

LA SYNTHÈSE ANALOGIQUE

Présentation

Ce thème revient souvent dans les sujets abordés sur AudioKeys, et il m'a semblé qu'un didacticiel s'imposait pour que ceux qui n'ont qu'une vague idée de la synthèse analogique puissent mieux participer aux discussions.

Le présent document est donc un didacticiel dont le but est de faire le tour de la question, de la définition des éléments de base jusqu'à l'application qui en est faite, afin que les néophytes en la matière connaissent les bases et sachent s'en servir. En ce qui concerne les exemples, vous pourrez utiliser un instrument VST gratuit (voir plus bas) qui vous permettra de visualiser les exemples fournis et de vous entraîner à recréer d'autres sons. Ainsi, tout le monde pourra suivre.

La terminologie utilisée pour les différentes parties d'un synthétiseur sera en anglais (termes en italique) puisque ces derniers ont quasiment tous une graphie en anglais (OK, sauf les Polyvoks et autres synthétiseurs russes) et que certains termes n'ont pas de traduction officielle (par exemple, le terme VCO est rencontré en tant que Oscillateur Commandée par Tension ou Oscillateur à Fréquence Commandée ou encore Oscillateur à Fréquence Variable). Néanmoins, tous les termes seront définis et une traduction sera fournie à titre de référence.

L'intérêt d'un topo sur la synthèse analogique est que, bien souvent, les synthétiseurs numériques se contentent de transposer les techniques mises en place par les synthétiseurs analogiques. De plus, la mode est à la modélisation numérique des synthétiseurs analogiques. Enfin, on ne peut comprendre certaines synthèses compliquées comme la FM (modulation de fréquence) que si l'on connaît déjà les bases de la synthèse analogique.

Remarque : de temps à autres, il y aura un encart appelé « le coin du geek » dont le but est de fournir des informations qui ne sont pas essentielles à l'objet de ce didacticiel mais dont la lecture peut intéresser certains à titre anecdotique.

Outil pour la partie pratique : SoundSchool Analog (SSA) de chez Native Instruments.

Développé avec Reaktor, et surtout gratuit pour tous, il permettra d'éclaircir certains points par des exemples concrets. De plus, il y a une version PC et une version Mac.

Allez sur le site :

www.native-instruments.com/wizoosoundschool.info

puis cliquez sur « Download » et utiliser l'identifiant et le mot de passe suivants :

username : synthprog@wizoo.de

password : soundschool

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	4
Quelques définitions	4
Présentation de la synthèse analogique.....	6
COMPOSANTES DE LA SYNTHÈSE ANALOGIQUE.....	8
Les oscillateurs.....	8
1 – Définitions	8
a) Cycle (<i>cycle</i>), crête (<i>peak</i>) et amplitude (<i>amplitude ou width</i>)	8
b) Les harmoniques de l'onde	9
2 – Types d'ondes	11
a) <i>Sine waves</i>	11
b) <i>Sawtooth waves</i>	11
c) <i>Square waves</i>	12
d) <i>Triangle waves</i>	13
e) <i>Pulse waves</i>	13
f) Les harmoniques non représentées par l'oscillateur.....	15
g) Les bruits	15
3 – Remarques sur la plage et le réglage des oscillateurs.....	17
a) L'oscillateur détermine le <i>pitch</i>	17
b) L'oscillateur détermine le <i>tuning</i>	18
Les filtres.....	18
1 – Définitions	19
a) Les quatre types de filtres importants.....	19
b) Termes employés et explication	19
c) Un filtre à part, le filtre en peigne.....	23
2 – Applications	24
a) Usage des filtres classiques	24
b) Usage des filtres spéciaux	25
3 – Conclusion.....	26
Le générateur d'enveloppe et l'amplificateur	27
1 – Le générateur d'enveloppe	28
a) Définitions	28
b) Explication des quatre phases	29
c) Enveloppes spéciales	30
d) Conclusion	32
2 – L'amplificateur.....	33
Les modulateurs	33
1 – L'oscillateur à basse fréquence	33
a) Définition du LFO	33
b) Usage du LFO	34
c) Caractère créatif du LFO	35
2 – Autres éléments de modulation.....	36
a) Fonction de glissement, le <i>glide</i>	36
b) Fonction de mélange des signaux, le <i>mixer</i>	37
c) Fonction d'inversion des signaux, l' <i>invert</i>	38
d) Fonction de réduction des signaux, l' <i>envelope follower</i>	39

e) Le modulateur en anneau ou <i>ring modulator</i>	40
Conclusion.....	41
APPLICATIONS DE LA SYNTHÈSE ANALOGIQUE	42

INTRODUCTION

Quelques définitions

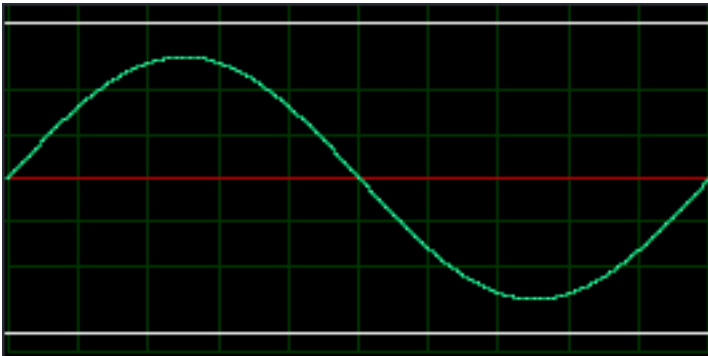
Pour répondre à la question « qu'est-ce que la synthèse analogique ? » et « comment puis-je l'appliquer ? », il faut déjà définir le champ de ce que recouvre le terme synthèse analogique.

En fait, on peut dire que la synthèse analogique, c'est le *processus de génération d'un son à l'aide de circuits électroniques analogiques*. Cette expression recouvre aussi la partie de traitement du son de certaines synthèses numériques. La méthode analogique est éprouvée, relativement simple et elle suit un cheminement logique qui pourra s'appliquer à de nombreuses machines différentes.

