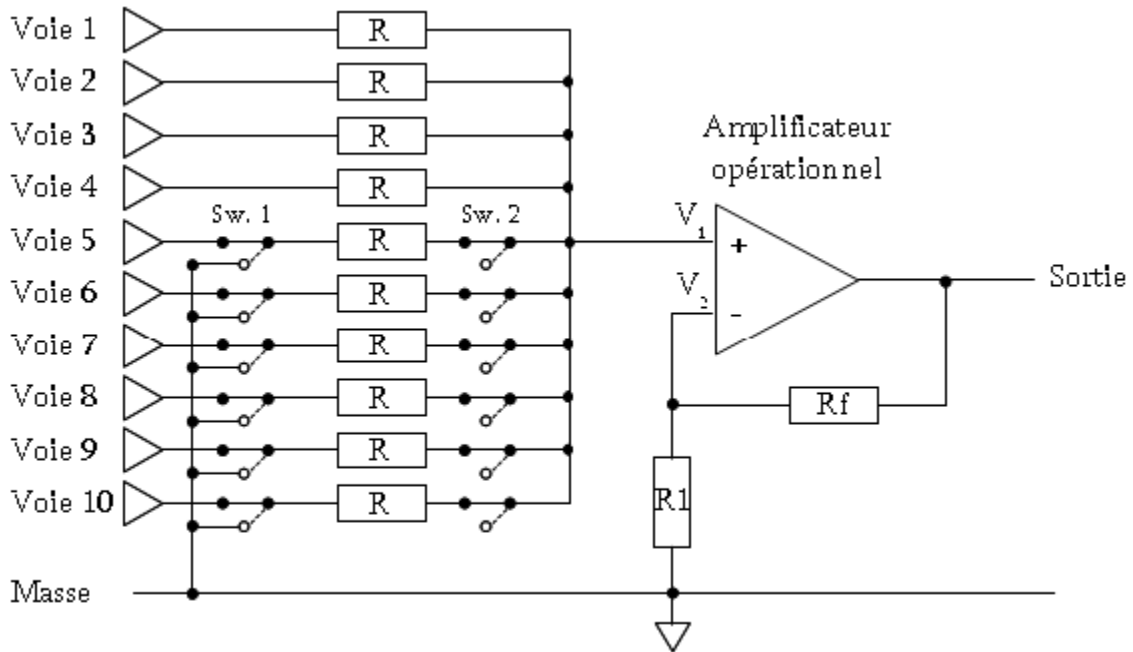
$$Att_{dB} = 20 \cdot \log n$$

On a donc, dans le cas de notre petit mixeur 10 voies une atténuation de  $20 \log(10)$ , soit environ 20 dB. Un mixeur 16 voies présentera à ce même point une atténuation de 24 dB un mixeur à 24 voies 27,6 dB, un mixeur à 48 voies 33,6 dB, ...etc

Passé le nœud, deux topologies existent pour la compensation de l'atténuation afin de retrouver le niveau ligne initialement fourni par chaque voie. Bien que toutes actives, l'une est communément appelée « sommateur passif » ou « sommateur de tensions », l'autre est appelée « sommateur actif », « sommateur de courants », « sommateur sur impédance nulle » ou encore « sommateur sur masse virtuelle ».

### e. Sommateurs de tension

La figure suivante présente le montage typique d'un sommateur passif.



Dans cette configuration, l'amplificateur qui suit le bus fonctionne en régime linéaire. En effet la boucle de contre-réaction réinjecte une fraction du signal de sortie vers l'entrée inverseuse de l'amplificateur opérationnel, maintenant ses deux entrées au même potentiel. On remarque que la réinjection (et donc l'amplification) est dosée par le pont diviseur de tension formé par  $R_f$  et  $R_1$ . L'impédance d'entrée de l'amplificateur opérationnel idéal dans cette configuration est infinie, d'où l'appellation de « sommation en tension » de ce procédé.

On a :

$$V_2 = V_{OUT} \cdot \frac{R_1}{R_f + R_1}$$

Or dans le cas d'un amplificateur opérationnel idéal en régime linéaire  $V_2 = V_1$  :

$$V_1 = V_{OUT} \cdot \frac{R_1}{R_f + R_1}$$

Le gain est exprimé de la façon suivante :

$$A_{(V)} = \frac{V_{OUT}}{V_1}$$

On obtient ici la relation suivante :

$$A_{(V)} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

Ainsi, pour retrouver un niveau ligne, c'est-à-dire le niveau fourni par nos différentes voies avant le réseau de résistances du bus, il nous faut avoir :

$$A_{(V)} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

En choisissant  $R_f$  et  $R_1$  afin de remplir la condition  $\frac{R_f}{R_1} = n - 1$  le sommateur présente un gain unitaire et la perte induite par le réseau de résistance est maintenant compensée par l'amplificateur. Cette opération a rajouté du bruit au signal, généré par le réseau de résistances et par l'activité interne de l'amplificateur.

Certains problèmes sont cependant inhérents à cette technique rudimentaire de mélange. Considérons le besoin simple, dans le cas d'une grande console de mixage, de « muter » une voie, ou même de ne pas utiliser cette dernière. Cette technique n'est pas optimale pour cette simple manipulation. Prenons en exemple un cas pratique : nous souhaitons muter les 5 dernières voies de notre sommateur. Admettons que pour cela l'on se contente de ne pas

connecter de magnétophone ou de convertisseurs en entrée. On se retrouve alors dans le cas où l'interrupteur Sw. 2 est ouvert. La valeur de l'atténuation est alors modifiée, on a :

$$Att = n = 5$$

Alors que le gain de l'amplificateur n'est pas modifié, en effet :

$$A_{(V)} = n = 10$$

Une autre solution simple, pour pouvoir muter ou ne pas utiliser certaines voies du sommateur serait de sortir ces voies du réseau via l'interrupteur Sw.1. L'impédance source du bus n'est alors pas modifiée et l'atténuation reste la même que pour 10 voies actives. Cette solution pose un autre problème évident : le bruit. Celui-ci reste constant que l'on somme 2 ou 10 voies, autrement dit, le rapport signal/bruit diminue à mesure que l'on mute des voies du réseau. Une solution plus complexe et plus coûteuse est cependant envisageable : l'ouverture de l'interrupteur Sw.2 pourrait commander électroniquement, via un système de relais, une incrémentation de la valeur de  $R_f$  à chaque mute. D'autres difficultés évidentes, liées aux problèmes précédents apparaissent dans le cas de la construction d'un mélangeur stéréophonique muni de potentiomètres de panoramique (panpot), ou simplement de faders. Le coût d'un tel mixeur devient alors beaucoup plus élevé que s'il utilise la topologie active, car l'usage de panpot, de potentiomètres de volume ou d'envois impose l'utilisation d'étages tampon ( buffers).

Un autre défaut est inhérent à cette topologie : la diaphonie. En effet, la sommation s'effectue sur l'entrée non-inverseuse d'un amplificateur opérationnel, donc sur une haute impédance. Une simple allusion à la loi des nœuds permet de comprendre que cette haute impédance autorise une circulation de courant d'une voie à l'autre, elle ne parvient pas à « attirer tout le courant vers elle ». Ce paramètre est déterminant dans le cadre de la conception d'une console stéréophonique ou multicanal<sup>7</sup>.

---

7. [http://infoscience.epfl.ch/record/54902/files/pulkki04\\_crosstalk.pdf](http://infoscience.epfl.ch/record/54902/files/pulkki04_crosstalk.pdf)

On peut calculer l'isolation (l'inverse de la diaphonie) de la voie 2 par rapport à la voie 1 en considérant deux atténuations par deux ponts diviseurs de tensions successifs. Le premier est formé par la résistance de sommation de la première voie et l'impédance source du bus, c'est l'atténuation :

$$Att = n$$

L'autre atténuation dépend de l'impédance source des voies, en effet le second pont diviseur de tension est formé par la résistance de sommation de la voie 2 et l'impédance source de cette même voie. Prenons une valeur que nous retrouverons dans la partie pratique de ce mémoire, une impédance source de voie de 47ohms. L'atténuation supplémentaire est alors de :

