

Numéros / n° 4 - automne 2014

« Simulation d'amplificateurs de guitare pour le studio »

Ivan Cohen

Résumé

Je travaille sur des logiciels innovants pour l'informatique musicale après avoir rédigé une thèse de doctorat avec Two Notes et l'Ircam sur la simulation d'amplificateurs guitare.

Le sujet abordé dans ce texte concerne la simulation d'amplificateurs pour guitares à lampes de nos jours, la façon dont ces outils sont conçus, réalisés et développés ainsi que leurs utilisations possibles dans le contexte du studio.

Introduction

La période actuelle est intéressante pour la création musicale avec l'avènement de l'informatique musicale qui, depuis une dizaine d'années, est devenue accessible au grand public. Une grande partie des équipements de studio peut maintenant être simulée par ordinateur, que ce soit les effets, mais aussi des synthétiseurs, ou même des instruments de musique. Maintenant, avec un simple ordinateur, il est possible d'avoir sous les doigts l'équipement d'un studio pour le mixage et le mastering, un orchestre symphonique, une batterie acoustique, et aussi le batteur lui-même.

Figure 1. Quelques exemples d'équipements de studio simulés



Toutes ces simulations permettent de remplacer de l'équipement parfois très cher et encombrant, par des versions numériques, et cela a vraiment révolutionné les pratiques des musiciens et des ingénieurs du son. Aujourd'hui il est devenu presque impossible de trouver un studio sans au moins un ordinateur avec les séquenceurs Avid Pro-Tools ou Apple Logic.

De plus, avec l'avènement de ce que l'on appelle le *home studio*, les musiciens peuvent avoir l'équivalent d'un studio dans leur maison avec leur ordinateur. Cela a changé beaucoup de choses dans les pratiques de la musique, concernant l'enregistrement, la composition, le mixage, mais aussi dans l'industrie musicale en général.

Dans les outils qu'on peut simuler aujourd'hui, on s'intéressera en particulier aux amplificateurs guitare. Ces simulations permettent notamment de gagner du temps en enregistrement, pour simplifier la mise en place des enregistrements, et proposer un large panel d'amplificateurs guitare aux musiciens en studio, sans avoir à posséder les originaux. Ils donnent accès également à des possibilités créatives supplémentaires aux musiciens, qui peuvent réaliser des mélanges de sonorités possibles avec le virtuel.

Figure 2. Quelques simulateurs d'amplificateurs de guitare



Mais malgré toutes ces avancées et la disponibilité large des simulateurs, il y a encore énormément d'ingénieurs du son et de musiciens qui continuent à utiliser les originaux. La raison principale à évoquer pour ce refus concerne le « réalisme ». À la base, ce qu'on essaye de faire quand on fait la simulation d'un amplificateur guitare, c'est vraiment de reproduire à l'identique le son de l'original. Quand on branche sa guitare électrique sur l'interface audionumérique reliée à l'ordinateur et qu'on utilise la simulation, par exemple du Marshall JCM 800, on s'attend à ce que le son qu'on va obtenir soit vraiment celui du Marshall JCM 800 et non quelque chose qui se rapproche un peu, qui ressemble, mais qui ne soit pas tout à fait pareil. Dans certains styles de musique où le son de la guitare est vraiment important pour le message qui est renvoyé, on ne peut pas se permettre, parfois, de prendre la simulation et on doit utiliser l'original.

Néanmoins, les progrès des simulateurs produits ces dix dernières années, et leurs avantages en général font qu'on peut les retrouver régulièrement en studio, voire en utilisation *live*. En effet, l'utilisation d'un simulateur en concert permet de s'affranchir de la quarantaine de kilos du matériel physique, et du problème de la repasse des microphones positionnés sur la scène entre autres choses.

Nous allons donc parler dans cet article de la simulation d'amplificateurs guitare en général, de leur fonctionnement, et des utilisations qui peuvent en être faites, notamment dans le contexte du studio.

1. Présentation de l'amplificateur guitare

L'objet de la simulation est donc l'amplificateur guitare, mais de quoi s'agit-il précisément ? Qu'est-ce que c'est, à quoi cela sert-il, qu'est-ce qu'il y a à l'intérieur et qu'est-ce qu'on essaye de reproduire lorsqu'on veut reproduire le son de l'amplificateur guitare ?

Figure 3. Les éléments utilisés pour amplifier le son d'une guitare électrique



La figure 3 montre les différents éléments permettant d'amplifier le son de la guitare électrique. On trouve différentes combinaison des trois éléments qui sont présentés à gauche dans le schéma et qui peuvent être soit séparés, soit regroupés ensemble dans ce qu'on appelle un combo. On trouve le préamplificateur, dont la fonction est de récupérer le signal de la guitare et d'y apporter un certain nombre de changements au niveau du timbre. Il va fournir un signal qui va être envoyé dans ce qu'on appelle un amplificateur de puissance. Celui-ci apporte aussi des modifications sur le timbre et sur les caractéristiques du son, mais sa fonction principale est d'amplifier le son qui vient du préamplificateur pour pouvoir ensuite attaquer l'enceinte, qui va émettre le son dans les oreilles du musicien, du public, dans un microphone pour faire des prises de son, etc.