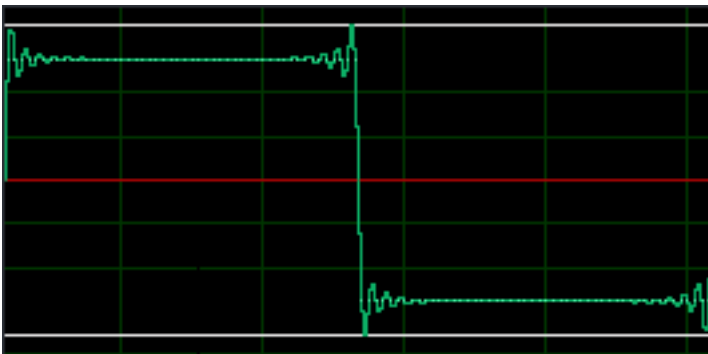
Première explication, pourquoi parler de synthèse analogique ou numérique.

Les synthétiseurs analogiques ont des circuits analogiques qui fonctionnent selon la tension ou *voltage* en anglais. La tension est variable selon qu'elle passe de composant en composant et, dans le cas qui nous intéresse, elle produit une onde, *waveform* en anglais, dont la forme est particulière. Cette onde se répète, c'est-à-dire qu'elle revêt la forme d'une courbe qui part de la valeur 0, prend une série de valeurs positives, repasse par le zéro, prend une série de valeurs négatives, repasse par le zéro et recommence ainsi de suite. Voici quelques exemples d'ondes (*waveforms*) :

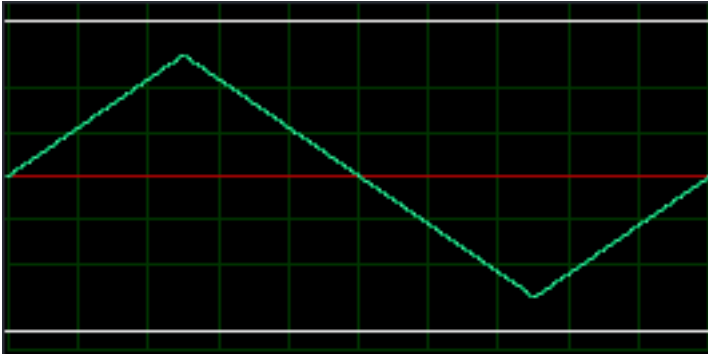
Onde sinusoïdale (*sine*)



Onde carrée (*square*)



Onde en triangle (*triangle*)



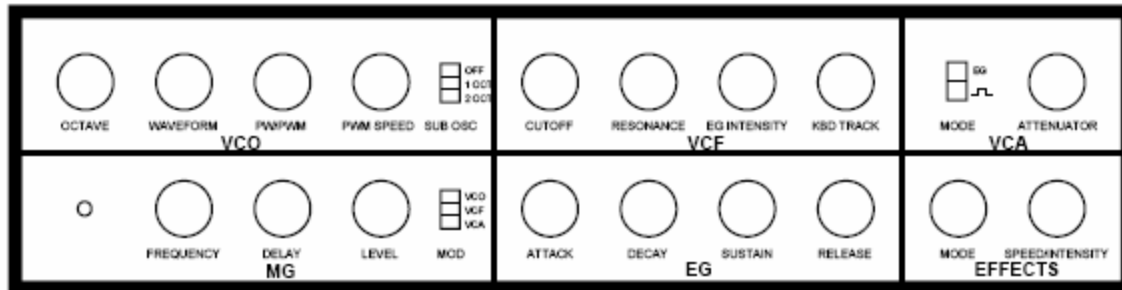
Si vous vous rappelez de vos cours de physique au lycée, vous savez que l'électricité se déplace de plus en plus vite au fur et à mesure que la température augmente. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle certains vieux synthétiseurs ont du mal à conserver la justesse de la hauteur tonale (*pitch*) et c'est également la raison pour laquelle il faut laisser chauffer un synthétiseur analogique avant de procéder à son accordage.

Dans le cas de la synthèse numérique, il n'y a plus ce problème puisqu'on a une série de 0 et de 1 (système binaire) qui représentent les valeurs prises par les ondes analogiques. A priori, c'est un avantage puisque le synthétiseur numérique pourra ainsi maintenir la justesse de ton quelle que soit la température de ses circuits. Ce n'est aussi simple que cela. L'intérêt des synthétiseurs analogiques c'est qu'ils produisent de petites variations que la précision numérique occulte, or c'est cette précision numérique qui rend le son plus froid, et ces petites variations analogiques qui rendent le son plus chaud. D'ailleurs, la tendance actuelle des instruments logiciels qui émulent les synthétiseurs analogiques d'antan est de réintroduire ces variations dans leur émulation afin d'obtenir ce caractère « chaud ». C'est ce que font Arturia, G-Media et les autres.

Deuxièmement, le terme synthèse analogique s'applique aussi bien à un système modulaire comme le Roland System 100 qu'un synthétiseur semi-modulaire comme le Korg PS-3100, qu'un synthétiseur type Roland Jupiter, Oberheim Matrix ou encore Korg Polysix. Quelle est la différence ?

Historiquement, les synthétiseurs sont modulaires. Ils se composent de blocs, tels bloc oscillateur ou bloc filtre, que les utilisateurs doivent relier au moyen de câbles à prise jack afin de créer un son. Avec un synthétiseur modulaire, le fait de relier les différents blocs entre eux se dit *patch* en anglais, d'où le terme de patch pour décrire un son créé avec un synthétiseur. Cela prenait bien sûr du temps, et les musiciens ont pris l'habitude de noter les interconnexions dans un cahier, d'où le terme de *patchsheet*, afin de retrouver tout de suite les sons qu'ils avaient mis du temps à programmer. Les fabricants ont alors commencé à commercialiser des synthétiseurs beaucoup plus portables dont les blocs de génération sonore ont un format fixe et sont entièrement composés de circuits internes câblés (*hardwired*).

Exemple de *patchsheet* pour le Korg Polysix



Enfin, notons que la synthèse analogique est soit additive, soit soustractive. La majorité des synthétiseurs analogiques implémentent une synthèse soustractive. On part dans ce cas d'un son riche en harmoniques et on lui retire des composants. Dans le cas de la synthèse additive, on part de composants sonores simples auxquels on rajoute d'autres composants pour obtenir un son composite. Il faut faire attention à ne pas confondre synthèse soustractive avec la méthode de création d'un son qui consiste à rajouter des éléments pour obtenir le *patch* souhaité.