$$Att = \frac{R + R_s}{R_s}$$

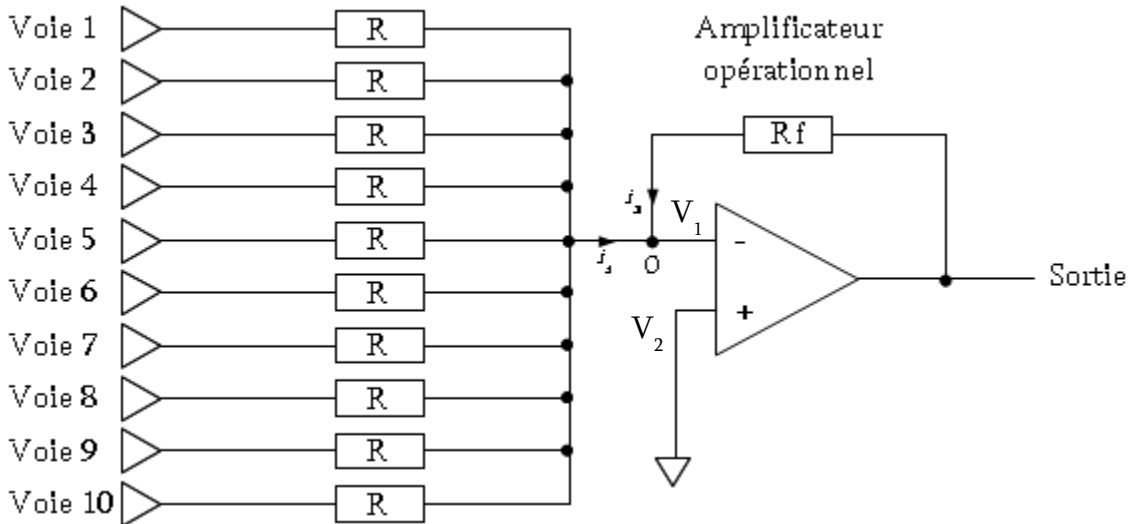
$$Att = \frac{1000 + 47}{47} \Rightarrow Att_{dB} = 20 \cdot \log\left(\frac{1000 + 47}{47}\right) \Rightarrow Att_{dB} \approx 26,9 \text{ dB}$$

Soit une isolation de : 46,9dB

Cette valeur est relativement faible au regard des standards actuelles. On remarque après l'observation du fonctionnement de cette topologie, qu'elle nécessite des compromis importants. L'augmentation de la valeur des résistances d'entrées diminuerait la diaphonie mais augmenterait également l'atténuation lors du mélange. Les consoles équipées d'un système de sommation passif sont rares pour des raisons de coût d'optimisation des circuits. En effet, l'installation de « buffers » d'excellente qualité pour tous les circuits de « routing », un ampli de sommation avec un gain et un rapport signal bruit extrêmement élevé sont des contraintes coûteuse au regard des solutions simples qu'apporte la topologie active.

## f. Sommateurs de courants

Un sommateur de courants fait intervenir une méthode d'amplification différente de celle du sommateur de tensions. Il se présente comme suit :



Dans cette configuration, beaucoup de données changent. La boucle de contre réaction soustrait un signal identique à celui arrivant du bus. On a  $i_1 = -i_2$ , la boucle « force » l'entrée au potentiel zéro, créant une masse virtuelle. L'impédance d'entrée de l'amplificateur est alors nulle dans le cas d'un amplificateur opérationnel idéal. Dans ces conditions, l'isolation théorique d'un tel modèle est maximum, la diaphonie inter-canal est nulle. Dans le cas général, l'impédance source du bus  $R_{EQ}$  est égale à la mise en parallèle des résistances de mélange des  $n$  voies. Et on a :

$$Att = -\frac{R_f}{Req} = \frac{1}{A_{(V)}}$$

Or ici,  $R_{EQ} = \frac{R}{n}$  d'où :



$$Att = -\frac{R_f}{R/n} \quad \text{et} \quad A_{(V)} = -\frac{R/n}{R_f}$$

A tout moment, le gain de l'ampli compense parfaitement l'atténuation. Le « mute » d'une voie, en excluant sa résistance de mélange du réseau, augmente le rapport signal/bruit du mélange. Cet aspect, s'il peut paraître très avantageux dans le cas d'un amplificateur opérationnel idéal, présente cependant des inconvénients lorsque l'on s'intéresse au modèle réel. En effet, comme le réseau de résistances de mélange fait partie intégrante du réseau de contre-réaction, l'ajout ou la suppression de voies modifie la quantité de signal réinjecté de la sortie vers l'entrée. Les caractéristiques de l'amplification ne sont donc pas constantes et dépendent du nombre de voies utilisées.

#### **g. Modèle réel, débats sur l'usage de la contre réaction**

Nous nous sommes intéressé jusqu'à présent aux modèles idéaux théoriques des amplificateurs opérationnels. La considération des modèles réels et de leurs limitations, permet d'entrevoir la complexité de la conception d'un amplificateur. Un constructeur doit en effet faire face à un grand nombre de contraintes induites par les comportements réels des composants. Le résultat est toujours un compromis entre les différents paramètres objectifs, mesurables de ces systèmes (taux de distorsions, réponse en fréquence, gain, niveau de bruit, ...etc), l'optimisation d'un de ces paramètres menant souvent à la dégradation d'un autre.

Le principal défaut en régime dynamique d'un amplificateur est l'existence d'un « slew-rate ». C'est le temps que met un amplificateur à transmettre un échelon de tension. Ce « slew-rate » exprime la dépendance entre la bande passante de l'amplificateur et son amplification. En effet, la structure interne d'un amplificateur opérationnel se comporte comme un filtre passe-bas d'ordre 2. Sa fonction de transfert en boucle ouverte indique le filtrage induit pour une amplification maximum. L'existence de ce filtre pose des problèmes évidents en cas de forte contre-réaction. Les filtres d'ordres 2 ont en effet la caractéristique de déphaser le signal jusqu'à la valeur limite de  $-180^\circ$ . Il est donc possible à certaines fréquences de renvoyer un signal

constructif avec celui présent à l'entrée<sup>7</sup> avec un gain supérieur à 1, entraînant une oscillation. Pour éviter ces oscillations, la solution est de filtrer l'ampli en interne grâce à un passe-bas d'ordre 1 à une fréquence de coupure inférieure. Dans le cas de notre sommateur actif, on se rend compte que plus le nombre de voies est faible, plus l'amplification est faible, donc plus la contre réaction est forte. Il faut donc compenser l'amplificateur en fréquence en considérant ce cas extrême, en réduisant ainsi les performances que l'ampli pourrait offrir lors du mixage d'un plus grand nombre de voies.

Ces caractéristiques du modèle réel rendent complexes la fabrication de ce type d'ampli. De plus, si des amplis à forte contre-réaction apportent objectivement de bonnes performances, leur qualité perçue est remise en cause depuis les années 80, créant encore aujourd'hui la controverse<sup>8,9,10</sup>. En effet, si le recours à des tests perceptifs représente pour certains « un refuge pour subjectivistes »<sup>11</sup>, il constitue pour d'autre une étape rendue nécessaire par les limitations de l'évaluation objective de la distorsion non-linéaire de ces systèmes<sup>12</sup>.

## C. Conclusion du chapitre

Nous nous sommes intéressé dans un premier temps aux différentes pratiques professionnelles ayant recours à la sommation analogique. Nous en avons distingué trois qui permettent une utilisation de l'analogique selon différents dosages. En effet entre les deux extrêmes : le « full mix » et la sommation entièrement numérique ; des sommations hybrides permettent de combiner les deux techniques et de varier le rendu supposé différent de ces dernières. Dans un second temps, l'observation de ses principes de fonctionnement ont amené à notre attention la perte de niveau induite par une sommation analogique, et ce indépendamment de la topologie utilisée. Les caractéristiques de l'amplificateur utilisé semblent donc des critères déterminant pour le rendu de la sommation.

---

7. A partir de de -110°

8. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Contre\\_r%C3%A9action](http://fr.wikipedia.org/wiki/Contre_r%C3%A9action)

9. <http://www.stereophile.com/reference/70/>

10. KOVINIC M., « *Imperfection and possible advances in analogue summing amplifier design* », AES CP7569 2008

11. SELF D., « *Audio power amplifier design handbook* », FOCAL PRESS, 2009

12. MICHAUD P.Y., « *Distorsions des systèmes de reproduction musicale : protocole de caractérisation perceptive* », p.14, thèse du 30 mars 2012

## IV. TENTATIVE DE CARACTERISATION PERCEPTIVE DE LA SOMMATION ANALOGIQUE

Nous essaierons dans cette partie de construire un corpus permettant d'apprécier les effets de la sommation analogique dans des conditions d'utilisation professionnelles actuelles. A la question : Qu'est susceptible d'apporter la sommation analogique lors du mixage ? Nous ne répondrons que partiellement. Nous nous limiterons en effet à l'observation d'une sommation hybride, effectuée à l'aide de pré-mixages numériques. Pour des raisons que nous développerons, nous nous concentrerons sur une seule topologie.

### A. Élaboration d'un corpus

#### a. Choix de projets multipiste numériques

Dans un souci de conformité écologique, et dans le but d'apprécier perceptivement les différents extraits, nous avons restreint notre test à un corpus musical. Il est constitué de 3 « projets multipiste » audio numériques de genres musicaux différents (jazz, chanson, disco). Ces projets sont tous issus de prises de sons fractionnées. Préalablement édités, ces projets sont prêts à être mixés. Ils présentent un nombre de pistes compris entre 17 et 40 répertoriées en annexe A.

