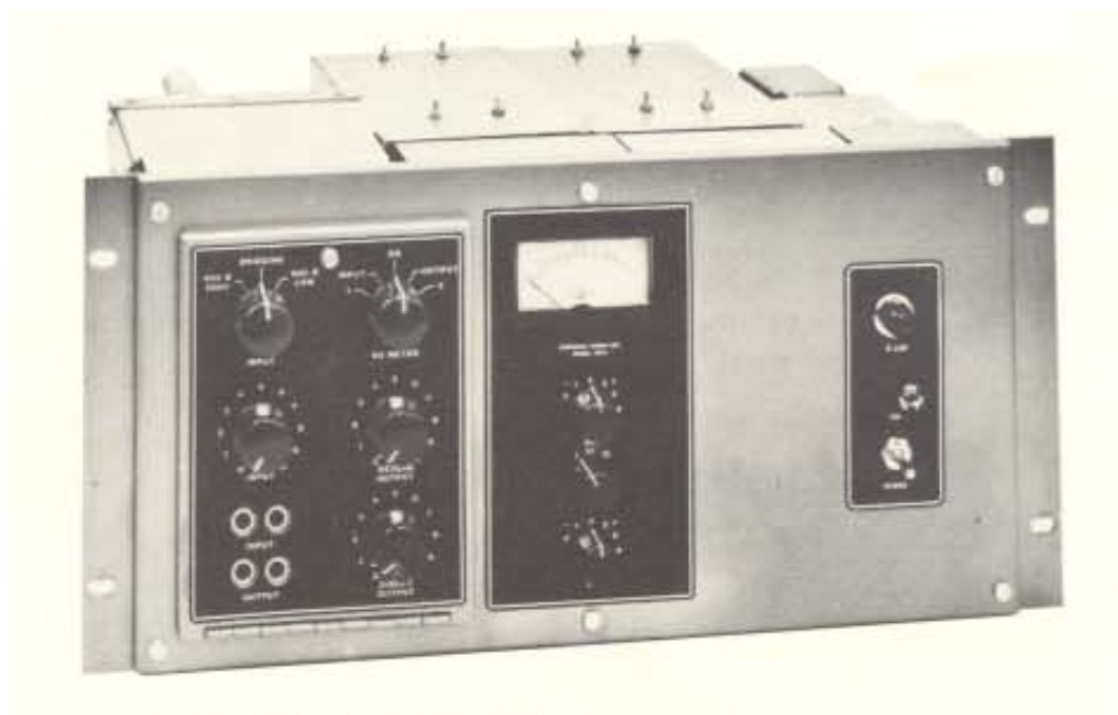


**Nicolas Robache**

Diplôme Professionnel Son 2<sup>ème</sup> Année

2007-2008

# LES EFFETS, Histoire et tentatives de Classification



# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>I/ DEFINITION</b>	<b>5</b>
<b>II/ CLASSIFICATION</b>	<b>5</b>
<b>1) Acoustiques et idiophoniques</b>	<b>5</b>
<b>2) Electro-acoustique / Electro-Mécanique</b>	<b>5</b>
<b>3) Electronique analogique</b>	<b>5</b>
<b>4) Phonogramme</b>	<b>12</b>
<b>5) Bande magnétique</b>	<b>13</b>
<b>6) Oil can delay</b>	<b>15</b>
<b>7) Bucket Brigade</b>	<b>15</b>
<b>8) Numérique</b>	<b>17</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>18</b>
<b>Sources Bibliiographie</b>	<b>19</b>

# Introduction

Les effets sont devenus un lieu commun de la MAO, de la pratique musicale et du mixage. Il n'est donc pas inutile de se demander d'où ils proviennent et sur quels principes ils reposent. Une approche traditionnelle consiste à les ranger suivant les sacro-saintes catégories : dynamiques (ou effets d'enveloppe), temporels (réverbères, délai, chorus, flanger, phasing) et harmoniques (distorsions, harmoniseurs...). On peut affiner ces catégories, c'est ce que font les logiciels comme Pro Tools ou Cubase pour trier tous les plugins.

Il nous a semblé intéressant de tenter une approche historique et technologique consistant à regrouper les effets par la technologie qui les a provoqués, vus naître ou rendus possibles. Ainsi, après avoir défini le cadre du sujet en élaborant une définition de ce qu'est un effet, nous passerons en revue les grandes ères technologiques qui ont fait l'histoire de l'audio et détaillerons la naissance des effets concernés.

# I/ Définition

Pour partir sur des bases saines, intéressons-nous à ce qu'en disent les dictionnaires. On a, quelle que soit la langue, deux grands axes de définition. Le premier est extrêmement généraliste et nous permet de modéliser l'action :

-A change that is a result or consequence of an action or other cause (*New Oxford American Dictionary*)

-*Something that is produced by an agency or cause; result; consequence. (Webster Universal College Dictionary)*

- *Ce qui est produit par une cause (Dictionnaire Le Robert)*

On a donc un changement, c'est à dire un état antérieur et un état résultant, et une action, cause de ce changement qui pour nous sera l'appareil dédié à produire l'effet.

Deuxième axe :

- *a physical phenomenon, typically named after its discoverer : the Doppler effect. (New Oxford American Dictionary)*

-*Phénomène particulier apparaissant dans certaines conditions. Effet Doppler.*

-*A scientific phenomenon, usually named after its discoverer : The Doppler effect*

On voit que Christian Doppler semble avoir un certain succès chez les éditeurs de dictionnaire, ce qui n'est pas pour nous déplaire vu qu'il est sans le savoir à l'origine d'un autre effet fameux dans le domaine de l'audio : le trémolo des cabines Leslie à haut-parleur rotatif (rotary speaker). Mais on voit aussi que l'effet a souvent pour origine un phénomène physique (comme réverbération, délai) et qu'il est intimement lié aux technologies qui portent le signal.

Un autre champs proche du nôtre où le terme est employé est le monde de l'orchestration et de l'arrangement. Le compositeur parle d'effet quand par exemple un trait de flute est doublé à la seconde par une autre flute, ou quand une phrase de violons est traitée en trémolo, ou quand il a recours à certains mélanges de timbres ; tous ces procédés produisent un effet, c'est à dire que l'on reconnaît qu'il s'agit d'un trait de flûte ou d'une phrase de violon, mais que l'on sent qu'il y a été ajouté ou modifié quelque chose. Cela sous-entend qu'il existe un partition virtuelle, latente, dans laquelle le trait de flûte ou la phrase de violon sont écrits simplement.

Il y a donc encore cette idée d'un état antérieur, d'un état résultant et d'une action ; d'une entrée et d'une sortie qui résulte d'un processing.

A la différence du traitement, l'effet est un choix esthétique. On qualifiera d'effet un filtrage destiné à colorer le son, mais pas celui qui s'applique à la sortie d'un phono, qui est juste fonctionnel. De même compresser un caisse claire pour faire ressortir les attaques est un effet, mais le Dolby nr est un traitement.