Présentation de la synthèse analogique

Pour comprendre comment la synthèse analogique fonctionne, il faut tout d'abord comprendre ce qu'est un son. La définition dont nous avons besoin est simple mais cruciale pour comprendre comment créer le son d'un instrument particulier.

Un son est en fait une série de vibrations et la synthèse consiste à recréer ce son en émulant ses composantes. Pour tout son, nous avons trois éléments constitutifs appelés hauteur tonale (*pitch*), tonalité (*tone*) et sonie ou sonance, ou encore intensité (*loudness*). *Pitch* est le terme musical donné à ce qu'est la fréquence du son, laquelle est mesurée en Herz (Hz) ou cycles par seconde par l'électronique des synthétiseurs. Ainsi le do de milieu de gamme ou C3 en anglais équivaut à 261,63 Hz alors que le do deux octaves au dessus, ou C5 en anglais, sera 1108,7 Hz. La tonalité ou *tone* en anglais, que l'on peut aussi retrouver dans les manuels sous le nom de timbre (*timbre*) ou couleur (*color*), c'est la caractéristique d'un son qui nous permet de le distinguer d'un autre son qui aurait la même hauteur tonale et le même volume, ce qui explique pourquoi une trompette ne ressemble pas à une flûte lorsque l'on joue la même note. Cette différence est due au contenu harmonique du son. Enfin, la sonie, ou *loudness* en anglais, est l'intensité ou le volume d'un son, ou encore, son amplitude. Cette caractéristique se retrouve en synthèse analogique par l'examen de comment l'amplitude d'un son se développe sur une durée temporelle, comment le son démarre et comment il s'arrête. Lorsque l'on examine un son à l'aide d'un oscilloscope, on s'aperçoit que seuls deux des trois caractéristiques du son sont visibles, à savoir la fréquence et l'amplitude. Le contenu harmonique du son n'est pas quelque chose que l'on peut deviner en examinant la forme de l'onde.

Une fois le son de base décrypté, et nous y reviendrons plus tard, il faut remarquer que la création d'un son en synthèse analogique passe toujours par les mêmes étapes, trois étapes obligatoires et une étape optionnelle. Avec tous les synthétiseurs analogiques, nous avons le schéma suivant :

Génération de son -> Modélisation de l'onde -> Modélisation de la sonie -> Modulation

En anglais :

Tone generation -> Wave shapping -> Volume shapping -> Modulation

Ce dernier élément, en option, signifie que le son, une fois créé, peut être modifié par voie de filtre, de vibrato, etc. Pour les trois premières étapes, la synthèse analogique suit toujours le même modèle. La *tone generation* s'effectue grâce aux oscillateurs, le *wave shapping* grâce aux filtres, et le *volume shapping* à l'aide des générateurs d'enveloppe (*envelop generators*). Parlons rapidement de ces quatre étapes avant de passer à l'examen de l'oscillateur.

Nous savons que l'oscillateur est l'élément qui génère l'onde (le son de base). C'est donc cet élément qui fournit la matière brute à notre synthèse et que nous suivrons à travers son traitement par les circuits du synthétiseur. L'oscillateur détermine la fréquence qui est modifiée par les circuits mais également par notre jeu au clavier.

Le filtre est responsable du *wave shapping* et, comme son nom l'indique, effectue le filtrage de certaines parties de l'onde afin de changer la tonalité. Il y a plusieurs types de filtres dont le rôle est de traiter différentes fréquences de l'onde. Il est donc possible grâce à un emploi judicieux des filtres de créer différents types de son à partir de la même onde de base. Les filtres sont également appliqués de façon dynamique pour modifier le contenu harmonique du son en temps réel, ce que l'on appelle balayage (*sweep*).

Le modelage de l'onde s'effectue grâce à un générateur d'enveloppe. Ce dernier permet de définir la vitesse à laquelle le son atteint son volume maximum et la vitesse à laquelle il disparaît. L'enveloppe est un des aspects les plus importants du traitement du son pour obtenir son caractère authentique. C'est le système mis en œuvre par la partie ADSR du synthétiseur que nous aurons l'occasion d'examiner en détail.

Enfin, puisque les sons ne sont jamais statiques, la modulation permet de faire varier la tonalité d'un son durant sa production. Plusieurs types de modulation sont possibles. Cela peut passer par une lente variation de la fréquence pour produire un vibrato ou encore une variation de filtre pour un effet d'augmentation ou de diminution du volume, ou encore l'ajout d'un *ring modulator*.

Voilà pour la théorie de base. Il est temps de passer à l'examen détaillé des différentes parties de la synthèse analogique.

COMPOSANTES DE LA SYNTHÈSE ANALOGIQUE

Les oscillateurs

Pour ceux qui démarrent à zéro, prenez le temps de bien comprendre cette partie du didacticiel. C'est en effet l'oscillateur qui détermine le type de son que vous obtiendrez au final.

Le dictionnaire nous dit qu'un oscillateur, c'est un « appareil qui produit des oscillations mécaniques, optiques, acoustiques ou, le plus souvent, électriques, c'est-à-dire des courants alternatifs. » et qui « sert à produire l'oscillation nécessaire au changement de fréquence ».

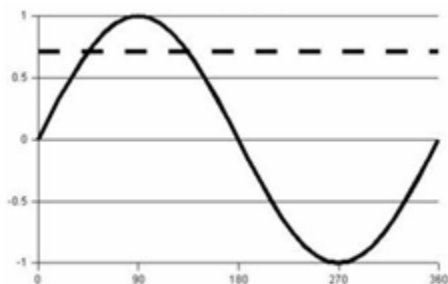
Les oscillateurs peuvent varier d'un synthétiseur à l'autre. Néanmoins, on retrouve toujours les trois oscillateurs de base que sont les *sine* (sinusoïdal), *sawtooth* (dent de scie) et *square* (carré). En sus de ces trois oscillateurs, on rencontre souvent trois autres oscillateurs, les *triangle* (triangle), *pulse* (impulsion) et *noise generators* (générateur de bruit). Je mets le *noise generator* au pluriel car on rencontre un générateur de bruit blanc (*white noise*) ou de bruit rose (*pink noise*). La différence entre *white* et *pink* sera expliqué dans la partie traitant des *noise generators*.