#### b. Mixage du corpus

Le mixage du corpus a été entièrement effectué au sein d'un séquenceur<sup>2</sup>. Les traitements ont été réalisés à l'aide de plug-in. Le monitoring de ce mixage a été effectué via la sommation numérique du logiciel et un convertisseur N/A de bonne qualité sur deux systèmes d'écoutes sélectionnables. Les mixages ont été effectués dans une cabine prévue à cette effet au studio Etlanuit. Les différentes pistes ont été routées dans des bus, principalement selon leur rôle

---

2. Samplitude 11

musical. Nous nous sommes arrangé à chaque fois pour obtenir 12 bus stéréophoniques, envoyés par la suite vers le sommateur analogique.

### **c. Choix d'une topologie**

La topologie passive a été retenue pour ce test. En effet, n'ayant pas de sommateur à disposition, il a fallu en construire un pour les besoins du test. La possibilité de léguer à un pré-amplificateur de grande qualité l'apport de gain pour compenser la perte induite par le réseau de résistances de sommation fût un argument de poids. La topologie passive nous dispense en effet de fabriquer une section d'amplification dont on a vu au chapitre III.B.g que la conception est complexe. De plus, la facile dissociation entre l'amplificateur et le réseau de sommation nous permet de faire facilement transiter le mixage issu d'une sommation numérique au travers de ce circuit de pré-amplification externe. Enfin, la possibilité de construire nous-même le sommateur est une garantie de la neutralité des circuits. La non-nécessité de routings, de panoramiques ou de faders nous a permis de construire le réseau passif le plus simple : avant l'arrivée au pré-amplificateur, le signal ne rencontre que des résistances.

Le choix de cette topologie simple a cependant contraint le protocole à certaines conditions d'utilisations. Comme évoqué au chapitre III.B.e, le nombre de voies sommées doit rester constant afin d'optimiser le rapport signal/bruit de la sommation. Enfin, pour une diaphonie gauche droite minimum, le sommateur ne présente que des entrées stéréophoniques sans panoramiques. Une entrée sur jack TRS<sup>3</sup> étant assignée directement à un bus<sup>4</sup>.

### **d. Fabrication d'un sommateur**

Nous avons construit le sommateur en choisissant des valeurs de résistance d'entrée de 10k $\Omega$ . Comme évoqué précédemment, il permet la sommation de 12 voies stéréophoniques. Ce sommateur peut donc être vu comme deux sommateurs indépendants de 12 voies. Nous nous

---

3. Tip Ring Sleeve, connectique permettant la liaison d'interfaces utilisant un signal audio symétrique

4. Gauche ou droite

intéresserons ici pour simplifier les calculs à l'étude d'un seul de ces sommateurs. Conformément au formalisme du chapitre III.B.d, on a :

$$\text{-L'atténuation due au réseau de : } Att = n = 12 \Rightarrow Att_{dB} = 20 \cdot \log(12) \approx 21,6 \text{ dB}$$

Cette perte sera aisément compensée par un pré-amplificateur de microphone performant. Il faut cependant adapter l'impédance de sortie de notre réseau, pour l'instant :

$$\text{-L'impédance source du bus est de : } Z_{source} = \frac{R}{n} = \frac{10^3}{12} \approx 833,3 \Omega$$

Cette impédance source du bus est l'actuelle impédance de sortie de notre sommateur. Nous souhaitons retrouver une impédance plus basse, idéale pour l'entrée microphone d'un pré-amplificateur. Fixons cette impédance de sortie souhaitée à  $150\Omega$ . La solution pour atteindre une telle impédance de sortie est d'insérer une résistance de shunt entre la sortie de notre sommateur et la masse (dans le cas d'un réseau asymétrique). Cette résistance de shunt augmente l'atténuation du bus mais réduit également la diaphonie. L'impédance de sortie de notre sommateur devient alors égale à la mise en parallèle de l'impédance source du bus et de la résistance de shunt. On a :

$$Z_{SORTIE} = \frac{Z_{SOURCE} \cdot R_{SHUNT}}{Z_{SOURCE} + R_{SHUNT}} \Rightarrow R_{SHUNT} = 150 \cdot \frac{833,3}{683,3} = 182,9 \Omega$$

Nous utiliserons donc une valeur normalisée E96 de  $182\Omega$  à 1%.

L'atténuation totale du sommateur est maintenant égale à l'atténuation du pont diviseur de tension formé par une résistance de sommation et la mise en parallèle de la résistance de shunt et de la résistance équivalente des résistances de sommation des autres voies. On a :

$$Att = \frac{(R_{SHUNT} \parallel R_{EQ}) + R}{(R_{SHUNT} \parallel R_{EQ})} \Rightarrow Att = 1 + R \cdot \frac{R_{SHUNT} + R_{EQ}}{R_{SHUNT} \cdot R_{EQ}}$$

Soit :

$$Att = 1 + 10000 \cdot \frac{182 + 10000/11}{182 \cdot 10000/11} \Rightarrow Att \approx 66,9 \Rightarrow Att_{dB} \approx 36,5 \text{ dB}$$

Notre sommateur est câblé en symétrique, en conséquence il faut doubler le nombre de résistances de sommation, et diviser leur valeur par 2. La résistance de shunt est elle appliquée entre le point chaud et le point froid du bus (cf. Fig.14 et Fig. 15).

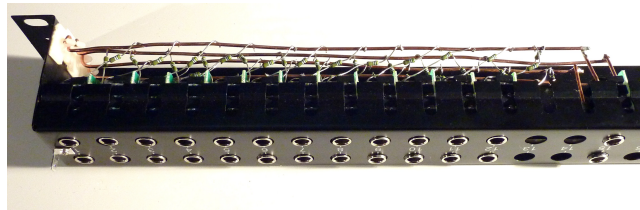


Fig. 14 Intérieur du sommateur analogique passif construit pour le mémoire

## B. Protocole appliqué au corpus

### a. Export numérique

Les mixages ont été effectués à l'aide du logiciel Samplitude 11. Une fois finalisés, ces derniers sont exportés via l'option « Track bouncing » de Samplitude. On obtient alors un fichier stéréophonique en 32Bit flottants. Nous avons veillé lors du mixage à ne pas saturer le fichier définitif. A l'aide du fader principal, nous atténuons l'ensemble afin d'obtenir un mixage dont le signal atteint au maximum -0,1dBFS. Nous avons également veillé lors de chaque mixage à ne saturer aucune piste et aucun bus. Nous n'avons pas appliqué d'effets sur le bus principal. Cet export deviendra après le mastering, une version de l'extrait gravée sur le CD.

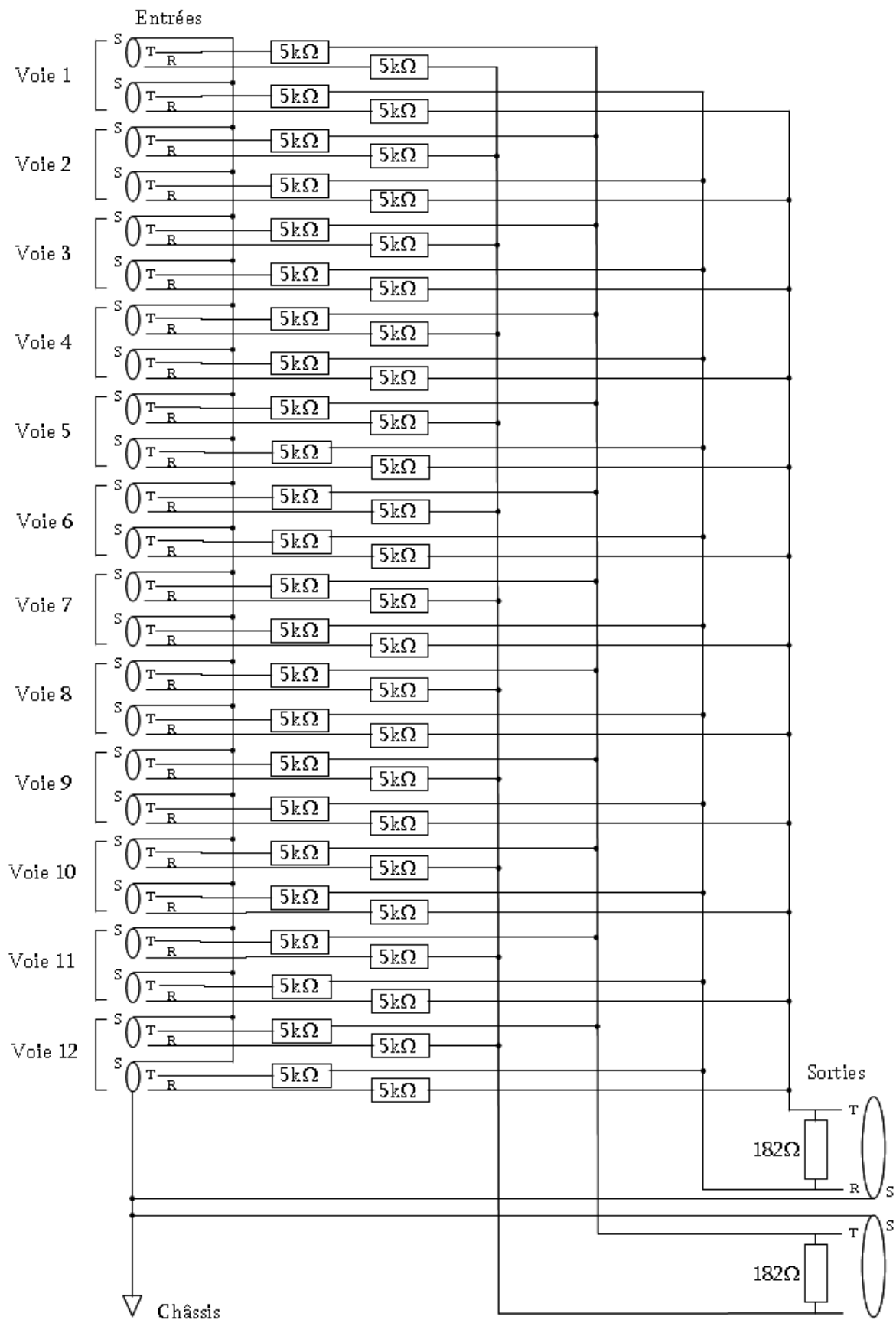


Fig. 15 Schéma du sommateur construit et utilisé lors de la partie pratique de ce mémoire