Si on veut faire la simulation d'un amplificateur guitare, il faut donc simuler tous les éléments du schéma. De plus, l'enceinte présentée dans le schéma n'est pas simplement une enceinte de sonorisation avec une réponse en fréquence plate. On peut la considérer grossièrement comme un système qui filtre passe-bas à 10 kHz, et qui participe à la « signature sonore » caractéristique du son en provenance des amplificateurs guitare. Ce son provient également des microphones utilisés pour la prise de son, et que nous avons l'habitude d'entendre sur des enregistrements, tels que le Shure SM57, ou le Sennheiser MD421.

Figure 4. Le simulateur de prise de son d'amplificateur guitare Torpedo VB 101



C'est pourquoi l'entreprise montpellieraine Two Notes a réalisé une machine qui s'appelle le Torpedo (cf.

figure 4) qui permet de simuler la section enceinte + microphone. Le Torpedo est utilisé en aval d'une tête d'amplificateur réel, et permet de récupérer le son qu'on obtiendrait en studio avec cet amplificateur, et une combinaison d'enceintes et de microphones au choix, dont on peut régler la position. Ce simulateur de prise de son d'amplificateur guitare peut être utilisé pour faire de l'enregistrement, mais aussi pour faire des concerts avec sa vraie tête d'amplificateur.

Chaque fois qu'on veut faire des comparaisons entre l'original et la simulation, on est obligés de considérer la totalité de ces éléments. De la même façon, si on veut comparer le son d'un vrai piano avec celui d'une simulation de piano, c'est compliqué puisqu'on va avoir le son qui va sortir des enceintes de sonorisation sur la simulation d'un côté, alors que le vrai, s'il s'agit d'un piano à queue, va envoyer du son dans toutes les directions, en fonction de la salle. Il faut donc toujours avoir à l'esprit qu'on simule un enregistrement d'un élément et pas juste l'élément tout seul, sauf si on fait vraiment quelque chose pour que ce soit le cas.

Le terme « signature sonore » est intéressant parce qu'on peut l'associer aux amplificateurs guitare de manière générale. Ce que nous appelons « signature sonore », c'est l'ensemble des caractéristiques sonores qui sont associées avec un circuit électronique. Cela pourrait être par exemple sur un amplificateur, un seul canal avec certains réglages, ce qui va donc définir un timbre, un comportement en fréquence, une répartition d'harmoniques, des transitoires etc.

On peut trouver différentes classes de signatures sonores qui permettent de définir avec des adjectifs et des termes connus des guitaristes les différents types de sons qu'on retrouve le plus souvent avec les amplificateurs guitare. Souvent, les premiers adjectifs qui reviennent concernent le niveau de saturation, avec par exemple des sons clairs, des sons *crunch* avec un tout petit peu de saturation, ou alors des sons distordus, des sons *fuzz*, etc. De manière grossière, c'est la différence qu'il peut y avoir sur le son de la guitare entre le jazz et le heavy metal. Cela reste de la guitare électrique, c'est toujours joué de la même façon, avec des amplificateurs, des micros, mais on a vraiment des types de sons qui sont extrêmement différents dans un cas ou dans l'autre.

Il y a aussi des classes de signature sonore qui vont dépendre de l'histoire des amplificateurs guitare. Il y a ainsi des sons de référence, des modèles de référence ou des marques particulières. Souvent, pour les sons saturés par exemple, on peut dire qu'on va préférer avoir un son de type Marshall, qui va nous rappeler les sons qu'on trouve sur les albums d'AC/DC par exemple ou des sons Mesa Boogie qui correspondront un petit peu plus à des sons de type métal. Les amplificateurs Fender ou Vox, seraient surtout utilisés pour certains types de sons clairs.

Après, on peut trouver tout un tas d'adjectifs : des sons clairs brillants, des sons saturés vintage ou modernes, des sons compressés ou le fameux son froid ou son chaud. On a également des classes de signatures sonores qui dépendent du style musical, parce que selon le style (heavy metal, rock, jazz, funk, reggae/dub...), on ne va pas trouver du tout le même type de son, avec les mêmes effets.

1. 1. Historique des amplificateurs guitare

Les premiers amplificateurs guitare, qu'on peut encore aujourd'hui trouver dans le commerce, dataient des années cinquante.

Celui dont on entend le plus souvent parler parmi les premiers amplificateurs, c'est le fameux Fender Bassman qui, comme son nom l'indique, était plutôt destiné initialement à la basse, mais les guitaristes, en l'utilisant, ont trouvé que cela sonnait plutôt bien, et on a commencé à le vendre plutôt aux guitaristes. Ce qui est amusant aussi, c'est qu'il y a eu énormément de marques qui ont commencé vraiment à exister en réparant d'abord des amplificateurs et ensuite en copiant des schémas d'amplificateurs et en mettant leur nom dessus. Par exemple, les tout premiers Marshall, y compris le JTM45 de la figure 5, sont plus ou moins des copier-coller du Fender Bassman. Au fur et à mesure, les fabricants ont commencé à ajouter leurs petites touches et à créer un son plus personnel qui correspond aujourd'hui à l'image (sonore) de leur marque.