Nous allons, dans la partie qui suit, voir les types d'ondes créés par les oscillateurs ainsi que les sons qu'ils permettent de créer. Mais avant cela, il nous faut mentionner certains traits communs à toutes les ondes afin que vous puissiez comprendre les principales différences.

1 – Définitions

a) Cycle (*cycle*), crête (*peak*) et amplitude (*amplitude ou width*)

On définit par cycle une seule instance d'une onde, soit la partie positive et la partie négative de l'onde. Voici un exemple de cycle d'une onde *sine*.



Ce schéma va nous permettre de définir deux autres termes. La partie la plus haute de l'onde et la partie la plus basse de l'onde sont appelées crêtes (*peaks*), tandis que la distance entre la crête positive et la crête négative (de -1 à $+1$ dans le schéma) est appelé amplitude (*width*). Je conserve *width* car c'est le terme le plus courant.

Plus l'amplitude de l'onde est importante et plus la sonie de l'onde est élevée ; en d'autres termes, plus son volume est fort. Deuxièmement, plus nous avons de cycles dans une durée de temps donnée, normalement exprimée en secondes, plus la tonalité (*pitch*) de l'onde est élevée.

Dans le schéma ci-dessous, nous sommes en présence de la même onde exprimée en cycles de plus en plus rapides. Le premier son sera donc beaucoup plus grave et le dernier beaucoup plus aigu, mais leur volume sera similaire.



Notez que pour une amplitude donnée, les fréquences graves ont un volume qui semble à l'oreille plus fort que le volume des fréquences aiguës.

b) Les harmoniques de l'onde

Nous avons vu en introduction que l'onde est une série de vibrations. La forme la plus simple d'un son est l'onde sine car elle ne vibre qu'à une seule fréquence; elle produit un son pur et clair. Dans la réalité, les sons que nous entendons se composent de différentes fréquences mélangées.

Par exemple, prenez un tuyau en métal et frappez-le par terre. L'air vibre dans le tuyau et génère des partiels (*overtones*), que l'on appelle également des harmoniques, qui semblent sonner harmonieusement les uns par rapport aux autres. On appelle ces harmoniques des partiels car chacun d'entre eux forme une partie du son. Le partiel le plus grave est celui qui détermine notre perception du son. Cette fréquence la plus basse est appelée fondamentale (*fundamental*) ou première harmonique (*first harmonic*). C'est également cette fondamentale qui a le volume le plus fort.

En sus de la fondamentale, nous avons donc d'autres partiels, de fréquence plus élevée et d'amplitude moins élevée. Vous avez donc tout de suite réagit en pensant « tonalité plus aiguë et volume moins fort », et vous avez eu raison ! Ce sont ces autres partiels qui déterminent la couleur du son, son timbre. Lorsque l'on modifie ces partiels, on modifie le timbre du son, ce que nous verrons plus loin.

Pour terminer l'examen des harmoniques, il faut mentionner le fait qu'il y a une relation mathématique entre la fréquence de la fondamentale et celle des autres partiels. Cette relation mathématique est simple. Par exemple, la troisième harmonique est trois fois la fréquence de la fondamentale; la sixième harmonique est six fois la fréquence de la fondamentale, etc. Donc si la fondamentale a une fréquence de 200Hz, sa troisième harmonique sera 600Hz et sa sixième harmonique sera 1200Hz ou 1,2kHz.

Notons que chaque onde possède ses propres caractéristiques de hauteur tonale et de sonie, et qu'il y a une variété infinie d'onde. Notons également que plus une onde possède de fréquences, plus son timbre sera riche et complexe.

Le coin du geek – mathématiques et fréquences des sons

L'étude mathématique des sons est une affaire franco-suisse. En effet, ce sont le Suisse Daniel Bernouilli (1700 – 1782) et le Français Joseph Fourier (1768 – 1830) dont les travaux forment la base de l'analyse harmonique actuelle. Leur point commun est d'avoir travaillé sur des applications non musicales qui auront trouvé par la suite une application musicale grâce aux méthodes mathématiques qu'ils auront développées.

Bernouilli est connu pour ses travaux sur la mécanique des fluides et le phénomène physique de « corde vibrante ». Pour résoudre les problèmes de l'élasticité et des marées, il s'intéressa aux « séries » et développa des outils nouveaux, dont le plus important pour le sujet qui nous préoccupe, la décomposition en série trigonométrique.

Fourier utilisa cette décomposition avec l'idée d'en faire un outil systématique. Dans son ouvrage sur la théorie de la chaleur, il se servit de deux méthodes qui devinrent « série » de Fourier et « transformée » de Fourier, sur lesquelles repose la base de l'analyse harmonique, mais également de nombreuses autres applications en physique grâce aux techniques d'analyse spectrale.

Les séries de Fourier visent à décomposer une fonction périodique comme « somme infinie de fonctions trigonométriques » de fréquences multiples d'une fréquence fondamentale. Dans un premier temps, on procède à l'analyse du « contenu en fréquences », appelé spectre, de la fonction. Puis, suivant les hypothèses faites sur la fonction et le cadre d'analyse choisi, on peut disposer de théorèmes permettant de recomposer. Ici, qui dit recombinaison dit recréation de son par voie mathématique !

La transformation de Fourier généralise la théorie des séries de Fourier aux fonctions non périodiques, et permet de leur associer également un spectre en fréquences. On cherche alors à décomposer une fonction quelconque en « somme infinie de fonctions trigonométriques » de toutes fréquences. Une telle sommation se présentera donc sous forme d'intégrale.