Mais pour le domaine qui nous intéresse, le monde de la musique enregistrée ou amplifiée, il s'agit à la fois d'un appareil électronique, logiciel ou de ce qu'il produit sur un son. Le processus par lequel on transforme un son au sens large (acoustique, analogique ou numérique) en un avatar dans lequel une oreille reconnaîtra l'original. Il nous semble devoir insister sur cette notion de reconnaissance, au sens large, pour cadrer notre sujet. En effet, les technologies successives ont permis un nombre croissant de manipulation sur le son, et il semble essentiel de distinguer l'effet qui a une vocation esthétique à améliorer, accentuer, un discours musical préexistant, de la manipulation sonore au sens large qui aussi créative soit elle, relève d'une toute autre démarche.

Jouer un solo de guitare à l'envers (de la dernière à la première note) pour faire ensuite jouer la bande à l'envers avec le reste de l'orchestre n'est pas : mettre un effet sur la guitare, mais plutôt réorganiser la matière pour créer un discours nouveau. Même s'il est clair que cela produit un certain effet!

### **-Temps réel**

Il y a une notion de temporalité qui est importante : un effet n'est pas forcément déterministe : la fonction qui lie la sortie à l'entrée peut comporter un part aléatoire, mais il ne peut connaître l'avenir. cf exemple précédent Ou encore l'échantillonnage prospectif aléatoire qui consister à découper chaque note en échantillons de 50ms, par exemple, et à les redistribuer aléatoirement ou dans un certain ordre dans l'intervalle de durée de la note, cette manipulation est très plaisante et facilement réalisable en tant que processing en audio numérique enregistrée, mais ne rentre pas dans notre champs d'étude.

Plugin n'est donc pas synonyme d'effet, dans la mesure où on trouve des plug-ins qui ne se mettent pas en insert sur des tranches, mais que l'on applique à processer sur un fichier audio ; auquel cas l'algorithme a accès au passé et à l'avenir puisque il a à sa disposition tout l'intervalle de temps qu'a duré la prise, et pas seulement les quelques échantillons présents dans la mémoire tampon de lecture.

Un effet doit pouvoir s'appliquer en temps réel.

### **-Lien « analogique »**

Autre notion importante, outre le lien temporel, il doit exister un lien "auditif" . L'auditeur, si on lui présente l'entrée et la sortie, doit sentir qu'on a transformé le son mais pas qu'on l'a remplacé par quelque chose qui n'a aucun rapport. La nature de ce rapport est évidemment difficile à cerner ; elle est subjective et vraisemblablement culturelle. Un homme du début du vingtième siècle aurait eu du mal à croire qu'un son de guitare extrêmement saturé est assez simplement issu d'un son de guitare claire... Mais on sent bien que l'on passe une frontière lorsque, en temps réel, un logiciel reconnaît les notes chantées par une chanteuse et fait jouer cette partition MIDI générée extemporanément par un quelconque synthétiseur. De même lorsque l'on *trigue* un son.

Il doit exister un lien analogique, non pas au sens de l'électronique analogique, mais assez intuitivement au sens d'une transformation continue... Si l'on ne respecte pas cette condition, on a plutôt affaire à un nouvel instrument de musique, ou un outil de composition.

### **-Insertion dans la chaîne**

On doit envoyer et récupérer un signal électrique, ou un flux de données de même nature : il ne suffit pas de mettre un gramophone dans un silo! Un effet doit pouvoir s'insérer dans le flux de données ou dans la chaîne du signal électrique (ce qui n'exclut pas les transductions à l'intérieur du process).

Un effet se définit donc comme suit :

Un dispositif matériel ou logiciel qui s'insère dans une chaîne audio pour transformer les son dans un but esthétique et d'une façon telle que le son d'origine soit reconnu.

## II/ CLASSIFICATION et HISTORIQUE

On présente donc les effets suivant la technologie dont ils sont issus, en retraçant l'histoire qui l'accompagne, et quand nécessaire un rappel théorique sur le principe technique ou relativement à la théorie du son.

### II.1) Acoustiques et idiophoniques

Evidemment, les phénomènes dont nous allons parler ne sont pas des effets au sens où on l'a défini, mais ils ont tous inspiré des effets créés plus tard. On trouve les réverbérations naturelles et les échos comme on en rencontre à la montagne. Des effets idiophoniques mais non moins primitifs : trémolos, vibrato, filtres passe-bas obtenus en obturant la bouche ou le pavillon d'une trompette. Puis on a des effets plus « orchestraux » comme le chorus produit par deux voix à l'unisson mais non parfaitement identiques.

Le premier dispositif créé par l'homme pour prendre un son et le modifier sont sans doute les petits résonateurs des xylophones africains, ou les caisses de résonance des tambours et des instruments à corde.

On a donc déjà une palette d'effets assez riche, mais cela n'est rien.

### II.2) Electro-Acoustique / Electro-Mécanique

Il ne s'agit plus d'agir directement sur le son sous sa forme acoustique, mais de faire transiter le signal électrique par une étape mécanique ou acoustique avant de le récupérer à nouveau en sortie sous forme électrique.

#### a) La chambre d'écho

Dans la catégorie électro acoustique, nous avons la fameuse chambre d'écho (echo room en anglais) qui fait sortir le signal par un haut parleur placé dans une pièce disposant d'une acoustique recherchée (en général elle est réverbérante), puis renvoie le son produit dans la salle, capté par un microphone. On dose ensuite le mélange entre le son d'origine et le son provenant de la chambre d'écho. Comme avec les réverbs d'aujourd'hui.

C'est à n'en pas douter le premier effet de réverbération, et la plus ancienne trace, est à trouver à Savoy Hill, premiers locaux de la BBC en 1929. La philosophie acoustique du moment consistait à ce que les studios soient le plus anéchoïque possible, pour que les micros produisent un son le plus neutre possible : vraisemblablement à cause des mauvais souvenirs laissés par les acoustiques désastreuses dans lesquelles enregistraient les maisons de disques au tout début du siècle.

Réalisant assez vite l'erreur de cette approche, les ingénieurs ressentirent le besoin de rajouter de la réverbération. A l'initiative du capitaine Henry Joseph Round (1881-1966) (qui entre autres choses découvrit en 1906 sur les antennes qu'un pattern en cardioïde s'obtenait en additionnant un omnidirectionnel et un Figure 8), une cage d'escalier du bâtiment fut donc dédiée à servir de première chambre d'écho de l'histoire. Mais cette trouvaille dût attendre une vingtaine d'années avant de s'imposer.

Al'arrivée des Juke box, dans les années 1920 quand le vinyle devenait un média très répandu, les opérateurs de ces machines exigeaient que les maisons de disques fournissent un son sans réverb

car cela affectait les performances des jukeboxes ; il faut dire qu'on était alors aux antipodes du rendu de la moindre chaîne compacte à 100 euros d'aujourd'hui! Et les maisons de disque qui souffraient âprement de la crise dans les années 1930 s'inclinèrent.