## b. Sommaton analogique

Nous avons à notre disposition 24 voies de conversion N/A, les convertisseurs utilisés étaient des RME ADI-8 pro. Pour la conversion stéréophonique A/N nous avons utilisé un convertisseur Universal Audio 2192. Les pré-amplificateurs utilisés étaient des Chandler Limited LTD-1<sup>5</sup> dont le circuit d'égalisation était désactivé. L'ensemble était câblé comme représenté sur la figure 16. Nous avons ensuite assigné aux 12 bus du projet, les 12 sorties stéréophoniques respectives câblées vers les 12 entrées de notre sommateur. Pour la calibration, nous avons utilisé un signal sinusoïdal appliqué à chaque sortie. Nous avons constaté des disparités en niveau de sortie des convertisseurs RME. Nous avons mesuré des erreurs de  $\pm 0,1\text{dBFS}$  reportées dans un tableau (cf. Annexe B). Ces erreurs ne sont pas compensables, la sommation a donc été effectuée avec ces disparités. Le réglage du pré-amplificateur a été effectué à l'aide du contenu musical. Nous avons sélectionné un passage atteignant le niveau peak maximum ( $-0,1\text{dBFS}$  pour au moins un des deux canaux) dans la version sommée numériquement de l'extrait. Le gain du pré-amplificateur a été réglé à l'aide de ce passage afin d'obtenir un niveau de sortie « peak » maximum équivalent à l'export numérique (mesuré via le convertisseur A/N Universal Audio 2192). Nous avons remarqué que le gain du pré-amplificateur dépendait de l'atténuation nécessaire sur le fader principal du séquenceur lors du mixage numérique.

---

5. <http://chandlerlimited.com/ltd-1-eq-pre-amp/>



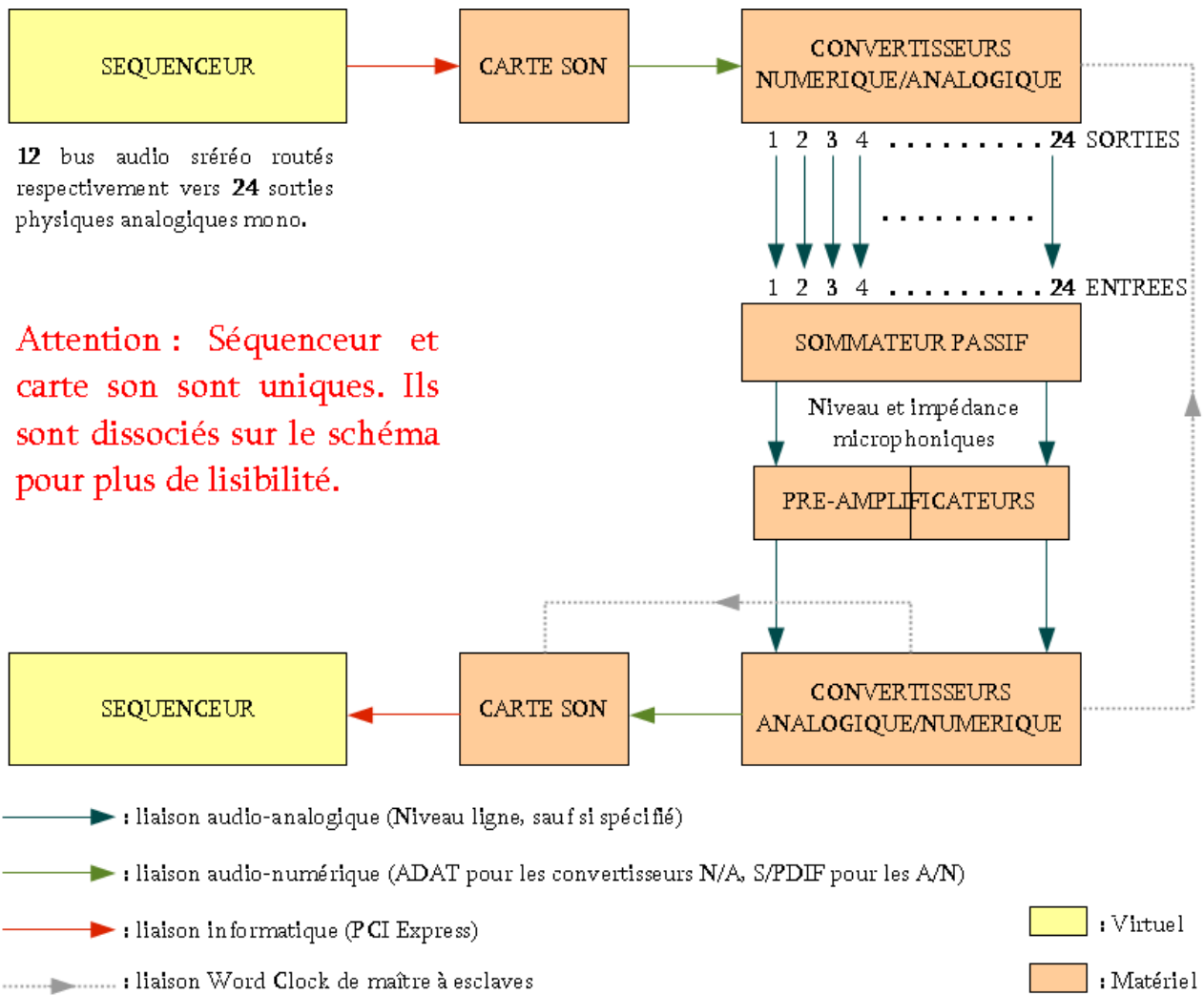


Fig. 16 Schéma synoptique de la sommation analogique effectuée dans le cadre de notre partie pratique

En effet, à l'atténuation du fader « master » de Samplitude, correspond une réduction du gain à appliquer à la sortie du sommateur. Ainsi l'atténuation réelle (sur du signal musical) présente à la sortie du sommateur est la suivante :

$$Att_{dB} \approx 36,5 \text{ dB} - Att_{MASTER}$$

La calibration a été réalisée à l'aide du logiciel Digicheck de RME. Le « 4-Bars level meter » autorise une précision à 0,05 dBFS<sup>6</sup> en 24Bit. Le tableau de l'annexe A présente selon les extraits, l'assignation précise des instruments, le gain de compensation appliqué par les pré-amplificateurs, ainsi que la position de chaque version sur le CD qui accompagne ce mémoire.

6. [http://www.rme-audio.de/en\\_support\\_techinfo.php?page=content/support/en\\_support\\_techinfo\\_digicheck](http://www.rme-audio.de/en_support_techinfo.php?page=content/support/en_support_techinfo_digicheck)

### c. Traitement A du mixage sommé numériquement

Nous avons également choisi de traiter l'export obtenu selon le protocole décrit au chapitre IV.B.a, nous avons fait transiter le mixage numérique via une paire de convertisseurs N/A RME, les pré-amplificateurs sans gain compensatoire (niveau ligne) et les convertisseurs A/N Universal Audio utilisés pour la sommation analogique. Ce traitement a été appliqué dans le but de teinter le mixage numérique de la couleur de la chaîne utilisée pour la sommation. Cette démarche semble s'avérer pertinente à l'écoute des extraits. La sommation présentant à l'écoute plus de similitudes avec le mixage numérique traité qu'avec la version non-traitée. La figure 17 présente le parcours du signal lors de ce processus.