Figure 5. Quelques amplificateurs guitare emblématiques



Le Fender Bassman et le Vox AC30 sont plutôt destinés à faire des sons clairs et on les retrouve sur à peu près tous les albums de rock de l'époque. Avec le Marshall JTM45, les guitaristes ont commencé à se rendre compte que si on poussait très fort l'amplificateur, il y a un petit peu de distorsion qui commence à se rajouter sur le son. Comme ça leur plaisait, les constructeurs ont commencé à rajouter de plus en plus de distorsion sur les amplificateurs, de sorte qu'on puisse commencer à la faire apparaître avec des niveaux de volume normaux. Par exemple, dans les années 1980, il y a eu une grande évolution sur les amplificateurs guitare, qui a consisté à mettre un bouton de volume entre la partie préamplificateur et l'amplificateur de puissance. Cela permettait de régler le niveau de distorsion, mais sans que cela influence le niveau de puissance qui arrivait dans l'enceinte. Cela permettait d'avoir un peu de saturation mais sans avoir un niveau de volume monstrueux. Ces amplificateurs-là délivraient une puissance minimum de 50 watts. Quand on met le volume d'un 50 watts à 5, sur un maximum de 10, on a déjà un volume insupportable pour un auditoire d'une salle de conférence par exemple. Maintenant, on trouve des amplificateurs qui peuvent aller jusqu'à 100 watts ou 150 watts, voire 300 watts pour la basse. On trouve des musiciens qui construisent des murs d'amplificateurs et d'enceintes sur des scènes. On pense par exemple aux groupes The Who ou Manowar qui se vantaient d'être les plus forts en volume sonore dans leurs concerts !

Ce qui est amusant quand on regarde l'évolution des amplificateurs guitare des années 1950 jusqu'à aujourd'hui, c'est qu'en fait l'évolution principale a consisté à ajouter de plus en plus de contrôles et surtout de plus en plus de distorsion. Les amplificateurs Mesa Boogie Dual Rectifier ou Soldano SLO 100 par exemple (cf. figure 6) ont marqué leur époque avec leurs sons saturés, qu'on entend sur beaucoup d'albums des années 90-2000. Avant d'avoir des amplificateurs modernes comme celui-ci, les musiciens poussaient les amplificateurs très forts et utilisaient également des pédales. Ensuite les constructeurs ont décidé de mettre un circuit de distorsion équivalent à celui des pédales à l'intérieur des amplificateurs...

Figure 6. Amplificateurs récents



Enfin, un amplificateur guitare, c'est aussi un circuit électronique analogique, constitué d'un certain nombre de composants qui vont participer chacun au caractère de l'amplificateur. On a plusieurs types de composants : des composants linéaires passifs (résistances, condensateurs, inductances), des semi-conducteurs, des transformateurs, et les fameux tubes à vide (diodes, triodes, tétrodes, pentodes). Ces derniers auraient dû devenir obsolètes dans les années 1960 avec l'avènement du transistor, mais aujourd'hui les musiciens continuent à s'en servir. Il y a un regain d'intérêt pour ces composants-là pour faire de la musique avec, parce qu'ils ont un certain nombre de caractéristiques qui font qu'ils sont intéressants pour la musique. On s'en sert donc pour les amplificateurs guitare, on s'en sert même parfois pour des synthétiseurs et on s'en sert pour les amplificateurs haute-fidélité. Il semblerait d'ailleurs qu'il n'y ait plus que des musiciens, des ingénieurs du son, ou des mélomanes, qui se servent encore des tubes aujourd'hui.

Figure 7. Composants électroniques présents dans les amplificateurs guitare



1. 2. Tubes versus Transistors

Souvent, on considère que ce sont les tubes qui sont les composants les plus intéressants, les plus importants dans le son de l'amplificateur guitare et qu'ils sont responsables de leur timbre particulier et de leur succès, alors que les amplificateurs à transistors se font de plus en plus rares, notamment dans le haut de gamme. Est-ce vraiment la lampe qui fait que l'amplificateur est haut-de-gamme, qui fait qu'il sonne comme il sonne aujourd'hui ? Il est vrai qu'il y a un certain nombre d'attributs qui font qu'on peut trouver des différences entre les amplificateurs à lampe et les amplificateurs à transistors. Ces attributs peuvent être des impédances en sortie ou d'autres paramètres (alimentation, répartition des harmoniques pairs ou impairs) sensés contribuer à donner un son « plus chaud » pour les lampes. En fait la vérité est ailleurs. Cela n'a pas vraiment de sens de comparer le tube lui-même avec le transistor. Ce sont des composants qui n'ont rien à voir. Ils peuvent avoir la même fonction dans un étage électronique donné, à savoir qu'on les utilise pour amplifier du signal, mais en fait ce qu'il faut vraiment comparer, c'est les étages électroniques eux-mêmes qui utilisent ces composants. Donc pour répondre à cette question précise, ce qu'il faut faire c'est comparer le schéma électronique qui utilise la lampe et le schéma électronique qui utilise le transistor. En faisant cela, on se rend compte qu'il est tout à fait possible d'avoir dans un amplificateur à transistor le même type de son que celui qu'on aurait avec un amplificateur guitare à lampe, notamment en utilisant le fameux transistor JFET.