Il faudra attendre la concomitance de deux événements pour que la réverb prenne la place qui lui revient et qu'elle occupe encore. Premier élément, Bill Putnam (1920-1989) fondateur d'Universal recordings à Chicago et innovateur de génie dans le domaine de l'audio, réalisa en 1947 le premier enregistrement de variété qui utilisait de la réverb et ce, qui plus est, non pas de façon palliative mais créative : pour produire un effet. Ce fut le point de départ d'une nouvelle mode. Deuxième élément, à partir de 1950, la révolution Hi-Fi et les enregistrements Living Presence (chez Mercury Records) réalisés par Bill Fine en posant juste un micro dans une grande salle de concert (captant donc beaucoup de son d'ambiance) lancèrent la folie de la Hi-Fi qui pour de nombreux ingénieurs était synonyme d'echo...

Au cours de années 50, les grands studios américains feront tous construire leur chambre d'echo : la réverb fait désormais partie des incontournables de l'enregistrement. Et se répand à grande vitesse malgré ses inconvénients majeurs : pour une belle réverb, il faut déjà mobiliser une pièce conséquente, ce qui a un coût, mais surtout, puisque le coût n'est pas un gros obstacle pour les grands studios florissants des 50's, on ne règle pas le temps de réverb et le pré-delay en tournant un bouton.

## **b) La cabine Leslie**

Elle diffuse le son par l'intermédiaire d'un haut parleur qui débite dans un caisson mis en rotation. Le caisson laisse sortir le son par une ouverture qui prend le rôle de source. Le micro placé devant le caisson voit une source qui périodiquement se déplace de gauche à droite et produit un effet doppler périodique lui aussi. On a ainsi généré un tremolo, mais aussi, en gérant le mélange avec le son original, un chorus (même si sur les orgues, celui-ci est plus couramment obtenu en rajoutant une série d'oscillateurs légèrement dépitchés).

Ce dispositif fut mis au point en 1937 par Donald Leslie (1911-2004), inventeur Américain aux nombreux brevets (trains électriques radiocommandés, contrôle du chlore dans les piscines..) et même si cet effet et immanquablement associé aux orgues Hammond, ironiquement, son idée fut rejetée par la marque et Donald Leslie fonda sa propre société, Electro Music, pour commercialiser les cabines qui portent son nom.

Ces deux effets fournissent la mtrice pour imaginer une quasi infinité d'effets électro-acoustiques possible en mettant le haut parleur dans différents espaces acoustiques, placé directement devant des formes aussi variées qu'un embouchure de kazoo ou un tuyau en PVC, en variant les micros et les obstacles.

On peut aussi être tenté de faire varier le milieu de propagation : un autre gaz, un liquide ou un solide. On n'a développé que le solide ; on ne sache pas que la musique sonne différemment dans un pièce remplie de Napalm ou d'Hélium, et le caractère dispersif (la vitesse de propagation des composantes si usoidales du signal dépend de leur fréquence) de l'eau a sans doute rebuté. Mais alors il y a mieux que le haut parleur pour propager le signal.

Dans le cas de la fameuse réverb à plaque, on utilise un transducteur est placé sur la surface d'un grande feuille de métal (2x3m par 1/2mm d'épaisseur) suspendue par quatre ressorts à ses extrémités dans un grand caisson en bois. Le transducteur (technologiquement jumeau d'un HP) communique l'oscillation à la plaque qui se met en résonance. Un autre transducteur (qui est au premier ce que le micro est au haut-parleur) traduit l'état vibratoire de la plaque en un signal électrique qui ressemble à un champs diffus de réverb. Une grande « patte » mobile bloque la résonance de la plaque à distance variable du vibreur pour ajuster le temps de réverbération.

### c) Le réverbération à plaques

C'est la firme allemande EMT (Elektro Mess Technik) qui mit au point ce système et commercialisa son premier modèle : l'EMT 140, en 1957. Une révolution dans le monde du studio, puisqu'on pouvait enfin doser sa réverb sans avoir recours aux chambres d'écho : gain de place, d'argent et de contrôle, même si le son n'est pas, d'après les dires de ceux qui ont pu comparer avec leurs oreilles, à la hauteur. Mais on était déjà entré dans l'ère de la musique pop, et les producteurs inspirés voyaient au-delà de la reconstitution d'acoustique.

Il semble qu'EMT aient été les seuls à produire ce genre de dispositifs, et l'on trouve aujourd'hui une seule marque entretenant la légende (Plate-Sonics dans l'Illinois)

### d) Réverbération à ressorts

Un système très similaire est employé dans la réverb à ressort : au lieu d'exciter une plaque de métal, on va exciter un ressort et recueillir l'oscillation de l'autre extrémité. Le son du ressort est plus cyclique que la plaque quand il reçoit des sons percussifs, et la coloration métallique plus marquée. Cependant cette méthode coûte beaucoup moins cher, et prend beaucoup moins de place. Cela lui permet d'être embarquée dans des amplis guitare ou des orgues, et bien sûr de trouver plus facilement sa place dans les studios.

Paradoxalement, cet ersatz de réverb à plaque est plus ancien. Inventé par Hammond pour ses orgues, la première version est commercialisée avec les *tone cabinet* à partir de 1939. Dans ces premiers modèles, les ressorts étaient dans des bains d'huile (raison pour laquelle on appelle aussi les exemplaires de cette période les *oil reverb*) et la conception avait pour origine une création des laboratoires Bell pour simuler les délais rencontrés lors des appels longue distance. La motivation de Hammond était la même que pour l'invention de la chambre d'écho : compenser le manque de vie des pièces. En effet, les premiers acheteurs d'orgues électroniques furent les églises qui avaient leur réverbération naturelle, et la question ne se posait donc pas, mais avec le succès de ses orgues, Hammond eut progressivement des clients particuliers qui ne comprenaient tout bonnement pas pourquoi dans leur salon, le bel orgue n'a pas le même son que dans l'église. Il était impératif de trouver un moyen de simuler la réverb. Toujours cette idée de compenser une acoustique défailante.

En 1959 Hammond introduit la réverb en collier (necklace reverb) qui doit son nom à la forme que prennent les ressorts accrochés autour d'un cadre en T. Basiquement, le principe est de gagner de la place en « pliant » le ressort en deux, mais la sonorité est aussi améliorée, de même que le coût. L'effet est ainsi suffisamment petit et économique pour que Leo Fender l'inclue à partir de 1962 dans ses ampli pour guitare.

## II.3) Electronique analogique

Un effet analogique se résume à un signal électrique analogique en entrée et en sortie, et entre les deux uniquement des circuits électroniques dans lesquels le signal n'est jamais numérisé.

Il est difficile de dire quel fut le premier effet de l'humanité. Notre définition nous indique qu'il faut qu'un son soit véhiculé sous forme de signal électrique, et on imagine donc que cela n'est pas plus ancien que le premier haut-parleur ou le premier microphone (1876 Edison). Cela dit le premier dispositif ressemblant à un effet nous vient d'un des tout premiers synthétiseurs : le Telharmonium de Thaddeus Cahill (1867-1934) en 1897, qui ne fait intervenir ni microphone, ni haut-parleur (il n'y avait tout simplement pas d'ampli à l'époque) : le son était véhiculé par le réseau téléphonique, émis par un écouteur téléphonique et porté haut par un grand pavillon du type de ceux des



gramophones. Les oscillateurs imaginés par cet ingénieur américain étaient contrôlés par un clavier sensible à la dynamique et on peut donc logiquement supposer l'engin était doté d'un potentiomètre de volume, bien qu'il soit extrêmement difficile de le vérifier : la machine de l'époque a disparu, et les photos qu'il nous reste sont trop vagues.