Dans le domaine musical, on parle donc de synthèse de Fourier comme étant la synthèse sonore par reconstruction d'un signal à partir de son spectre fréquentiel, et cette méthode a longtemps été la base des analyses permettant de recréer des sons particuliers. Ce n'est que récemment que cette synthèse a été supplantée par ce qui est

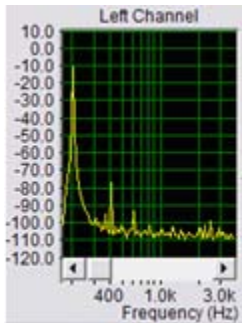
devenu la « transformée en ondelettes », ou *grainwave synthesis* en anglais, qui permet de se rapprocher encore plus de la reproduction parfaite des sons.

2 – Types d'ondes

a) *Sine waves*

Les ondes *sine* sont donc les ondes les plus simples puisqu'elles ne possèdent qu'une seule fréquence, leur fondamentale. Cette onde est souvent utilisée en tant que point de départ des sons d'orgue et de flute. On l'utilise également pour générer un test de hauteur tonale pour régler tous les autres instruments ainsi qu'un test d'étalonnage du matériel audio (vous rappelez-vous des cartes de test à la télé à une époque où la télé s'arrêtait de transmettre dans la nuit ? Le son était bien un onde *sine*).

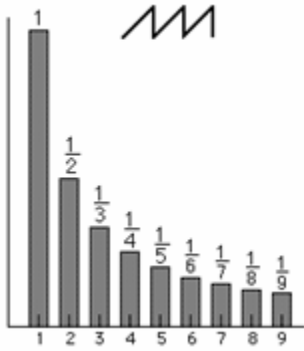
Fréquence d'une sine wave à l'oscilloscope (une seule vraie fréquence, la fondamentale)



Lorsque l'on fait de la synthèse additive, on crée une onde en additionnant des ondes sine de différentes fréquences et amplitudes.

b) *Sawtooth waves*

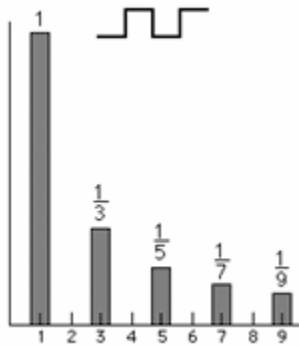
Les ondes en dent de scie (voir le schéma ci-après) sont les ondes les plus communément rencontrées sur les synthétiseurs analogiques. La caractéristique principale de l'onde *sawtooth* est qu'elle se définit comme contenant chaque harmonique en proportion inverse au nombre des harmoniques. Cela veut dire quoi ? Tout simplement que la seconde harmonique possède une amplitude qui est la moitié de celle de la fondamentale, la troisième harmonique possède une amplitude qui est trois fois moindre que celle de la fondamentale, la cinquième harmonique possède une amplitude qui est cinq fois moindre que celle de la fondamentale, etc.



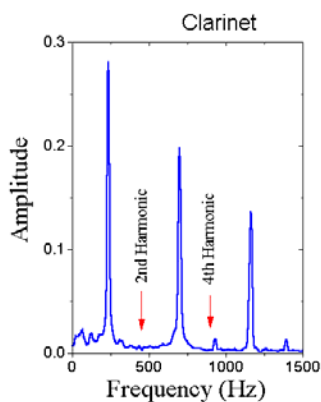
Les sawtooth wave sont très riches en harmoniques. On les utilisent comme onde de base pour créer des sons de cuivre, de corde, de guitare et quelques sons de bois.

c) Square waves

Les ondes carrées ne contiennent que les harmoniques impaires de l'onde en dent de scie ; elles ont donc les mêmes amplitudes.



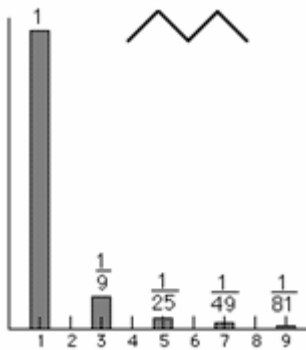
Ces ondes produisent un son plus « creux » qui sera parfait pour recréer certains sons tels une clarinette. Regardez l'analyse des fréquences d'une clarinette à l'oscilloscope, on voit bien la corrélation avec les ondes carrées.



d) Triangle waves

Les ondes triangles sont également composées d'harmoniques impaires, mais d'amplitudes beaucoup plus basses. Le rapport mathématique ici est celui du carré du nombre de l'harmonique. Donc cela veut dire que la troisième harmonique équivaut à $1/9^{\text{ème}}$ de l'amplitude de la fondamentale (soit $3^2 = 9$), la cinquième harmonique sera $1/25^{\text{ème}}$ de la fondamentale, la onzième harmonique sera $1/121^{\text{ème}}$ de la fondamentale, etc.

Schéma des fréquences de l'onde triangle

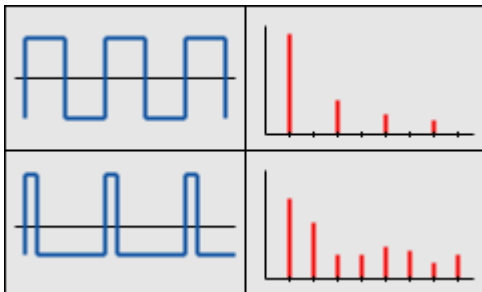


Vous vous apercevez que l'onde triangle possède des harmoniques mais qu'elles sont de faible amplitude, peu dominantes dans le son. En partant d'une onde triangle, vous obtiendrez un son assez « moelleux », proche de celui de l'onde sine.

e) Pulse waves

L'onde à impulsion est également très courante sur les synthétiseurs analogiques. C'est une onde qui va beaucoup nous servir lorsque l'on passera à la partie pratique. Lorsque l'on regarde le schéma de ses fréquences, elle ressemble beaucoup à l'onde carrée au sens où les partiels sont de même taille que ceux de l'onde carrée.