Pourquoi tout le monde ne le fait-il pas, et pourquoi tout le monde continue-t-il à vanter les mérites des amplificateurs à lampe ? C'est surtout du côté de la guitare qu'on dit ça d'ailleurs, moins du côté de la basse. La vraie réponse à cela, ce sont des critères plutôt bas niveau. S'il est possible de les faire sonner pareil, cela reste compliqué, parce qu'un amplificateur guitare à lampe, c'est toujours exactement les mêmes circuits électroniques qui sont relativement simples quand on connaît un peu le domaine. N'importe qui peut, du jour au lendemain, s'improviser constructeur d'amplificateurs à lampes, juste en copiant des schémas électroniques connus d'amplificateurs à lampe.

Faire la même chose avec des transistors est beaucoup plus compliqué. Mais surtout, et c'est le principal argument, c'est très difficile à vendre. Même si on fait un excellent amplificateur guitare à transistors, qui a le même son qu'un amplificateur à lampe donné, dans l'inconscient collectif, les amplificateurs à transistor c'est moins bien, et le constructeur ne le vendra pas au prix de l'amplificateur à lampe équivalent. Cela est notamment dû au fait que, dans les années 1990, quand on voulait se mettre à la guitare et qu'on achetait les premiers prix en amplificateur guitare, c'était souvent des amplificateurs à transistors, et de très mauvais amplificateurs à transistor. Avec cette seule référence, les amplificateurs à transistors ont acquis une très mauvaise réputation, même s'il existe sur le marché des amplificateurs à transistors qui marchent bien et sont même très utilisés, notamment chez Peavey ou avec le fameux Roland Jazz Chorus qu'on entend dans de nombreux albums sans s'en rendre compte et qui est uniquement à transistors.

Dans cette étude, on s'intéresse surtout aux amplificateurs à lampe parce que c'est ce que les guitaristes cherchent à avoir au niveau son dans le haut-de-gamme.

Dans les amplificateurs guitare, on trouve en général trois types différents de lampes, les triodes, avec trois connecteurs, qu'on trouve en général dans les préamplificateurs, les pentodes et tétrodes à faisceaux dirigés qu'on trouve dans les amplificateurs de puissance et des diodes qu'on trouve dans la section alimentation, l'alimentation dans les amplificateurs guitare ayant également une importance sur le son. Chacune de ces lampes a des fonctions qui sont différentes.

Les triodes sont considérées comme des amplificateurs de tension. On leur applique un signal avec une tension donnée et en sortie on a à peu près le même signal, mais avec une tension supérieure. Si on

attaque fort en entrée la triode, on va obtenir un signal avec une saturation qui va y être ajoutée et qui va être caractéristique de la triode. C'est un effet qu'on va chercher à obtenir dans les amplificateurs guitare saturés en général, car ce sont surtout les triodes qui vont créer ce son qu'on a l'habitude d'entendre dans les amplificateurs guitare.

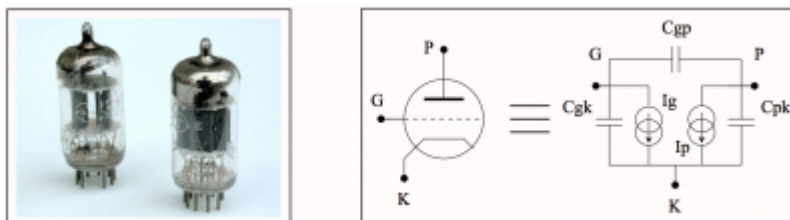
Ensuite les pentodes vont prendre un signal avec une puissance donnée et vont rajouter de la puissance par-dessus, donc on a un amplificateur de puissance. Le but de l'amplificateur de puissance est d'envoyer un signal qui va avoir une puissance suffisante pour être émis par l'enceinte en sortie de la chaîne. Même si ce sont surtout les triodes qui vont saturer et créer un maximum d'harmoniques sur le chemin du signal, les pentodes et les tétrodes vont aussi avoir un peu cette fonction et permettre un peu de compresser le signal, comme on ferait avec une compression dynamique, et de rajouter quelques harmoniques supplémentaires sur le son.

Enfin, on peut aussi trouver des diodes à vide dans les alimentations qui permettent en gros de transformer le signal AC qui vient de la prise électrique, avec une fréquence de 50 ou 60 Hz à une certaine tension, en un signal DC continu qui va pouvoir servir à alimenter toutes les parties du circuit électronique de l'amplificateur guitare.

1. 3. Le comportement de la lampe triode

La triode comme son nom l'indique comporte trois connexions (cf. figure 8) : la cathode (K), une grille (G) et une anode (P). Un flux d'électron continu va être émis entre la cathode et l'anode et contrôlé par la grille qui agit comme un robinet qui peut réguler un circuit d'eau. Souvent, on modélise ces lampes comme étant des sources de courant, qui envoient du courant entre la cathode et l'anode mais aussi un courant parasite sur la grille, qu'on essaye le plus souvent d'éviter. On a également des capacités parasites entre chacune des connexions. En fait, quand on regarde les caractéristiques d'une lampe avec leur *datasheet*, on obtient des informations qui correspondent à cette source de courant et aux valeurs de ces capacités parasites (cf. figure 8).