### a) Le fader

Et si l'on se fie à la définition qu'on a donnée, on peut dire sans exagérer que le premier effet analogique jamais créé, le plus simple, et aussi le plus fondamental est le fader, ou plutôt le potentiomètre de volume, rotatif de préférence au début, comme on peut le voir sur cette mixette six-voies de la BBC en 1932 – c'est d'ailleurs à la radio, qui a inventé la console de mixage, que l'on doit l'appellation Program qui désigne fréquemment le bus stéréo master des consoles-. A fortiori quand on considère les faders plus récents qui ne se contentent pas d'atténuer, mais dont une zone de la course sert à amplifier.



Mais si le potentiomètre est vieux comme le monde (ou du moins comme la résistance...), le gain doit attendre l'invention de l'amplification, c'est à dire l'invention de la lampe Audion par Lee de Forest en 1904. Cela permettra tout simplement l'amplification du signal audio, donc le développement de la radio et de l'audio en général. En ce qui nous concerne, faire le gain d'un microphone à l'enregistrement n'est pas un effet puisque c'est une tâche technique d'adaptation de niveau et d'optimisation du signal, mais lorsque l'ingénieur pratique le gain riding, i.e. le suivi du gain à la prise, on a bien pratiqué un effet.

### b) Traitements dynamiques

Cette idée du gain variable, on pourrait dire automatisé, est celle d'une grande famille d'effets : les traitements dynamiques, compresseur et expandeur et leur déclinaisons extrémistes : limiteur et gate. Ces appareils modifient la dynamique du signal l'augmentant (expandeur) ou la diminuant (compresseur). Le principe se définit en deux étapes : 1° le niveau de sortie est fonction du niveau d'entrée, et cette dépendance est exprimée par un simple courbe (niveau d'entrée en abscisse, sortie en ordonnée). Si le niveau de sortie (indiqué par la courbe) doit être différent du niveau d'entrée, l'écart nous donne un gain ou une réduction que l'on exprime en dB. 2° Quand l'effet rencontre un tel niveau il applique ce gain (positif ou négatif) en suivant une courbe AHR (Attack Hold Release) que l'on a définie au préalable.

Historiquement, les premières versions de ces appareils n'avaient pas vocation esthétique à améliorer le son, mais simplement à le préserver de dégradations ultérieures. Ainsi les premiers limiteurs et compresseurs sont-ils liés à l'histoire de la radio où il fallait respecter une certaine plage dynamique pour avoir une transmission propre. Puis en entrée de magnétophone, puis le Dolby Noise Reduction.

Le premier limiteur à vocation esthétique, avec des temps réglables d'attaque et de release, fut introduit par Universal Audio en 1961. Tout juste après une variante proposait un taux de compression réglable : le compresseur en tant qu'effet était né.

Logiquement puisque la radio compressait les programmes depuis les années 1930, il avait bien fallu inventer l'expandeur de dynamique, ce qui technologiquement est tout à fait similaire.

Ces effets étant fondamentalement des amplis à gain variable, leur évolution suit celle de l'amplification : à lampes puis à transistors.

### c) Filtrage

On se rend assez vite compte, que quoi que l'on fasse entre entrée et sortie (et rien que le fait de faire passer du son analogique dans des câbles électriques) on filtre. C'est donc une chose simple

à la base qu'on a fait très tôt et avant de pouvoir amplifier un signal. C'est encore le Telharmonium qui inaugure son usage en audio ; les oscillateurs passaient par différents types de filtres destinés à façonner le timbre porté par le signal électrique. Cet effet, bien que physiquement intégré à cette immense armoire, fonctionnait exactement avec une entrée et une sortie et opérait en temps réel sur un signal électrique musical une transformation bien continue.

Les progrès réalisés par la suite vont viser, outre la miniaturisation, à permettre de choisir la fréquence centrale, la largeur de bande affectée, augmenter le pouvoir de réduction et de gain. Le premier equaliseur en rack commercialisé le fut par Pultec en 1951, permettait des réglages sur trois bandes : bandes, dans le bas quatre choix de fréquence (sans réglage de largeur de bande) et possibilité de booster ou atténuer, dans le haut-médium et le haut sept choix de fréquence (de 3 à 16kHz), largeur réglable, mais seulement boost, et dans le haut choix de trois fréquences (5, 10, 20 kHz) à atténuer seulement sans réglage de largeur. Et dès 1959 Bill Putnam créait le concept de console modulaire avec des filtres sur chaque tranche.

#### **d) Trémolo...**

Les oscillateurs connus depuis bien longtemps vont permettre de créer le trémolo (variation d'amplitude périodique) et avec deux trémolos en opposition de phase dans le canal droit et gauche, un pan-vibrato.

#### **e) Distorsion**

De même que pour le filtrage, la distorsion est indissociable de toute chaîne audio, et toute technologie audio jusqu'à présent génère une distorsion. L'amplification par lampe ou transistor, l'écriture sur un bande magnétique (cf??) ou un vinyle, la conversion numérique (??) (par le biais de la gigue) génèrent des distorsions dans des proportions inégales.

Une loi générale en audio (et qui vaut sans doute ailleurs) veut que les défauts des appareils aient toujours deux vertus : d'une ils poussent les ingénieurs à faire mieux et trouver de nouvelles idées, de deux il se trouvera toujours des musiciens et des ingénieurs du son pour leur trouver du charme et dont il stimulera la créativité.

Ainsi la légère distorsion des amplificateurs à lampe jadis utilisés à défaut d'autre moyen est aujourd'hui prisée est considérée comme un effet pour la chaleur qu'elle apporte. La plupart des électroniciens définissent cependant la distorsion comme une altération indésirable que subit la forme d'onde d'un signal électrique entre l'entrée et la sortie. Il est donc paradoxal de parler de distorsion, les mauvaises herbes deviennent bonnes quand on les sème volontairement...

Plus encore, la limite opérationnelle de tout amplificateur entraîne fatalement qu'à l'approche de ce niveau en entrée se produit une distorsion très prononcée et une saturation qui selon le niveau ajouteront des harmoniques (impaires) au son ou iront jusqu'à le transformer en signal carré. La couleur prise prendra le doux nom de saturation, overdrive, fuzz, scream, distorsion, crunch etc... Certains guitaristes prétendent différencier ces différentes appellations en fonction de la couleur du son, mais tout cela relève du même effet.

Les premiers usages créatifs de la saturation sont liés à l'histoire des amplis pour guitare et si les premiers modèles datent du début des années 1930, il semble que 1958 soit la date de naissance de cet effet avec le titre Rumble par Link Wray (1929-2005). Même si le son de l'enregistrement a été obtenu en faisant des trous dans le haut-parleur (on a plutôt ici une méthode électro-acoustique), l'intention de Link Wray était d'obtenir à nouveau le son qu'il avait obtenu quelques jours auparavant lors d'un concert furieux au cours duquel il avait fortement forcé sur le gain de l'ampli (là c'est électronique).