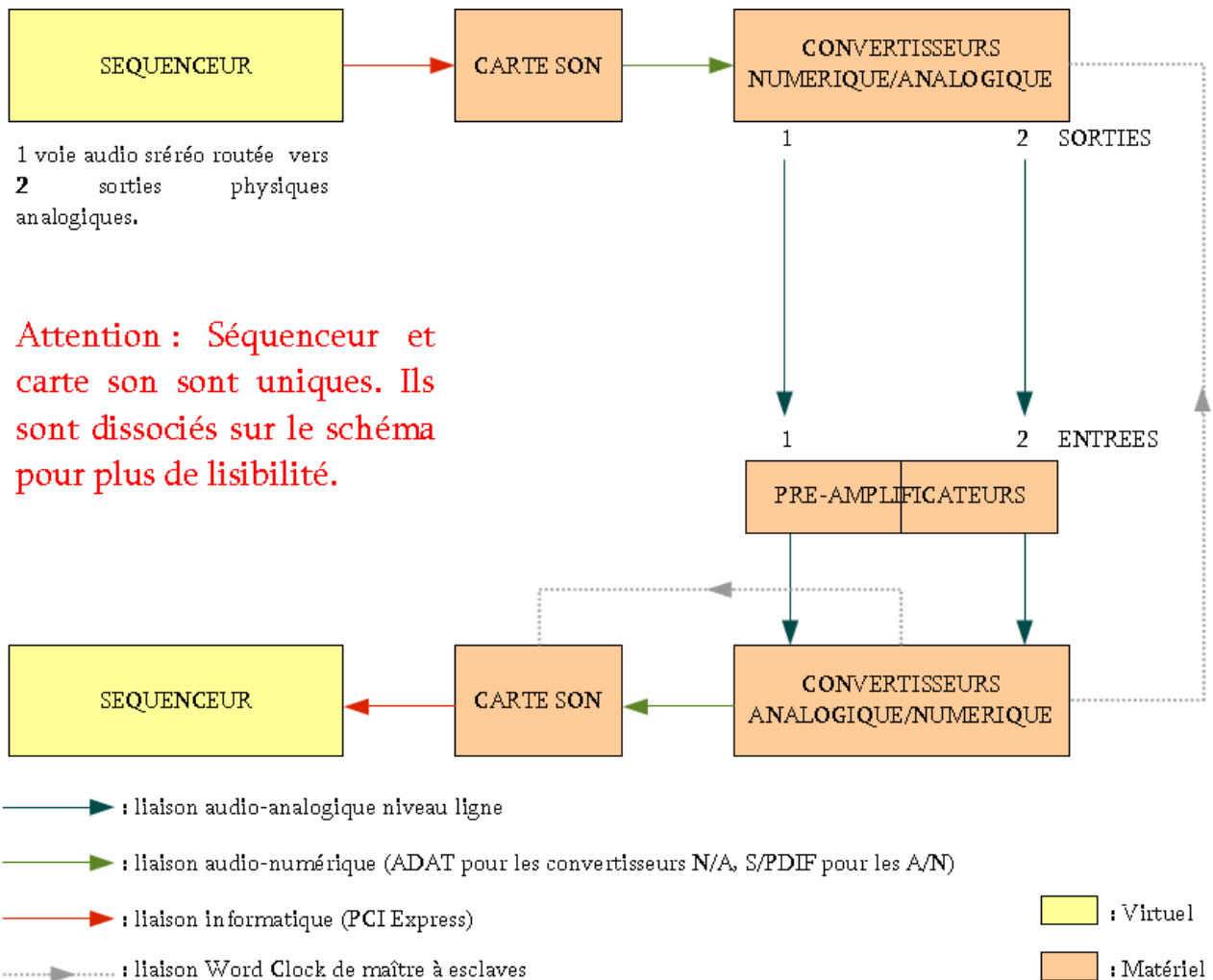


Fig. 17 Schéma synoptique du **traitement A** appliqué au mixage numérique dans le cadre de notre partie pratique

#### d. Traitement B du mixage sommé numériquement

Nous avons réalisé une ultime version de nos mixages en traitant l'extrait dans sa globalité. Conscient de la dépendance qu'entretiennent non-linéarités, couleur sonore spécifique apportée par le pré-amplificateur, et niveau gain fourni par ce dernier ; il nous paraissait pertinent de le faire fonctionner dans le même état que lors de la sommation analogique. Pour ce faire, nous avons chargé le sommateur comme pour réaliser la sommation, mais nous n'avons fait transiter le mixage issu de la sommation numérique que dans deux sorties (comme dans le traitement A). Ainsi, le mixage bénéficie de l'atténuation du réseau passif et le gain de l'amplificateur est proche du gain appliqué à l'issue de la sommation analogique. L'atténuation est ici :

$$Att_{dB} \approx 36,5 \text{ dB}$$

On remarque qu'elle n'est pas exactement égale à l'atténuation dans le cas de la sommation. Le mixage issu de la sommation numérique atteint le  $-0,1\text{dBFS}$ , il a donc subi à l'export l'atténuation du master fader de *Samplitude*. L'atténuation est légèrement supérieure à celle présente lors de la sommation analogique, la valeur de cette différence est égale à l'atténuation du master fader appliqué lors de l'export numérique (cf. Annexe A). Le traitement B est décrit dans la figure 18. Même si ce traitement n'est pas écologique, il semble que le résultat est extrêmement proche de celui obtenu avec la sommation analogique. De toutes les versions, pour tous les extraits, le traitement B et la sommation analogique sont les plus proches perceptivement.

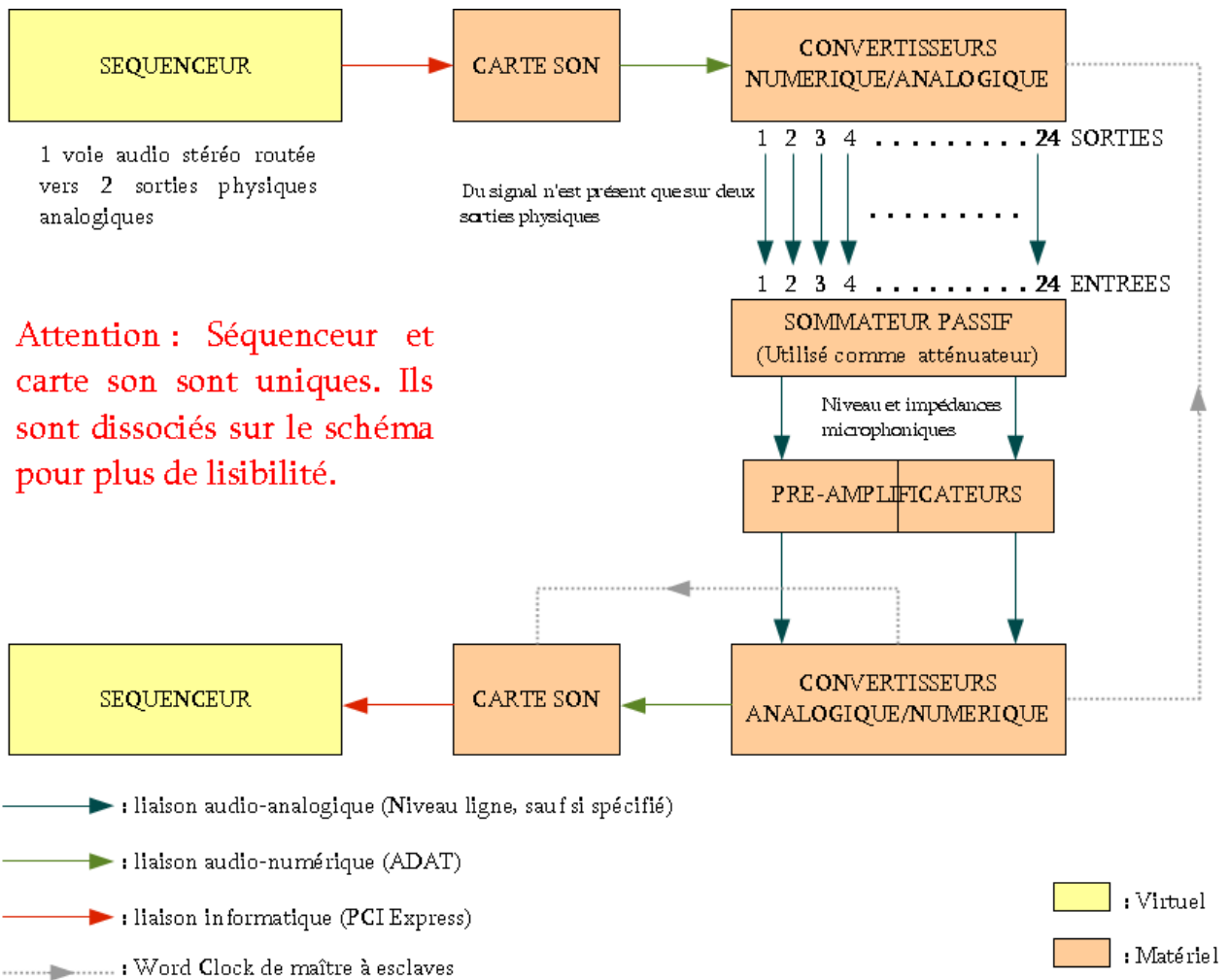


Fig. 18 Schéma synoptique du **traitement B** appliqué au mixage numérique dans le cadre de notre partie pratique

### e. Mastering

Un mastering a été réalisé sur l'ensemble du corpus dans un souci écologique. Comme pour les mixages, un mastering par extrait a été réalisé. En revanche, les différentes versions n'ont pas subi de traitement spécifique. Ce dernier a été élaboré à partir du mixage issu de la sommation numérique et a été appliqué aux deux autres versions obtenues selon le processus décrit précédemment. Entrepris dans le logiciel Samplitude 11, il fait intervenir un traitement de dynamique global, un traitement de dynamique par bandes de fréquences, un simulateur de bande analogique dans un cas, des traitements fréquentiels, un enhanceur stéréophonique et un limiteur en fin de chaîne (cf. Annexe A). Les différents extraits ont ensuite été gravés sur un CD enregistrable, en 16Bit avec un noise shaping POW-r 3. Ce mastering a permis d'obtenir des

extraits avec une dynamique, un niveau et un rendu proches des œuvres de musiques actuelles finalisées, commercialisées sur CD ou via internet. Notre écoute comparative des extraits masterisés semble rendre encore plus difficile la reconnaissance des différentes versions. Cette appréciation reste cependant personnelle.