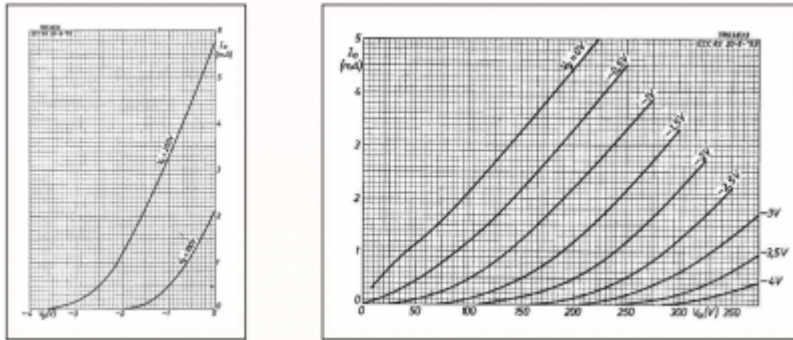
Figure 8. La lampe triode



Il existe différents types de modèles de triodes, la plus connue étant la 12AX7 qui est en gros la lampe qu'on va trouver dans tous les amplificateurs guitare. On va en trouver trois ou quatre dans un amplificateur guitare donné. Si vous avez besoin de construire un amplificateur guitare à lampe, vous pouvez n'acheter que des 12AX7 et vous pourrez construire votre amplificateur à lampe avec.

Lorsqu'on veut construire un amplificateur à lampe, on peut utiliser les courbes de la figure 9 pour arriver à obtenir le comportement qu'on veut dans chacun des étages électroniques de l'amplificateur guitare, c'est-à-dire régler la polarisation. On peut imaginer ainsi quel est le comportement d'un étage électronique à triode. La lampe est considérée comme étant deux sources de courant, le courant d'anode et un courant parasite de grille. Lorsqu'on regarde les courbes indiquées dans les *datasheets*, on voit toujours uniquement le courant d'anode, comme s'il était le seul à compter. En fait, les deux ont leur importance. Il nous a donc fallu mesurer le second pour tester son rôle et son importance.

Figure 9. Courant émis (I_a) en fonction de la tension appliquée à l'anode (V_{ak}) et la tension à la grille (V_{gk})



2. Simulation d'amplificateur guitare

2. 1. L'état de l'art en simulation

Figure 10. Différents systèmes audio analogiques



La figure 10 montre différents effets, différents systèmes audio analogiques qui servent à traiter le son. On peut les classer de différentes manières en fonction de critères indiqués dans le tableau 1. On peut par exemple parler d'effets statiques, lorsque si on leur envoie une entrée donnée, ils fournissent toujours exactement la même sortie, ou d'effets dynamiques qui vont donner des sorties différentes en fonction des états précédents à l'intérieur du système. Par exemple, si on envoie une sinusoïde d'une certaine fréquence dans un système statique, en sortie on va avoir la même sinusoïde, avec la même fréquence, mais avec un facteur de gain qui va changer ou une saturation qui va apparaître sur les extrémités de la sinusoïde. Si on fait cela avec un système dynamique, en envoyant la même sinusoïde dans le système, on aura par exemple en sortie une fois un triangle et une autre fois un carré.

On peut avoir une classification entre les effets qui sont linéaires ou pas. Un effet est linéaire, lorsque si on multiplie l'entrée par un facteur A, la sortie est multipliée également par ce facteur. Un système non linéaire est un système dans lequel par exemple de la saturation va apparaître ou des harmoniques vont être ajoutés.

On a aussi des effets qui varient ou non dans le temps (chorus, phasing...) ou encore des effets audio analogiques qui vont avoir une seule entrée et une seule sortie et d'autres avec plusieurs entrées et sorties. Par exemple la pédale wah wah va être dépendante du signal qu'on lui envoie mais aussi de ce qu'on est en train de faire avec le pédalier. On peut dire que c'est un système avec deux entrées, le son de la guitare et la position de la pédale, et une seule sortie.

Tableau 1. Classification des différents types d'effets

Statique	Dynamique
Gain, saturation de diode	Filtres, amplificateurs guitare
Linéaire	Non linéaire

Filtres, lignes à retard...	Saturation, amplificateurs guitare
Invariant dans le temps	Variant dans le temps
Filtres, enceintes	Chorus, tremolo, phasing, amplificateurs guitare
Entrée/sortie unique	Multiplés entrées/sorties
Filtres	Pédales wah-wah, amplificateurs guitare

Chacune de ces classifications implique, lorsque l'on veut simuler un de ses éléments, qu'on se serve de techniques complètement différentes. Dans le tableau 1, on peut remarquer que l'amplificateur guitare est toujours dans la partie la plus compliquée...

Il y a aussi différentes classes de techniques de simulation, qui s'appliquent à chaque fois à chaque type d'effets et qui ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients.