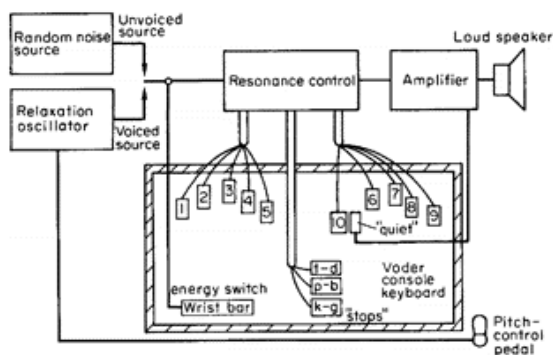
Autre pionnier plus méthodique de la saturation d'ampli ,en 1963, Dave Davies , guitariste des Kinks, fit saturer un ampli guitare en y faisant entrer la sortie d'un autre ampli guitare pour enregistrer « You really got me »! Mais il y a fort à croire qu'avant Link Wray et Dave Davies, un bluesman inconnu des Etats-Unis ait déjà fait crier son ampli...

## f) Vocoder

Le principe du vocoder repose deux signaux d'entrée : le porteur et le modulateur. En général, le porteur est un son synthétisé ou un bruit et le modulateur une voix humaine. La machine va élaborer un filtre à partir du modulateur qu'elle va appliquer au porteur. L'élaboration de ce filtre se fait par un analyse du contenu fréquentiel, par bande, du modulateur et de la position de ces zones d'énergie par rapport au fondamental : la courbe de réponse du filtre aura l'allure du spectre du modulateur et confèrera au porteur le timbre du modulateur, notamment en ce qui concerne les formants de la voix, ce qui permettra de reconnaître dans le porteur filtré les variations spectrales qui font les différences entre les différentes voyelles et les différentes consonnes sonores.

L'origine de cette invention est encore une fois liée à l'histoire de la transmission, et les recherches qui en sont à l'origine avaient pour but de réduire la bande passante nécessaire à la transmission de la voix. Vocoder signifie Voice Coder, en effet, on n'a plus qu'à stocker la valeur de l'énergie par bande et à coder les variations peu rapides (en regard d'une oscillation audio) de ces quantités en un signal à bande passante réduite. A l'autre bout de la chaîne de communication, un appareil reconstitue la voix en appliquant à un bruit les filtres qu'il déduit du signal transmis. Le seul inconvénient étant que la voix obtenue a un son robotique, et si l'on veut perfectionner la chose, on augmente le nombre de bandes à analyser, et par la même occasion la bande passante!

Les premières expériences sur cette idée datent de 1929, et en 1935, Homer Dudley (1896- 1987) dépose le brevet du premier vocoder, qui fonctionne comme ceci :



En 1939 naît le premier Voder, dans lequel les données des filtres de timbres sont stockées et que l'on déclenche manuellement à l'aide d'un clavier. Il n'y eut pas d'usage musical avant que Wendy Carlos n'en essaye à la foire mondiale de New York en 1969 et ne décide de s'en servir. On l'entendra pour la première fois



dans la bande originale du film Orange Mécanique de Stanley Kubrick. Le premier modèle commercial remonte à 1979.

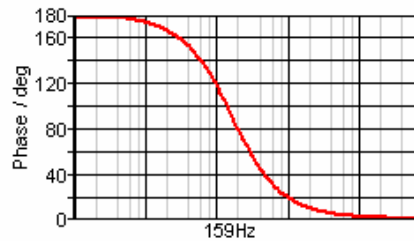
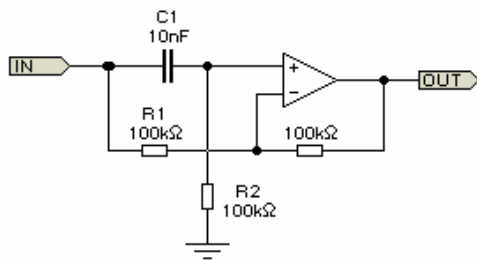
## g) PHASER (I am your phaser Luke !)

Le phaser est (trop) souvent confondu avec le flanger, que nous verrons après (page ??), et comme il est vrai que leurs effets sont proches, nous pensons qu'une mise au point s'impose.

D'une façon très générale, le phasing se produit lorsqu'on mélange deux sources identiques ET synchrones dont l'une présente un ou plusieurs déphasages par rapport à l'autre. Pour faire simple, prenons un signal  $S(t)$  composé d'une somme de signaux périodiques (ce qui bien sûr n'existe pas dans la nature) chacun de la forme  $A_i(t) = A_i \cdot \cos(\omega_i t + \phi_i)$  par exemple. D'un autre côté on forme  $R(t)$  composé de la même somme d' $A_i(t)$ , mais où certains des  $\phi_i$  sont modifiés, c'est à dire que l'on a déphasé ces composantes. Quand on fait la somme des deux, chaque

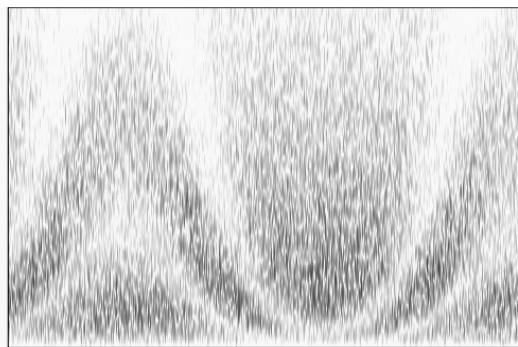
composante à une fréquence donnée se verra renforcée ou diminuée selon le rapport de phase qu'ont ses deux représentantes chez  $S(t)$  et  $R(t)$ . Le filtre équivalent à cette opération présentera donc des raies claires ou sombres selon la valeur de déphasage.

Pour réaliser ces déphasages, on fait passer le signal dans ce qu'on appelle un filtre passe-tout (all pass filter), qui a la particularité de ne filtrer aucune fréquence (d'où son nom) mais qui opère des déphasages à certaines fréquences. La brique élémentaire est le filtre passe-tout à ampli-op à un pôle et un zéro, comme dans la figure ci dessous :



*schéma d'un filtre passe-tout et sa courbe de réponse de phase*

présente des notches plus et moins obtenus au grès des réglages de condensateur-résistance de chaque filtre élémentaire. En utilisant des LFO (oscillateurs basse fréquence) on peut enfin faire bouger la courbe de réponse du « filtre » obtenu pour qu'elle balaye (sweep) le spectre, ce qui ressemble à ceci :



*Spectrogramme d'un phasing*

cinquante avec la chanteuse Dodie Fields. Les premiers appareils sont des années 1970 (Countryman et Mog).

## h) Stéréo

Bien sur la stéréo n'est pas en soi un effet, mais le fait de gérer la position, voire le déplacement d'une voie dans l'espace stéréophonique en est un. Ainsi qu'un procédé comme le matricage MS qui permet d'élargir ou de rétrécir l'image stéréo d'une source déjà stéréophonique.