#### **f. Séance d'écoutes**

Nous avons à l'issue de la partie pratique de ce mémoire réalisé des tests d'écoutes au studio Etlanuit – Music Unit. Le studio A a servi de lieu pour mener le test. Traité acoustiquement à cet effet, il forme une cabine LEDE<sup>7</sup> de 70 m<sup>2</sup> avec 6m de hauteur sous plafond adaptée à une écoute de grande précision sur enceintes. Le système utilisé pour la diffusion des extraits était constitué du convertisseur N/A stéréophonique Universal Audio 2192 et d'une paire d'enceintes amplifiées Mackie HR-824. Nous écoutions le contenu du CD audio via le logiciel Samplitude 11 afin de pouvoir procéder à un test de type ABX.

Trois sujets étaient présents pour ce test : un sujet de sexe féminin d'environ 30 ans, productrice de spectacles, ignorant la plupart des aspects techniques liés à la production musicale et ayant des habitudes d'écoute répandues à l'heure actuelle (baladeur MP3, écouteurs). Le second sujet était un individu de sexe masculin d'environ 40 ans, réalisateur en informatique musicale à l'IRCAM, habitué à travailler sur des systèmes de diffusion sonore stéréophoniques ou multicanaux de grande qualité. Mélomane et développeur de plug-in, le sujet était sensible aux techniques de production et disposait à priori d'une oreille exercée. Le troisième sujet s'étant soumis au test avait 30 ans environ. De sexe masculin, il présentait à priori des aptitudes favorables à un test d'écoutes compte tenu de sa carrière. Musicien et ingénieur du son de studio ayant pratiqué prises de son et mixages pendant plus de 15 ans, il se consacre aujourd'hui au mastering et à ses projets musicaux.

J'agissais en tant qu'opérateur de la séance d'écoutes et assurais la lecture des extraits. Nous nous sommes intéressé pour ce test uniquement aux deux derniers extraits de chaque série

---

7. Live End Dead End

présente sur le disque. Nous avons ainsi comparé en test ABX uniquement le mixage issu de la sommation analogique et le mixage issu de la sommation numérique soumis au traitement B (atténuation du réseau de sommation et gain de l'amplificateur). Les sujets écoutaient à la suite les extraits dans l'ordre suivant : A, B, X, A, B, X. Le X correspondait soit à la version A soit à la version B. Les sujets n'étaient pas informés de l'identité du X et devaient tenter de le reconnaître parmi A et B après la série d'écoutes. Les sujets n'avaient aucun contrôle leur permettant de passer d'une version à l'autre rapidement, ils écoutaient l'intégralité des versions dans cet ordre. Chacun notait sur sa feuille de papier le résultat, les différences perçues et éventuellement une préférence pour une version. Nous avons testé de cette manière les trois extraits présents sur le disque, puis avons réitéré le test une seconde fois sur deux extraits seulement, avec le choix de changer ou non le X pour l'opérateur.

Malgré la forte ressemblance que nous avons remarquée lors de la réalisation de ces deux versions, tous les sujets ont reconnu les X de la série de tests. La caractérisation des différences portait en majorité sur des critères d'appréciation globaux du rendu. Ainsi, les versions sommées analogiquement présentaient selon les participants, plus de « liant », l'espace était plus « confiné », les réverbérations semblaient plus courtes. Pour l'ensemble des extraits également, la version sommée analogiquement semblait moins large spectralement, moins dynamique, moins « Hi-Fi ». Concernant les préférences des sujets, seule la productrice de spectacle a émis des avis tranchés : pour le premier extrait, que l'on pourrait décrire comme une chanson hip-hop et variété, elle préférait la version sommée numériquement. Elle évoquait une meilleure définition dans la version A, agréable dans ce cas. Pour le second extrait, du jazz-rock, elle ne préférait aucune des deux versions malgré avoir repéré des différences entre ces dernières. Enfin pour la reprise de « *Stayin' Alive* », un titre disco bien connu, le sujet a préféré la version sommée analogiquement, invoquant un rendu plus compact et homogène. Les deux autres sujets n'ont manifesté de préférence pour aucun des extraits.

### **g. Limites du protocole et conclusions**

Il paraît essentiel de mentionner dans ce mémoire les limites des protocoles de réalisation et de test des extraits. On pourra reprocher au test d'écoutes d'être loin de remplir les conditions nécessaires à sa validité scientifique. Le nombre de sujets était en effet faible devant les exigences des normes en vigueur pour ce genre de tests (environ 25 sujets). Le nombre d'extraits et leur diversité étaient également faibles. Cependant, le sans faute de l'ensemble des candidats lors de la reconnaissance des différentes versions apporte un crédit certain aux conclusions que l'on peut tirer de cette séance d'écoutes.

Concernant la réalisation des extraits, ses limites peuvent être globalement caractérisées par des aspects non-écologiques. Les contraintes du protocole de test ont dans une certaine mesure faussé le processus de production. Caractériser la sommation analogique nous a mené à un compromis entre l'écologie et la nécessité d'obtenir des mixages comparables. Tout au long du processus (mixage et mastering), nous avons écouté la sommation numérique et donc agit techniquement et artistiquement en fonction de ce rendu. En outre, il paraît très peu probable que ces choix aient été aussi désirables et judicieux dans les deux versions des extraits. Dans des conditions professionnelles, la sommation est présente tout au long du mixage et conditionne de ce fait sa réalisation. Le mastering est également effectué sur la base de ce mixage destiné à la diffusion. En conséquence, il paraît peu pertinent de trop considérer les préférences émises par les sujets dans le cadre de nos tests. La probabilité que ces dernières soient exprimées en faveur de la sommation analogique semble à priori plus élevée.

Ces précautions étant prises, nous pouvons informer le lecteur des conclusions que nous tirons de ce test malgré les zones d'ombres évoquées ci-dessus.

Tout d'abord, l'unanimité dans la reconnaissance des extraits par l'ensemble des sujets laisse supposer que les deux versions de chaque extrait présentent des différences audibles. En considération des caractérisations perceptives décrites par les sujets, il semble que ces

différences portent sur des critères d'appréciation globaux du rendu. Ainsi, l'étendue spectrale, la sensation d'espace, la compacité, la définition sont des caractères différenciant les deux versions dans l'ensemble des cas. Il semble même que l'analyse de ces critères rende identifiables les versions. En effet, le sujet le plus expérimenté (ingénieur du son), à la suite de l'écoute du premier extrait, a émis des hypothèses sur le traitement appliqué aux versions suivantes sans commettre d'erreur.

Ensuite, malgré les dangers évoqués ci-dessus de trop considérer les préférences des sujets, il nous paraît intéressant d'observer les seules préférences émises lors de ce test : celles du sujet féminin. Hasard ou pas, elles mettent parfaitement en évidence un élément prépondérant dans le jugement lors de tels tests : la culture personnelle. Le sujet a en effet préféré la sommation analogique pour l'extrait dont la version originale (celle des BEE GEES) a été produite au moyen de cette technique. Le sujet n'a pas émis de préférences pour l'extrait jazz-rock, alors que ce type de production correspond à une période de transition technologique et a connu le recours aux deux techniques. Enfin, le sujet a préféré l'usage de la sommation numérique pour l'extrait hip-hop variété, typiquement dans les canons du hip-hop et du rap des dix dernières années, produit massivement dans des séquenceurs en « tout numérique ».

### **C. Conclusion du chapitre**

Élaborer un protocole pour tenter de quantifier subjectivement les apports d'une sommation analogique est complexe. Même en ne s'intéressant qu'à la topologie passive, qui autorise une séparation du mélange et de l'amplification, les systèmes responsables de la modification du son sont nombreux (convertisseur pour chaque voie, résistances du réseau de sommation et amplificateur) et l'évaluation dissociée de leur impact sur le rendu est difficile à mettre en œuvre. Toutefois, il nous semble que l'écoute attentive du rendu des quatre processus réalisés dans le cadre de cette partie pratique met en évidence le poids de ces éléments. L'ensemble des traitements appliqués à nos extraits révèle l'importance des apports de l'amplificateur. Le niveau de gain qu'il fournit conditionne vraisemblablement un apport de



distorsion important.