Dans un premier temps, on a toutes les techniques dites de traitement du signal standard, où on manipule des fonctions de transfert, des filtres, qu'ils soient en version continue ou en version numérique. On utilise des blocs qui sont des fonctions de traitement de signal de base et on les cascade les uns à la suite des autres. On peut éventuellement mettre des contre-réactions. Si on veut faire de la simulation de systèmes physiques, c'est un peu compliqué de trouver les bonnes combinaisons de filtres, de fonctions de transfert, pour obtenir le résultat attendu. Néanmoins, il y a quand même des simulateurs d'amplificateurs sur le marché, les premiers surtout, qui utilisaient des techniques de ce type pour faire de la simulation. Au lieu d'utiliser vraiment de la modélisation physique et de regarder ce qui se passe au niveau équations dans les circuits électroniques et au niveau des composants, on faisait plus ou moins approximativement quelque chose qui ressemblait à un amplificateur guitare en mettant de la saturation à un endroit, un filtre à un autre, et à la fin on obtenait quelque chose qui pouvait éventuellement être utilisé comme une simulation d'amplificateur guitare. Du coup, on était assez loin de pouvoir modéliser ou simuler les appareils originaux juste avec ce genre de techniques...

Ensuite, on a des techniques de modélisation de type « boîte noire ». Dans ce cas, on ne va plus s'intéresser au comportement du circuit, mais on va lui envoyer des entrées, récupérer des sorties, et en étudiant leurs relations avec les entrées, on va être capables de deviner puis de simuler le comportement du circuit électronique. C'est quelque chose qui est très utilisé pour tout ce qui est effets ou systèmes linéaires, c'est-à-dire ceux qui ne rajoutent pas d'harmoniques ou qui ne créent pas de saturation. Pour faire ce genre de simulation-là, on va utiliser des techniques de convolution. On va récupérer la réponse impulsionnelle d'un système et on va pouvoir simuler le système en l'appliquant directement sur le signal qu'on veut traiter.

En troisième lieu, on a la modélisation physique, qui nous préoccupe plus particulièrement dans nos activités. Pour la simulation d'amplificateurs guitare, on utilise le meilleur de tous ces mondes-là. Selon nos besoins, on va utiliser des techniques qui empruntent un peu au traitement du signal, un peu à la boîte noire et un peu à la modélisation physique.

La modélisation physique, c'est le fait de regarder l'électronique, composant par composant, de mettre en équation tout ce qui se passe à l'intérieur, c'est-à-dire mettre en équation les composants eux-mêmes, de voir comment on modélise une résistance, une lampe, un transformateur, puis de mettre en équations les relations entre ces composants, c'est-à-dire comment une lampe va interagir avec une résistance, un condensateur etc.

Ces équations peuvent être obtenues automatiquement à l'aide d'une description du circuit, ou calculées à la main. On peut alors par exemple les mettre sous la forme d'une *représentation d'états étendue*, ou de *Wave Digital Filters*, ce qui va nous donner accès à un panel de techniques pour résoudre ces équations en temps réel, pour un signal d'entrée virtuel et fourni aux simulations, tel que le signal provenant d'une guitare électrique qui a été numérisé.

Ces équations sont dépendantes donc des interactions entre les composants mais aussi des modèles des composants eux-mêmes. Dans le cas de la triode, le réalisme étant un objectif important à atteindre avec

nos simulations, il n'est pas question de se contenter d'un modèle trop simple, ou des données fournies par les *datasheets* qui sont incomplètes. C'est pourquoi des mesures de 12AX7s ont été réalisées dans le cadre de ce travail, pour estimer de manière très précise le comportement des lampes. Cela permet de retrouver une partie des courbes vues dans le *datasheet* plus haut (figure 12), mais aussi des données supplémentaires sur le courant de grille (figure 13).

Figure 11. L'électronique d'un appareil de mesure de 12AX7



Figure 12. Courant mesuré émis à l'anode en fonction des tensions appliquées

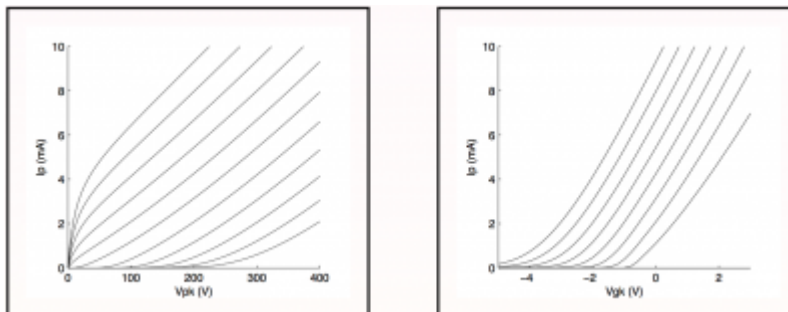
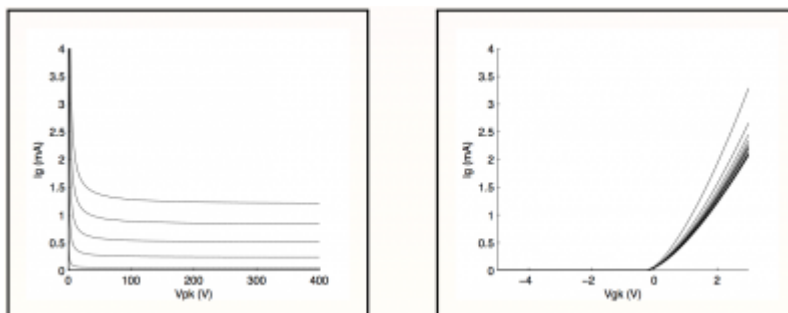