## II.4) Phonogramme

Grand oublié du monde des effets, le disque a pourtant permis de développer les mêmes effets que magnétophone : délai, flanger. Il repose sur le même principe conceptuel : une piste sur laquelle est inscrite de façon analogique la modulation, un tête d'écriture et une tête de lecture. Cependant c'est la seule technologie à avoir été complètement abandonnée pour les effets, au profit de la bande magnétique.

On peut faire varier la fréquence centrale en variant  $C1$  et  $R2$ , puis en mettant en chaîne plusieurs de ces montages, on obtient des courbes de réponse en phases plus compliquées. Quand on somme le signal original au signal qui passe par cette chaîne, on obtient un filtre qui

Sur ce spectrogramme on a en abscisse le temps, en ordonnée la fréquence sur une échelle logarithmique et l'intensité est traduite en niveaux de gris.

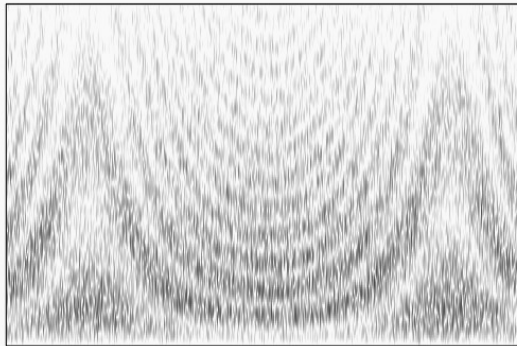
Les filtres passe-tout son connus depuis les années 1940, utilisés dans les calculateurs analogiques (Un appareil électronique dans lequel les donnés chiffrées sont représentées par des variables physiques mesurables comme la tension électrique, et non sous forme numérique). Et donc pratiquement, on pouvait dès cette époque réaliser des effets de phasing. Mais le premier témoignage remonte au milieu des années

## a) Délai

Dès 1941, Les Paul (Lester William Polsfuss, 1915) avait créé un appareil avec cinq têtes de lectures dans le sillon après une tête d'écriture.

## b) Flanger

Cet effet est obtenu en faisant lire deux sources identiques avec un décalage temporel (inférieur à 50ms pour que l'oreille ne distingue pas le décalage en tant que tel) qui oscille dans le temps entre 0 et une valeur max. Autour d'un instant donné, le décalage donné, par exemple 10ms, crée un filtre en peigne qui va accentuer tous les multiples de 100Hz (100, 200, 300, 400, 500...) et couper les multiples impaires de 50Hz (50, 150, 250, 350, 450...). Le fait que ce décalage oscille entre deux valeurs va décaler en permanence la réponse de ce filtre. L'allure de ce spectrogramme et le rapide calcul précédent nous montrent que le filtre en peigne du flanger présente des creux



*Spectrogramme d'un flanging*

et des bosses espacés régulièrement à la différence du phaser.

Le flanging arrive accidentellement avec une probabilité proche de 1 quand on essaye de faire lire de façon synchrone le même sillon à deux gramophones. Les signaux se décalent légèrement l'un par rapport à l'autre et ce décalage varie dans le temps. Ce phénomène fut découvert et exploité à des fins artistiques par Les Paul (Mamie's Boogie, 1945) en utilisant deux machines dont l'une avait une vitesse variable.

## II.5) Bande magnétique

À partir de 1945-1950, la bande magnétique arrive dans les studios (elle avait déjà été mise au point et utilisée pendant la guerre) et outre les commodités qu'elle apporta on lui doit trois effets très importants : le délai, le vibrato (et donc le chorus) et plus spécifique encore, le flanger.

### a) Délai

Le premier fut le délai, car quoi de plus automatique avec une technologie qui reproduit le son que de créer un effet qui reproduit le son? De plus, le faire avec de la bande était plus aisé qu'avec un disque. Un magnéto induit de toute façon un délai entre le jeu et l'écoute en cabine du à la distance entre la tête d'enregistrement et la tête de lecture. Les ingénieurs avaient juste à écarter un peu plus la tête de lecture et à créer un dispositif permettant de la déplacer ou de moduler la vitesse de défilement de la bande pour régler le temps de délai. Pour rendre le tout transportable et abordable, on mettait la bande en boucle infinie.

Le premier usage de cet effet est attribué à Les Paul qui désirait un léger écho (How High the Moon, 1950), et très peu de temps après, les premiers appareils dédiés au délai furent sur le marché : echosonic (1952), echoplex (1959), Roland Space Echo (1973, un best-seller). L'inconvénient de ces machines tenait à la durée de vie de la bande, à la fidélité des réglages et au défilement forcément irrégulier de la bande.

Une autre technologie très similaire fut développée par BINSON et son echorec à la fin des

années 50. Ils utilisaient un disque (ou tambour, drum) dans un alliage spécial qui portait sur la tranche une bande de métal (jouant le rôle de la bande magnétique bouclée). Les têtes étaient disposées le long du bord du tambour et le moteur qui le faisait tourner était particulièrement stable. De plus, la bande de métal offrait un meilleur son. Le plus gros défaut de l'Echorec face aux délais à bande magnétique était le temps maximal de 375 milli-secondes.

Une variante du délai à bande permettant de très longs temps est le Frippertronics du nom du guitariste Robert Fripp qui l'a rendu célèbre en 1972. Mais cette technique date en fait du début des années 60,

élaborée par deux musiciens expérimentaux Terry Riley et Pauline Oliveros. Le principe, comme le montre l'image, est de prendre deux magnétophones à bobines (i.e. pas à cassette, Revox dans le cas de Fripp) de garder la bobine qui débite du magnétophone N°1 et celle qui « enroule » du magnétophone N°2. Le son est enregistré sur la bande par la

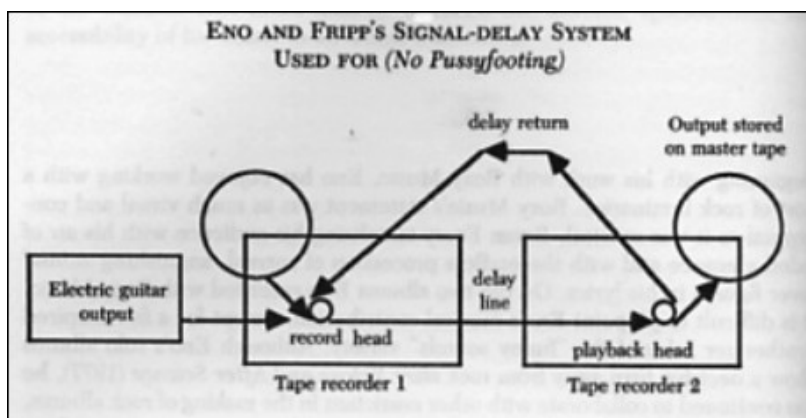


Diagramme de fonctionnement du Frippertronics

tête d'écriture du N°1, puis est lu par la tête de lecture du N°2 après un temps assez important que l'on règle tout simplement en écartant les deux appareils. Cependant que le signal lu (par N°2) est réinjecté (feedback) avec le son joué suivant un mélange réglable dans l'entrée du N°1. Finalement tout se passe comme si on avait un énorme Revox. Et du fait qu'on utilise pas un bande en boucle de courte durée, mais une bande « normale », on a à la fin du morceau un enregistrement du rendu de la machine.