La séance d'écoute, que l'on a concentrée sur les traitements A et B, révèle elle un apport non négligeable des autres éléments de la chaîne de traitements. La reconnaissance systématique des deux versions pour l'ensemble des extraits confirme une influence audible du couple convertisseurs A/N, sommateur. Un sommateur analogique, aussi simple soit-il, semble donc présenter un rendu différent de celui offert par la sommation numérique. Ainsi, il constitue un outil supplémentaire lors de l'élaboration d'un mixage.

## V. CONCLUSION GENERALE

Au chapitre II nous avons évoqué les techniques de production du passé et l'évolution qu'elles ont subie jusqu'à aujourd'hui. Nous avons lié ces évolutions à l'essor fulgurant de la musique enregistrée. Cet essor est aujourd'hui d'un point de vue strictement économique, en phase de déclin. Les artistes et producteurs vivent beaucoup plus difficilement des ventes de la musique enregistrée, distribuée physiquement ou virtuellement. Cette précarisation génère des structures dédiées à la production beaucoup plus modestes qu'auparavant. Les techniques ont heureusement évoluées en faveur d'une démocratisation de l'enregistrement.

Le chapitre III révèle la persévérance du mixage analogique, aussi bien dans les structures historiques survivant à la crise que dans celles nées durant la crise. En effet, des sommateurs compacts remplacent les consoles imposantes incompatibles avec ces lieux. Un engouement certain pour l'usage de ces sommateurs est constaté sur un terrain pourtant précarisé et équipé d'outils audio numériques bon marché et plus performants que jamais. La persévérance d'une telle pratique dans ces structures invite logiquement à se poser la question de l'intérêt technique et artistique d'un tel usage. La compréhension des circuits électroniques intervenant dans l'opération de sommation analogique met en valeur le recours déterminant à un amplificateur, et la possibilité d'introduire des non-linéarités par voies.

Le chapitre IV tente d'observer les intérêts supposés de la sommation analogique grâce à l'élaboration et la mise en œuvre de traitements sur des extraits musicaux. La réalisation d'un sommateur analogique passif nous a permis d'entendre l'effet des différents composants réalisant la sommation. L'écoute de ces traitements confirme le rôle déterminant de l'amplificateur de sommation sur le rendu, et met également en valeur le rôle du réseau de sommation et des convertisseurs. Même si l'apport de ces derniers semble moins important que celui de l'amplificateur, il est audible et identifiable. En plus des avantages liés à l'utilisation de périphériques analogiques, de composants colorants tels que des transformateurs, des lampes...etc, l'usage d'un sommateur semble bien proposer un rendu spécifique lors de la

réalisation d'un mixage. Ainsi, le succès de ces sommateurs au sein de structures plus contraintes économiquement depuis les années 2000 ne semble pas complètement incarner le fruit d'une manipulation commerciale exploitant le phénomène très vendeur du « vintage ». Nous nous autorisons à penser à l'issue de ce mémoire qu'il est plutôt la conséquence d'un choix fondé (au moins techniquement), de la part d'ingénieurs du son à la recherche du rendu spécifique offert par cette technique.

## ANNEXE A

**Titre de l'extrait :** A mi me gusta

**Artiste :** Niuver et Oxmo Puccino

Nom de la piste	Nom du bus	Sorties
Basse Ampli	BASS	1 – 2
Basse DI	BASS	1 – 2
Grosse caisse	BEAT	3 – 4
Caisse claire	BEAT	3 – 4
Rimshot	BEAT	3 – 4
Charley	PERCUS	5 – 6
Charley ouvert	PERCUS	5 – 6
Snaps	PERCUS	5 – 6
Caxixi	PERCUS	5 – 6
Ring	PERCUS	5 – 6
FX1	PERCUS	5 – 6
FX2	PERCUS	5 – 6
Tching	PERCUS	5 – 6
Congas	PERCUS	5 – 6
O1 WFd	PERCUS	5 – 6
Juno Arp	JUNO	7 – 8
Juno B3	JUNO	7 – 8
B3	JUNO	7 – 8
Guitare EMU L	GUITARE	9 – 10
Guitare EMU R	GUITARE	9 – 10
Oxmo	OXMO	11 – 12
Niuver 1	NIUVER	13 – 14
Niuver 2	NIUVER	13 – 14
Choeurs	CHOEURS	15 – 16
Choeurs	CHOEURS	15 – 16
Choeurs	CHOEURS	15 – 16
Choeurs	CHOEURS	15 – 16
Choeurs	CHOEURS	15 – 16
Choeurs	CHOEURS	15 – 16
Harmo	HARMO	17 – 18
Harmo	HARMO	17 – 18
Harmo	HARMO	17 – 18
Harmo	HARMO	17 – 18
Harmo	HARMO	17 – 18
Harmo	HARMO	17 – 18
Harmo	HARMO	17 – 18
Harmo	HARMO	17 – 18
Flûte	FLUTE	19 – 20
Reverb 1	REV 1	21 – 22
Reverb 2	REV 2	23 – 24

**Atténuation du master fader :**

. 3,8 dB

**Gain théorique du pré-amplificateur :**

. Lors de la sommation : 32,7dB

. Lors du traitement A : 0dB

. Lors du traitement B : 36,5 dB

**Plug-in utilisés lors du mastering :**

. UAD Fairchild

. UAD Precision Multiband

. UAD Precision Equalizer

. Samplitude Multiband Stéréo Enhancer

. UAD Precision Limiter

**Niveaux de bruit mesurés<sup>1</sup> :**

. Lors de la sommation : -74dBFS Peak

-85dBFS RMS

. Lors du traitement A : -77dBFS Peak

-88dBFS RMS

**Position des versions sur le CD :**

. Piste 1 : masterisée, sommation numérique

. Piste 2 : masterisée, traitement A

. Piste 3 : masterisée, sommation analogique

. Piste 4 : masterisée, traitement B

. Pistes 13 à 16 : mixées, même ordre pour les traitements.

1. A l'entrée du convertisseur Universal Audio 2192, à l'aide du logiciel Digicheck de RME.

**Titre de l'extrait : Gainsbarre    Artiste : TNT Trio**

Nom de la piste	Nom du bus	Sorties
Grosse caisse	GC	1 – 2
Caisse claire Top	CC1	3 – 4
Caisse claire Bot	CC1	3 – 4
Caisse claire 2	CC2	5 – 6
Charley	CHARLEY	7 – 8
Oh L	OH	9 – 10
Oh R	OH	9 – 10
œufs L	OFS	11 – 12
œufs R	OFS	11 – 12
Basse DI	BASS	13 – 14
Basse micro	BASS	13 – 14
Piano L	PIANO	15 – 16
Piano R	PIANO	15 – 16
Wurly Basse	WURLY	17 – 18
Honer	HONER	19 – 20
Reverb 1	REV 1	21 – 22
Reverb 2	REV 2	23 – 24

**Atténuation du master fader :**

. 3,8 dB

**Gain théorique du pré-amplificateur :**

. Lors de la sommation : 32,7dB

. Lors du traitement A : 0dB

. Lors du traitement B : 36,5 dB

**Plug-in utilisés lors du mastering :**

. UAD Fairchild

. Samplitude Am-track (simulateur de bande)

. UAD Pultec (égaliseur)

. UAD Precision Multiband

. Samplitude Multiband Stéréo Enhancer

. UAD Precision Limiter

**Niveaux de bruit mesurés<sup>2</sup> :**

. Lors de la sommation : -74dBFS Peak

-85dBFS RMS

. Lors du traitement A : -77dBFS Peak

-88dBFS RMS

**Position des versions sur le CD :**

. Piste 5 : masterisée, sommation numérique

. Piste 6 : masterisée, traitement A

. Piste 7 : masterisée, sommation analogique

. Piste 8 : masterisée, traitement B

. Pistes 17 à 20 : mixées, même ordre pour les traitements.