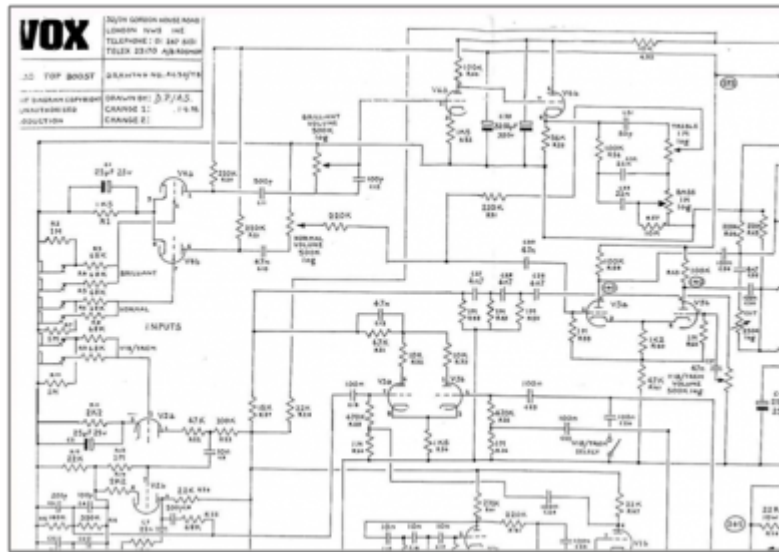
Figure 13. Courant émis à la grille mesuré en fonction des tensions appliquées



Une fois les équations obtenues et les modèles de composants affinés à l'aide de mesures, on peut utiliser des techniques de discrétisation et de résolution d'équations non linéaires, telles que les méthodes de Runge-Kutta ou de Newton-Raphson, pour résoudre les équations en temps-réel, et faire tourner un simulateur de circuit électronique. Un tel système fonctionne bien pour des circuits électroniques de petite taille, mais est plus compliqué à mettre en oeuvre pour des circuits plus complexes. La figure suivante

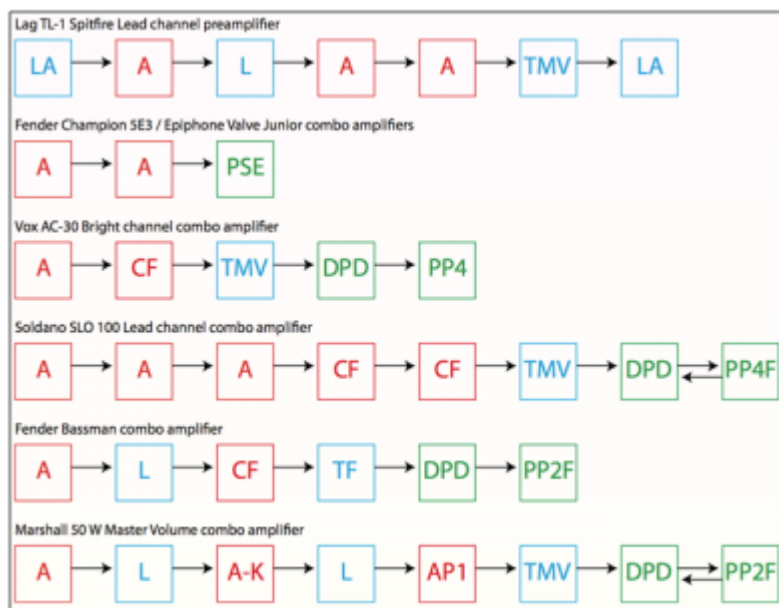
montre le schéma du Vox AC30.

Figure 14. Extrait du schéma du VOX-AC30



En général, on va décomposer l'amplificateur en somme d'étages élémentaires, positionnés en série. L'amplificateur guitare a cette particularité, qui est extrêmement intéressante pour nous, de pouvoir être décomposé en une somme d'étages élémentaires. Cette décomposition est à la fois intéressante pour l'étude d'un amplificateur à partir de son schéma électronique, mais également pour sa simulation, qui simplifie la formulation des équations de l'amplificateur complet. La figure 15 montre quelques exemples de décompositions d'architectures d'amplificateurs en étages élémentaires, tandis que les figures 16 et 17 donnent quelques exemples d'étages élémentaires.

Figure 15. Étages élémentaires pour plusieurs modèles d'amplificateurs



Les étages élémentaires sont linéaires (TF, TMV, LA, L : en bleu), la préamplification (A, CF, AP : en rouge) et l'amplification de puissance (PSE, PP2, PP4, DPD : en vert)

Figure 16. Quelques étages élémentaires (non-linéaires)