### b) Compression / distorsion

La bande magnétique a aussi été exploitée pour ses défauts (ou en tout cas ses limites) afin d'obtenir compression et distorsion (pas l'un sans l'autre). La distorsion est un inpondérable de la bande magnétique en raison de la non linéarité de sa réponse dans les faibles niveaux, et comme le signal passe par zéro entre 20 et 20 000 fois par seconde, c'est un phénomène important. Grâce au AC Bias, on atteint un taux de distorsion acceptable... et qui fait le charme de la bande. Mais il y a distorsion et distorsion, et quand on approche du niveau limite de magnétisation, le signal atteint un niveau de distorsion caractérisée, qui produit donc des harmoniques, associé à un compression à attaque et release quasi instantanés. Cette propriété est encore utilisée aujourd'hui et se prête bien aux sons de basse et grosse caisse.

Il est difficile de dater l'apparition non pas du phénomène, mais de son utilisation délibérée. Il faut attendre une époque où le goût des sons trafiqués arrive jusqu'aux studios, et c'est donc au cours des années soixante avec certains albums des Beatles que cette pratique, dont les albums de Le Zepelin font un usage intensif, prend son essor.

### c) Flanger

Bien que comme on l'a vu, le flanger soit apparu avec le disque, son développement est pourtant lié à l'histoire de l'enregistrement sur bande. Flange en anglais désigne la face circulaire de la



*hollow flange  
spool*

bobine qui protège et maintient la bande (partie translucide sur l'illustration) et c'est de là que vient le nom de l'effet car il suffisait de presser légèrement cette partie de la bobine pour freiner un magnéto et augmenter le décalage, puis de faire de même sur l'autre magnéto pour revenir à zéro. Une autre histoire veut que pendant les sessions de Revolver (Beatles 1966) aux studios d'EMI, John Lennon ait demandé à l'ingénieur Ken Townsend s'il y avait un moyen d'avoir

l'effet de voix doublée sans avoir à l'enregistrer deux fois, et que celui-ci ait inventé l'ADT, artificial double tracking (doublage artificiel de piste) dans la foulée. Le nom flanging viendrait alors d'une plaisanterie de George Martin à Lennon pour expliquer le fonctionnement de l'ADT : « Now listen, it's very simple. We take the original image and we split it through a double vibrocated splashing flange with double negative feedback. ». Ce qui est assez dur à traduire puisque vibrocated ne veut rien dire en anglais et que splash est un onomatopée qui signifie littéralement : « faire splash ». Lennon en aurait néanmoins retenu le mot flange et aurait formé le mot flanging pour désigner l'ADT.

## II.6) Oil can delay

La technologie éphémère utilisée pour ces unités de délai petit format est inclassable et se situe quelquepart en marge du délai à bande. Le brevet daté du 30 juin 1959, déposé par Raymond Lubow (cofondateur de Morley) explique le procédé : l'état électrique du signal entrant est stocké de manière électrostatique sur un disque isolant (caoutchouc) au moyen d'une électrode, puis un peu plus tard, après rotation du disque, par une autre électrode. La zone de contact circulaire du disque isolant avec les électrodes se comporte comme un chaîne de très nombreux et très petits condensateurs qui stockent la charge. L'huile dans laquelle baigne tout le dispositif permet de piéger les charges dans le disque isolant.

Ces délais à la fois moins chers, plus petits et plus fiables que leurs cousins à bande magnétique étaient l'outil idéal pour la scène, mais l'huile utilisée contenait des polychlorobiphényles, donc la très forte toxicité fit abandonner la production en 1970.

## II.7) Bucket Brigade

Il s'agit d'une technologie développée en 1969 par F. Sangster and K. Teer des laboratoires de recherche de Philips. Etant donnée l'époque et le fait qu'elle n'utilise que bobines condensateurs, résistances et amplis, on serait tenté de la classer dans la rubrique analogique. Seulement la philosophie du fonctionnement est tout simplement numérique. Le principe est que la tension du signal d'entrée est photographiée à intervalles réguliers, réglés par une horloge analogique, et stockée dans un condensateur. On dispose de  $n$  condensateurs et l'accès aux condensateurs se fait en cycle pour le stockage et la lecture. Le nombre  $n$  désigne en quelque sorte le buffer du système. La principale différence avec une démarche numérique est que chaque échantillon n'est pas quantifié, mais stocké de façon analogique. En conséquence, le théorème de Shannon Nyquist s'applique et le signal doit passer par un filtre passe bas pour éviter les repliement de spectre.

Les circuits en Bucket Brigade (expression qui signifie en anglais « faire à chaîne ») ont essentiellement servi à réaliser délai et effets à base de délai modulé (vibrato et flanger).

## II.8) Numérique

La grande différence avec l'arrivée du numérique, c'est que les esprits étaient prêts : les ingénieurs attendaient depuis longtemps que les progrès technologiques leur permettent enfin de faire tourner les algorithmes qu'ils avaient imaginés. Car si l'audio numérique débute dans les années 1970, les concepts de l'informatique, eux, sont déjà présents. Le Théorème de Nyquist, par exemple, qui concerne directement l'échantillonnage, date de 1929.

En 1943, une machine des laboratoires BELL, du nom de SIGSALY, est utilisée par l'armée américaine pour transmettre de façon codée la voix. Il s'agit de la première machine audionumérique.

A l'aide d'un vocoder, on obtient dix signaux basse fréquence (moins de 25 Hz) dont l'amplitude correspond à l'amplitude mesurée par le vocoder sur dix bandes qui recouvrent la zone utile du spectre (250 Hz, 2950 Hz). On ajoute un signal qui indique si le son est sourd (plosives, consonnes sans hauteur) ou sonore (voyelles et consonnes à hauteur) et, dans le cas sonore, un signal indique la hauteur. Les signaux sont ensuite échantillonnés à 50 Hz, d'où les signaux basse fréquence à moins de 25 Hz, et quantifiés sur six niveaux non linéaires (vraisemblablement logarithmique, on n'est pas chez Bell pour rien) : l'écart en V entre 5 et 6 est plus petit qu'entre 1 et 2. Sauf pour le pitch qui est codé sur deux fois six niveaux (soixante-six en tout). Les signaux ainsi numérisés sont cryptés (Claude Shannon était de la partie), multiplexés et envoyés.

A l'arrivée le signal est interprété et reconverti en douze signaux basse fréquence qu'un vocoder transforme en une sorte de voix dont on comprend le discours. Evidemment la piètre fidélité du procédé le cantonne la machine aux communications militaires de très haute sécurité mais exclut tout usage musical ; de plus la machine pèse 50 tonnes (pas de transistor, seulement des lampes) et n'est tout simplement pas commercialisée.

L'enregistrement numérique voit son premier usage commercial dès le début des années 70 avec des compagnies comme Denon, Decca et Soundstream qui développèrent leur propres enregistreurs numériques. Mais il ne s'agit là que d'enregistrement directement en stéréo qui ne sont pas destinés à être mixés.