---

2. A l'entrée du convertisseur Universal Audio 2192, à l'aide du logiciel Digicheck de RME.

**Titre de l'extrait : Stayin Alive (reprise)    Artiste : Inconnu**

Nom de la piste	Nom du bus	Sorties
Grosse caisse In	GC	1 – 2
Grosse caisse Out	GC	1 – 2
Caisse claire Top	CC	3 – 4
Caisse claire Bot	CC	3 – 4
Charley	CHARLEY	5 – 6
Charley ouvert	CHARLEY	5 – 6
Shaker front	SHAKER	7 – 8
Shaker side	SHAKER	7 – 8
Triangle	CRASH	9 – 10
CharleyCrescendo	CRASH	9 – 10
Crash charter	CRASH	9 – 10
Crash 2	CRASH	9 – 10
Basse	BASSE	11 – 12
Basse dimD	BASSE	11 – 12
Gt2 Amp	GUIITARE	13 – 14
Strat 1 Amp	GUIITARE	13 – 14
Strat 2 Amp	GUIITARE	13 – 14
Rhodes DI	RHODES	15 – 16
Rhodes dimD	RHODES	15 – 16
Rhodes fender	RHODES	15 – 16
String gliss	STRINGS	17 – 18
Strings 1	STRINGS	17 – 18
Pad strings	STRINGS	17 – 18
Tremolo strings	STRINGS	17 – 18
Acap Dry	ACAP DRY	19 – 20
Acap Verb	ACAP VERB	21 – 22
REV Caisse claire	REV	23 – 24
REV Strings	REV	23 – 24
REV Shake	REV	23 – 24

**Atténuation du master fader :**

. 8,3 dB

**Gain théorique du pré-amplificateur :**

. Lors de la sommation : 28,2dB

. Lors du traitement A : 0dB

. Lors du traitement B : 36,5 dB

**Plug-in utilisés lors du mastering :**

. Samplitude Am-track (simulateur de bande)

. UAD Fairchild

. UAD Precision Multiband

. Samplitude Multiband Stéréo Enhancer

. UAD Precision Limiter

**Niveaux de bruit mesurés<sup>3</sup> :**

. Lors de la sommation : -76dBFS Peak

-85dBFS RMS

. Lors du traitement A : -78dBFS Peak

-88dBFS RMS

**Position des versions sur le CD :**

. Piste 9 : masterisée, sommation numérique

. Piste 10 : masterisée, traitement A

. Piste 11 : masterisée, sommation analogique

. Piste 12 : masterisée, traitement B

. Pistes 21 à 24 : mixées, même ordre pour les traitements.

3. A l'entrée du convertisseur Universal Audio 2192, à l'aide du logiciel Digicheck de RME.

## ANNEXE B

Valeurs mesurées<sup>1</sup> sur les différentes sorties des convertisseurs RME utilisés pour la conversion N/A dans notre partie pratique.

Le signal test est une sinusoïde à -0,2 dBFS.

Sortie n°	Valeur mesurée	Sortie n°	Valeur mesurée
1	-0,3 dBFS	2	-0,2 dBFS
3	-0,3 dBFS	4	-0,3 dBFS
5	-0,2 dBFS	6	-0,2 dBFS
7	-0,2 dBFS	8	-0,2 dBFS
9	-0,2 dBFS	10	-0,1 dBFS
11	-0,3 dBFS	12	-0,1 dBFS
13	-0,2 dBFS	14	-0,2 dBFS
15	-0,3 dBFS	16	-0,3 dBFS
17	-0,2 dBFS	18	-0,2 dBFS
19	-0,2 dBFS	20	-0,2 dBFS
21	-0,2 dBFS	22	-0,2 dBFS
23	-0,2 dBFS	24	-0,1 dBFS

---

1. A l'entrée du convertisseur Universal Audio 2192, à l'aide du logiciel Digicheck de RME.

# BIBLIOGRAPHIE

## Ouvrages

[1] SWEDIEN B., « *Make mine music* », MIA MUSIC

[2] LEFEUVRE G., « *Le producteur de disques* », DIXIT-IRMA, 1994

[3] HUTCHISON T., MACY A., ALLEN P., « *Record label marketing* », 2<sup>nd</sup> edition, FOCAL PRESS, 2010

[4] COEUROY A., CLARENCE G., « *Le phonographe* », UNION TYPOGRAPHIQUE 1929

[5] TOURNES L., « *Musique ! Du phonographe au mp3* », AUTREMENT, 2011

[6] CURIEN N., MOREAU F., « *L'industrie du disque* », LA DECOUVERTE, 2006

[7] STERNE J., « *MP3 the meaning of a format* », DUKE UNIVERSITY PRESS, 2012

[8] LEWISOHN M., « *The Beatles recording sessions* », HARMONY BOOKS

[9] CLARK R., « *Mixing, recording and producing techniques of the pros* », COURSE TECHNOLOGY, 2011

[10] ADAMS W., « *Sound advice : a Musician's Guide to the recording studio* », MAC MILLIAN 1990

[11] ERNOULD F., FORTIER D., « *Home Studio* », DUNOD



[12] TREMAINE H. M., « *Audio Cyclopedia* », HOWARD W. SAMS & CO., 2<sup>nd</sup> edition, 1969

[13] MARTINAK P., « *Modules de mixage* », ETSF, 1998

[14] SELF D., « *Audio power amplifier design handbook* », FOCAL PRESS, 2009

## Revues

[15] Les cahiers du CENAM n°58, « *Le disque* », septembre 1990

[16] L' Edition musicale vivante, février 1929

[17] Sonovision Broadcast, n°564

## Articles

[18] [http://www.lemonde.fr/technologies/article/2011/09/05/musique-en-ligne-universal-music-deboute-contre-deezer-en-refere\\_1567992\\_651865.html](http://www.lemonde.fr/technologies/article/2011/09/05/musique-en-ligne-universal-music-deboute-contre-deezer-en-refere_1567992_651865.html)

[19] LEONARD B., LEVINE D., BUTTNER-SCHNIRER D., « *Convention Paper 8776* », AES 2008

[20] PUTNAM MILTON T., « *A thirty-five Year of the recording studio* », AES 1980

[21] STOCKHAM T.G., « *A-D and D-A converters : their effect on digital audio fidelity* », AES 1971

[22] ERNOULD F., « *Studio Etlanuit Jouer collectif...* », p.36, Keyboardsrecording, Avril 2011

[23] KOVINIC M., « *Imperfection and possible advances in analogue summing amplifier design* », AES CP7569 2008

## **Travaux universitaires**

[24] PREVESTO B., « *La sommation numérique* », ENS Louis - Lumière 2012 (Mémoire)

[25] MICHAUD P.Y., « *Distorsions des systèmes de reproduction musicale : protocole de caractérisation perceptive* », 30 mars 2012 (Thèse)

## **Films**

[26] THOMAS J., « *Home Studio The Musical Revolution* », FOLISTAR 2006

[27] SMEATON B., « *Nirvana : Nevermind* », EAGLE VISION 2005

[28] GROHL D., « *Sound City* », ROSWELL FILMS, 2013

## **Liens internet**

[29] <http://www.aes.org/sections/reports/?ID=361>

[30] <http://www.aes.org/sections/reports/?ID=271>

[31] <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=12174>

[32] <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=1241>

[33] <http://www.aes.org/events/125/125thWrapUp.pdf>

[34] <http://spars.com>

[35] [www.mixingconsole.org/web/main/history](http://www.mixingconsole.org/web/main/history)

[36] <http://rupertneve.com/company/history>

[37] <http://multimedia.utsa.edu/technology/3153/restricted/history-2.html>

[38] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Crise\\_du\\_disque](http://fr.wikipedia.org/wiki/Crise_du_disque)

[39] <http://www.irma.asso.fr/IMG/pdf/Etude-P2P-Tariq-KRIM-ADAMI.pdf>

[40] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Partage\\_de\\_fichiers\\_en\\_pair\\_à\\_pair](http://fr.wikipedia.org/wiki/Partage_de_fichiers_en_pair_à_pair)

[41] <http://www.copieprivee.org>

[42] <http://www.culturecommunication.gouv.fr/Politiques-ministerielles/Propriété-littéraire-et-artistique/Commission-pour-la-remuneration-de-la-copie-privee>

[43] [http://www.sacem.fr/files/content/sites/fr/files/mediatheque/createur/magsacem/janvier2013/Magsacem\\_86\\_copie\\_privee.pdf](http://www.sacem.fr/files/content/sites/fr/files/mediatheque/createur/magsacem/janvier2013/Magsacem_86_copie_privee.pdf)

[44] <http://archive.org/details/iuma-archive>

[45] <http://www.wired.com/news/politics/0,1283,52163,00.html>

[46] <http://users.polytech.unice.fr/~pmasson/Enseignement/Quadripoles%20Cours%20-%20Impression%20-%20MASSON.pdf>

[47] [http://infoscience.epfl.ch/record/54902/files/pulkki04\\_crosstalk.pdf](http://infoscience.epfl.ch/record/54902/files/pulkki04_crosstalk.pdf)

[48] <http://www.groupdiy.com/index.php?topic=2779>

[49] [http://www.groupdiy.com/index.php?topic=1246&highlight=\\*mixer\\*](http://www.groupdiy.com/index.php?topic=1246&highlight=*mixer*)

[50] <http://sound.westhost.com/articles/audio-mixing.htm>

[51] <http://www.gearslutz.com/board/geekslutz-forum/299892-optimal-resistor-values-passive-summing.html#post3216475>

[52] <http://masteringelectronicsdesign.com/open-loop-closed-loop-and-feedback-questions-and-answers/>

[53] <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=4002>

[54] <http://www.soundonsound.com/sos/oct11/articles/slate-vcc.htm>