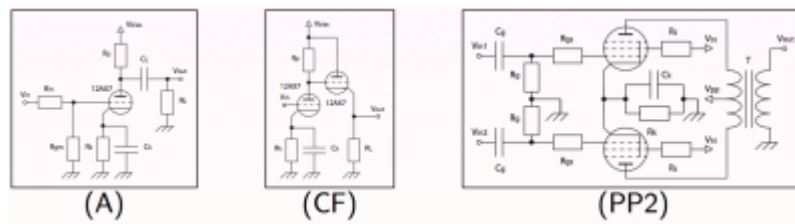
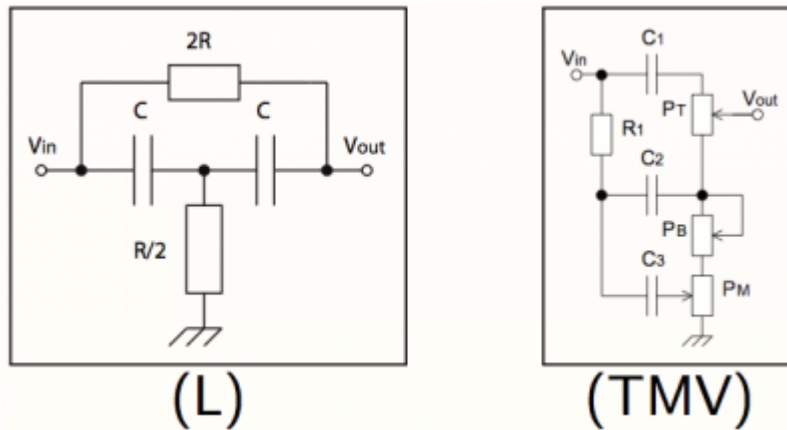


Figure 17. Quelques étages élémentaires (filtres linéaires)



Néanmoins, la jonction entre des étages élémentaires simulés consécutifs, ou couplage, doit faire l'objet d'une attention particulière. En effet, pour que la simulation de l'amplificateur soit réaliste, il ne suffit pas de mettre en entrée d'un étage la tension de sortie du précédent, l'interaction entre les deux étant bidirectionnelle. Nous devons donc utiliser un certain nombre de techniques pour modéliser le comportement des étages mais aussi celui de leur couplage, tout en gardant les avantages de la décomposition en étages élémentaires.

3. Résultats

Comment faire ensuite pour savoir si le résultat qu'on a obtenu est intéressant ou pas ? Comment juger de la qualité d'une simulation ? Une première approche est de comparer le réel avec le simulé. Si on a à disposition l'amplificateur qu'on voulait simuler, on peut les mettre côte à côte, envoyer un signal de guitare électrique identique dans les deux et comparer les sons qu'on obtient dans les deux cas, à l'oreille avec des tests ABX ou bien avec des procédures perceptives plus poussées.

Ensuite, en faisant l'étude de l'amplificateur guitare lui-même, on est capable de faire une liste de phénomènes qui sont vraiment caractéristiques de l'amplificateur guitare et de cocher ceux qu'on arrive à reproduire et ceux qui demandent une modélisation plus poussée. Une partie de notre travail en modélisation consiste à utiliser les modèles les plus complexes dans un simulateur SPICE par exemple, et de voir lesquels peuvent être retirés ou lesquels doivent être préservés pour qu'un modèle simplifié soit aussi proche que possible du modèle complet.

Il y a un élément que nous trouvons extrêmement important aussi, c'est le plaisir d'utilisation. Quelqu'un qui achète un véritable amplificateur guitare avec des lampes, qui branche sa guitare dedans et qui est branché à une enceinte, ce qu'il s'attend à faire quand il commence à jouer avec, c'est trouver du plaisir, s'amuser, trouver le son qui lui plaît et éprouver une certaine satisfaction. Ce plaisir peut être retrouvé avec un simulateur si la latence des opérations numériques est suffisamment faible (inférieure à 5 ms) et si, de manière générale, le feedback renvoyé au musicien de ce qu'il est en train de jouer le pousse à vouloir continuer. Après, il y a tout un tas d'éléments qui peuvent améliorer cette sensation de plaisir comme l'interface graphique du simulateur, l'expérience utilisateur associée, ou juste le fait d'ajouter

quelques effets supplémentaires tels que de la réverbération, de l'égalisation ou des effets stéréo.

Conclusion

Dans la simulation des amplificateurs guitare, en *live* ou en studio, on peut se rendre compte qu'on est de plus en plus proches des originaux, c'est-à-dire qu'il y a vraiment un monde entre les premières simulations d'amplificateurs guitare qu'on avait au début des années 2000 et celles qu'on a aujourd'hui. On est vraiment très proches des originaux, et sur des enregistrements notamment, c'est très difficile de distinguer le vrai du faux. La liste ci-dessous donne des exemples de simulations d'amplificateurs guitare que je trouve assez intéressants :

- IK Multimedia Amplitube 3,
- Axe FX II et Kemper Profiling Amp en hardware,
- LePou, Ignite Amps, TSE plug-ins (freeware),
- d'autres sur GuitarAmpModeling.com.

Je pense que les améliorations à venir dans les prochaines simulations d'amplificateurs guitare vont porter un peu sur le réalisme, mais surtout sur le plaisir de jeu et sur l'expérience utilisateur de manière générale.

Pour citer ce document:

Ivan Cohen, « Simulation d'amplificateurs de guitare pour le studio », *RFIM* [En ligne], Numéros, n° 4 - automne 2014, Mis à jour le 27/10/2014

URL: <http://revues.mshparisnord.org/rfim/index.php?id=332>

Cet article est mis à disposition sous [contrat Creative Commons](#)