Les premières stations de travail audio numériques (DAW) sont conçues par Soundstream vers 1977, stockent sur disque-dur et monitorent visuellement à l'aide d'un oscilloscope tandis que les instructions codées sont tapées sur un austère terminal. Il ne s'agit à ce moment que de faire de l'édition sommaire, des fades et des gains, comme on s'en doute à la vue du PDP 11/60 qui hébergeait ces stations.



*Le mini ordinateur PDP 11/60 (au centre), son terminal (à gauche), et son imprimante à aiguilles (à droite)*

Il est intéressant de voir que pour cette fois, ce n'est pas la technologie d'enregistrement qui génère des effets par différentes manipulations, mais que les effets numériques se sont développés en parallèle des enregistreurs numériques. Ainsi Lexicon sortit en 1970 le premier délai numérique le Delta-T 101 et EMT la première réverbération numérique en 1972, l'EMT 144 aux capacités limitées et dont il ne reste peu d'exemplaires. Mais en 1976, EMT s'associe à la compagnie américaine Dynatron pour sortir l'EMT 250 qui fut la première réverbération numérique vraiment utilisable, avec des contrôles de pré-délai, et de RT-60 pour les aigus et les graves et des effets de délai, chorus et phaser ; en somme le

premier multi-effets. La même année sort le chorus numérique de chez Roland puis la Lexicon 224 en 1978. Les effets numériques s'installent durablement dans les studios.

L'évolution se fera ensuite dans les pas des progrès de l'informatique, puisque c'est de calculs qu'il s'agit. Les progrès de l'informatique permettent de modéliser les phénomènes se produisant dans tous les appareils l'ayant précédée et d'aller plus loin dans le perfectionnement

Ainsi les performances des égaliseurs numériques en terme d'étalement de bande, de gain et de respect de la phase sont elles aujourd'hui très loin devant ce qui se faisait de mieux en analogique. De même avec les compresseurs que l'on arrive à régler avec des temps de l'ordre de



la micro-seconde.

On arrive à modéliser avec une grande fidélité la quasi-totalité des amplis et pédales d'effets existants et les calculs de convolution nous permet d'avoir les meilleures réverbés que l'on ait jamais eu en terme de vraisemblance (pour le reste c'est une affaire de goût).

### **a) Pitch shifting**

Modifier la hauteur d'un son sans en modifier la durée et la chose que l'on ne savait pas faire avant le numérique. De même qu'accélérer ou ralentir sans changer la hauteur. Auparavant on ne savait que varier la vitesse ce qui changeait la hauteur et la durée de façon inséparable!

Le ré-échantillonnage permet enfin de réaliser des effet tels que l'Eventide Harmoniser H910 de 1975, qui pitchait jusqu'à +/- une octave. Comme il opérait en temps réel, plus la transposition était importante, plus le son pitché arrivait tard.

La révolution suivante fut l'arrivée de l'auto-tune en 1997, développé par Antares, la compagnie du Dr Harold Hildebrand, un géophysicien de métier qui s'appuie sur les puissants DSP utilisés par les laboratoires de géophysique. L'auto-tune, pitche en temps réel le signal entrant en se callant sur une famille de hauteurs déclarées en premier lieu. La chanteuse Cher en fera sa marque de fabrique en 1998.

Il s'agit probablement de l'effet intrinsèquement numérique le plus populaire .

### **b) Quantification**

Comme nous l'avons dit plus haut, les défauts des systèmes audio peuvent facilement s'avérer être des effets intéressants, et les musiciens des courants électro reproduisent avec nostalgie les quantification basse résolution qui ont jalonné l'histoire du son des jeux vidéo. Ainsi la suite de Plugins D-Fi (lo-fi, recti-fi...) produite par Digidesign confirme-t'elle ce courant.

### **C) Convolution**

Evoquée à l'instant comme un moyen redoutable de modéliser l'acoustique d'un lieu, la convolution permet aussi (et surtout) des effets innovants qui ne ressemblent plus à des réverbés et deviennent propres au monde numérique. Le choix de charger un autre fichier audio qu'une réponse impulsionnelle peut mener à des effets d'un genre nouveau sur lesquels l'oreille ne sait pas (encore) mettre un nom.

# CONCLUSION

Ce panorama des effets et des technologies liées à l'audio nous montre qu'il s'intègre dans un cadre large de développement scientifique et technique, on a vu que bien des inventions provenaient de secteurs éloignés comme les télécommunications civiles ou militaires, la géophysique, l'informatique... Mais on n'a pas de réciproque, d'exemple de technologie développée spécifiquement pour l'audio et qui aboutisse dans un autre domaine.

On voit aussi que les différentes ères technologiques se chevauchent beaucoup et qu'on a souvent produit les mêmes effets, sur le principe, les améliorants au passage. Mais à l'arrivée, la liste des effets disponibles ne s'agrandit pas considérablement. On peut bien avoir 300 plugins sur son ordinateur, mais quand on les regroupe par catégorie, on n'a plus qu'une douzaine, dont 90% étaient disponibles dans les années 1970.

On a bien sûr énormément progressé sur la qualité, la performance, la miniaturisation et le prix, ce qui est déjà vertigineux par rapport à il y a trente ans. Mais on peut légitimement s'inquiéter de ne pas avoir, avec le numérique, la révolution sonore qu'on a pu avoir avec la distorsion ou le flanger, de ne pas avoir de nouvel effet -nouveau pour les oreilles.

Il semble que la seule source d'effets nouveaux aujourd'hui soit la convolution utilisée à des fins autres que la réverbère, même si cela n'est quasiment pas exploité. On peut se demander si les technologies ne deviennent pas tellement compliquées qu'elles ne sortent plus des laboratoires et ne vont donc pas au contact de ceux qui font la musique. Les studios d'EMI ou de la BBC regorgeaient d'ingénieurs qui vivaient dans les deux mondes à la fois : technique et musical. Aujourd'hui on ne trouve cette atmosphère que dans des instituts du type le l'IRCAM qui certes développent des outils extrêmement intéressants mais au service d'une musique absconse au possible. C'est probablement de là que viendront les sons du futur, et pas des séances d'enregistrement de musique « populaire ».

# SOURCES, BIBLIOGRAPHIE

## SITES INTERNET

Sites internet dédiés au mixage et aux technologies du son :

[www.soundonsound.com](http://www.soundonsound.com)

[www.uaudio.com/webzine](http://www.uaudio.com/webzine)

<http://mixonline.com>

<http://www.record-producer.com/>

<http://homerecording.com>

<http://www.aes.org/aeshc/docs/>

Autres :

[http://www.obsolete.com/120\\_years](http://www.obsolete.com/120_years)

Temoignages d'ingénieurs du son

<http://www.btinternet.com/~roger.beckwith/bh/>

<http://www.ethanwiner.com/>

<http://www.gearslutz.com>

Sites de compagnies

<http://www.ams-neve.com/>

<http://rupertneve.com/>

<http://www.binson.com/#/history/>

## LIVRES

*Que sais-je - Le calcul analogique, Jean-Jacques Gleitz, Presses Universitaires de France, 1968*

*modulation – une histoire de la musique électronique, Collectif, Editions Allia, 2004*

*Experimental music Cage et au dela, Michael Nyman, Editions Allia, 2005*