Schéma de deux fréquences d'onde à impulsion



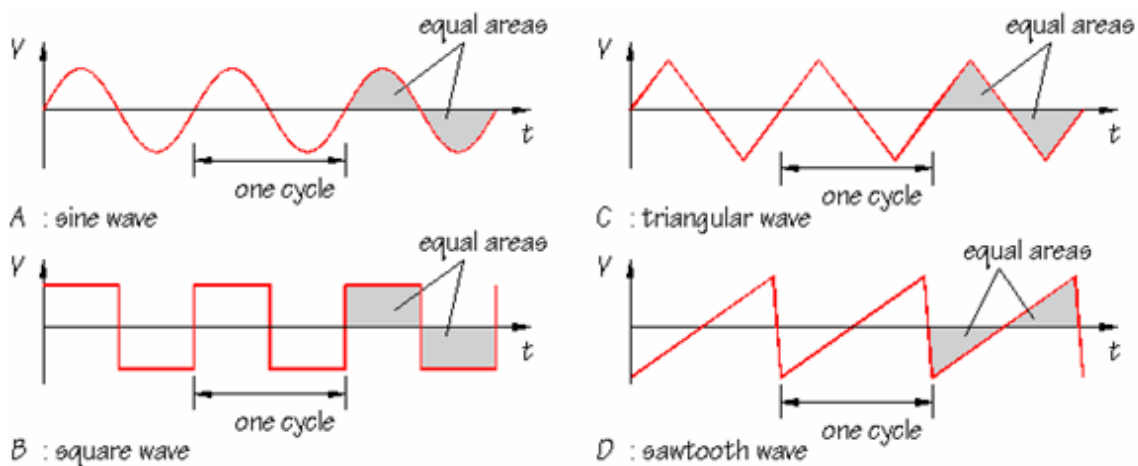
Néanmoins, la grande différence est que si l'onde carrée est fixe, la *pulse wave* est variable, d'où le schéma ci-dessus qui indique deux variations possibles.

Les synthétiseurs analogiques ont des commandes qui permettent de faire varier l'onde à impulsion. Soit on retrouve le terme d'amplitude (*width*), soit on trouve sur les vieux synthétiseurs les termes de *mark* et de *space*, qui correspondent à la partie haute de la fréquence (*mark*) et à sa partie basse (*space*). Les commandes du synthétiseur qui font varier la *pulse wave* sont donc appelées *mark/space ratio* ou *pulse width*. Ce contrôleur de variation permet en fait de calculer et modifier le contenu harmonique de l'onde à impulsion.

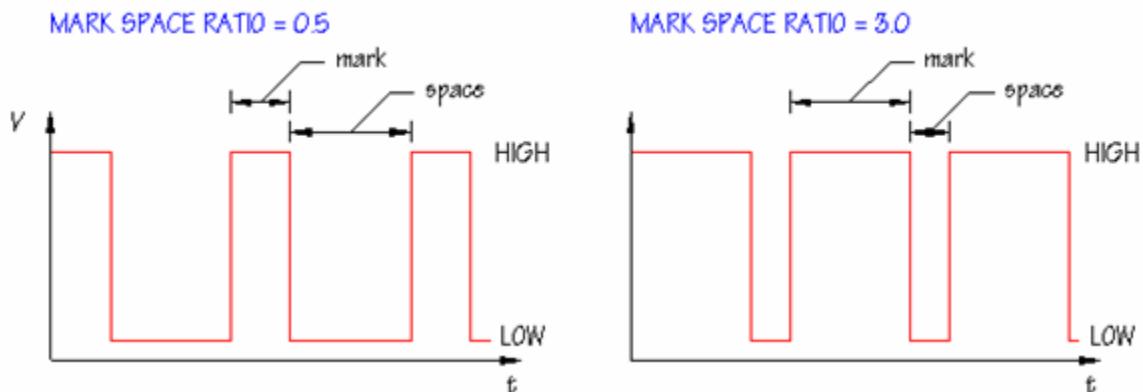
Puisque l'onde à impulsion est variable, voyons comment elle peut varier.

Avec l'onde carrée, *mark* et *space* sont égaux, *mark* étant la moitié du cycle dans son entier, ce qui veut dire que le *mark/space ratio* est de 1:2. Cela vous paraît-il compliqué ? Et bien dites-vous que ce ratio est une fraction, ce qui veut dire que la valeur 1:2 sur le synthétiseur devient 1/2 et que la valeur *mark* est la moitié (1/2) du cycle. Avec un ratio *pulse width* de 3:4, vous obtenez 3/4 du cycle. Prenons quelques schémas pour éclaircir.

Schémas indiquant l'égalité des composantes *mark* et *space*



Schémas indiquant deux variations d'onde à impulsion



En application des schémas ci-dessus, l'onde de gauche apparaîtra comme *pulse width* 1:2 (valeur *mark* inférieure à *space*), et celle de droite comme *pulse width* 3:1 (valeur *mark* supérieure à *space*).

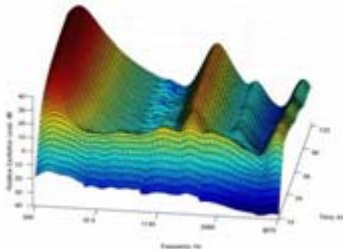
Une autre caractéristique de l'onde à impulsion est que les harmoniques, qui sont les multiples du chiffre de droite dans le ratio *mark/space*, sont absentes. Dans le cas d'une *pulse wave* avec une *pulse width* de 1:2, toutes les harmoniques paires sont absentes. Autre exemple, pour une *pulse wave* qui possède un *mark/space ratio* de 1:3, toutes les harmoniques qui sont un multiple de 3, 6 ou 9 seront absentes. Je mélange les termes mais rappelez-vous que *mark/space* = *pulse width*.

Dans la pratique de notre synthèse analogique, on s'aperçoit que plus la fréquence de l'onde à impulsion devient étroite, plus le son devient nasal, donc parfait pour un hautbois, une harpe et certains autres instruments à corde ou certains cuivres.

f) Les harmoniques non représentées par l'oscillateur

Il existe d'autres harmoniques qui ne se rencontrent pas sur des synthétiseurs analogiques standard, et particulièrement celles que l'on peut classer de métalliques. Pourquoi ? Tout simplement parce que ces ondes ont la caractéristique d'être « entre les deux » au niveau de la représentation graphique de l'onde, ce qui fait que le composant électronique chargé de générer l'onde n'est pas capable de créer ce type d'onde tout seul.

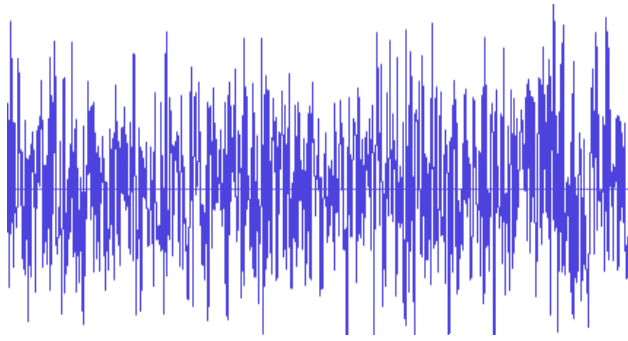
Exemple de fréquence non gérable par un oscillateur – onde de vibraphone



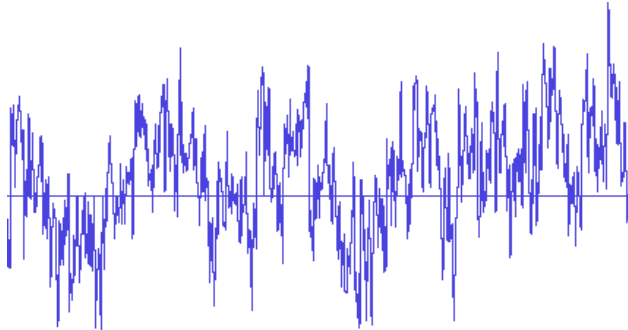
Ceci ne veut pas dire qu'il soit impossible de recréer un son de vibraphone avec un synthétiseur analogique, mais il faudra pour cela passer par des artifices, soit moduler un oscillateur avec un autre, soit combiner plusieurs ondes ensemble. Ceci dit, pour recréer des ondes métalliques, l'idéal ça reste la FM, même si le *ring modulator* est utile. Nous reviendrons sur le modulateur en anneau.

g) Les bruits

Pour en terminer avec les ondes, parlons des générateurs de bruit. Nous avons déjà dit qu'en synthèse analogique, il existait deux type de bruit, le bruit blanc et le bruit rose. Pour être complet, il faut rajouter le bruit marron, *brown noise*, mais ce dernier n'est pas utilisé en synthèse pour des raisons qui vont vous apparaître évidentes. Regardez les illustrations suivantes :



White noise



Pink noise



Brown noise

L'onde la plus courante est celle du bruit blanc car elle contient toutes les fréquences audio en proportions égales. Imaginez que vous avez un vieux poste de radio, le bruit que vous entendez lorsque vous tournez la molette de réglage des stations et que vous êtes entre deux stations, c'est du bruit blanc.

Le bruit rose contient également une grande plage de fréquences, mais moins de hautes fréquences que le bruit blanc. En conséquence, le bruit rose est nettement moins désagréable à l'oreille. En synthèse analogique, il est assez facile de créer du bruit rose car il suffit souvent d'utiliser le filtre passe-bas, *low-pass filter*, pour retirer les fréquences aigües et obtenir une bonne approximation du bruit rose recherché.

Bien entendu, le générateur de bruit sera utilisé pour recréer des effets sonores type vent ou vagues, mais les bruits ont également d'autres fonctions de création de son, notamment dans la création de sons de percussion ainsi que pour ajouter du souffle. Ce sont les *noise generators* qui permettent de transformer un son de flute en flute de pan ou encore en chiffer (le son numéro 84 de votre module General MIDI).

Le coin du geek – la classification des bruits

Les bruits sont référencés par analogie à la lumière et sa décomposition en couleurs lorsqu'elle passe par un prisme. Le bruit blanc est donc celui qui contient toutes les fréquences du spectre.

Pour ce qui nous concerne, seuls les bruits blanc et rose sont vraiment utilisés, et j'ai déjà mentionné le bruit marron, parfois qualifié de bruit rouge. Néanmoins, il existe d'autres couleurs de bruit qui sont bleu, violet, orange, vert, gris et noir, toutes définies par leur fréquence. Ces fréquences sont surtout utilisées dans le monde des télécommunications.

Par exemple, le bruit orange, c'est celui qui reste lorsque l'on a supprimé tous les sons musicaux d'un bruit, alors que le bruit vert est celui de la terre, comme un bruit rose qui aurait un bruit de fond à 500 Hz ; et le bruit noir, c'est le quasi-silence. Pour obtenir un bruit orange, il suffit de donner une flute à bec à toute une classe et de leur demander d'en jouer. Après quelques instants, la combinaison des bruits fait que les harmonies s'estompent et le spectre sonore restant est déplaisant, d'où sa qualification de bruit acide et la couleur qui lui est attribuée.

3 – Remarques sur la plage et le réglage des oscillateurs

La fonction première d'un oscillateur est de créer l'onde qui servira à produire un son. Néanmoins, il existe deux autres fonctions tout aussi importantes dans la création d'un son.

a) L'oscillateur détermine le *pitch*

L'une de ces fonctions est celle de la détermination de la hauteur tonale, le *pitch*. Cette dernière se retrouve sur les synthétiseurs analogiques sous la forme des symboles 2', 4', 8', 16' et 32'. Nous sommes ici en présence de longueurs car le symbole ' représente l'abréviation de la mesure anglaise de pied ou *foot*, soit environ 30 cm pour un pied (30,48 cm pour être exact).

Pourquoi cette mesure sur un synthétiseur analogique ?

Tout simplement parce que cette mesure correspond à une réalité musicale. Les facteurs d'orgues mesuraient les tuyaux en pieds et la longueur de ces tuyaux déterminait la hauteur tonale. La raison en est que cette mesure d'une longueur d'un pied pour un tuyau d'orgue, mesure toujours valide aujourd'hui, est plus ou moins égale à une octave. Ceci veut dire que la valeur marquée 8' sur un synthétiseur représente le do du milieu de gamme, soit la valeur C3. Lorsque vous programmerez un son, il faudra ajuster la hauteur tonale de l'oscillateur en utilisant 2' ou 4' pour une basse, 32' pour une flute, etc.

b) L'oscillateur détermine le *tuning*

Les synthétiseurs analogiques offrent souvent un réglage de la justesse du son, ce que l'on appelle l'accordage ou *tuning*. Ce dernier a deux fonctions principales :

- accorder la hauteur tonale d'un instrument pour correspondre à celle d'un autre ;
- désaccorder un oscillateur par rapport à un autre afin de donner du corps au son.

Sur les synthétiseurs analogiques, vous pourrez donc rencontrer deux types de réglage de la justesse. Soit un seul potentiomètre appelé *tuning*, soit deux potentiomètres appelés *fine control* (réglage fin) et *coarse control* (réglage grossier).

En ce qui concerne le *tuning*, les valeurs sont exprimées en *octaves*, *semitones* (demi-tons) ou *cents* (centièmes de herz).

Voilà qui en termine avec l'examen des oscillateurs. Nous aurons l'occasion d'y revenir dans la partie pratique en examinant le type d'oscillateur choisi pour créer un son particulier.

Passons maintenant à l'examen des filtres, deuxième composante essentielle de la synthèse analogique.

Les filtres

Avant de nous occuper des enveloppes, nous passons en revue les filtres, suivant ainsi l'enchaînement logique du traitement du son, tel que défini dans l'introduction de ce didacticiel. Ceux qui ont suivi auront compris que cette partie du didacticiel a pour but d'expliquer la phase de modélisation de l'onde, le *wave shaping*.

Pourquoi les filtres jouent-ils un rôle important dans la synthèse analogique ?

Tout simplement de par la nature même du mode de programmation de la synthèse soustractive. Étant donné que le son final est créé en partant d'un son riche en harmoniques, il faut alors filtrer les parties qui ne nous intéressent pas, d'où l'intervention de filtres qui laisseront passer certaines fréquences et/ou en supprimeront d'autres.

Nous venons de voir que les oscillateurs fournissent l'onde de base, laquelle définit la couleur du son final, mais ces derniers sont assez limités par rapport à la gamme très étendue de sons que nous pouvons entendre dans la réalité. Les filtres vont donc nous permettre de modifier l'onde en changeant sa couleur, son timbre. En d'autres termes, les filtres présents sur un synthétiseur analogique sont en fait des *commandes sophistiquées de contrôle de la couleur du son*. Et pour terminer l'analogie, les filtres d'un synthétiseur sont équivalents au réglage des graves et des aigus d'une chaîne hi-fi, mais en beaucoup plus compliqué, voire beaucoup plus complet, selon les modèles de synthétiseurs. Au maximum, un synthétiseur offre quatre filtres différents, certains référencés par la notion de dB, d'autres par celle de pôle.

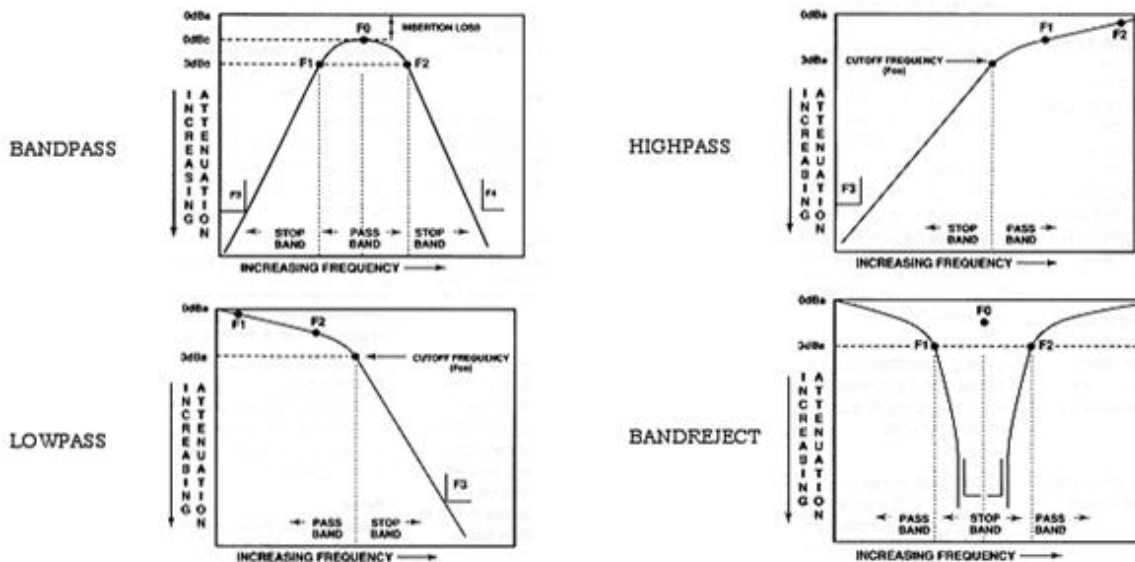
1 – Définitions

a) Les quatre types de filtres importants

Nous avons vu que le filtrage consiste à laisser passer ou à supprimer des fréquences. Les filtres sont donc nommés en référence à leur fonction. Même si tous ne sont pas toujours présents sur un synthétiseur donné, les quatre filtres fondamentaux à la synthèse analogique sont :

- Filtre passe-bas - en anglais, *low pass filter* ou LPF
- Filtre passe-haut – en anglais, *high pass filter* ou HPF
- Filtre passe-bande – en anglais, *band pass filter* ou BPF
- Filtre coupe-bande – en anglais, *band reject filter* ou BRF

Représentation graphique des filtres



Le filtre passe-bas, LPF, laisse passer les basses fréquences et filtre les hautes fréquences.

Le filtre passe-haut, HPF, laisse passer les hautes fréquences et filtre les basses fréquences.

Le filtre passe-bande, BPF, laisse passer une bande centrale de fréquences et filtre les fréquences qui sont plus basses ou plus hautes que celles de la bande centrale.

Le filtre coupe-bande, BRF, filtre une bande centrale de fréquences et laisse passer celles qui sont plus basses ou plus hautes que celles de la bande centrale.

b) Termes employés et explication

- Point de coupure (*cutoff point*), pente d'atténuation (*roll-off curve*) et pôle (*pole*)

Lorsque vous regardez les schémas ci-dessus, vous pouvez voir que la courbe possède un point qui s'infléchit à un certain endroit de la courbe. Ce point est appelé point de

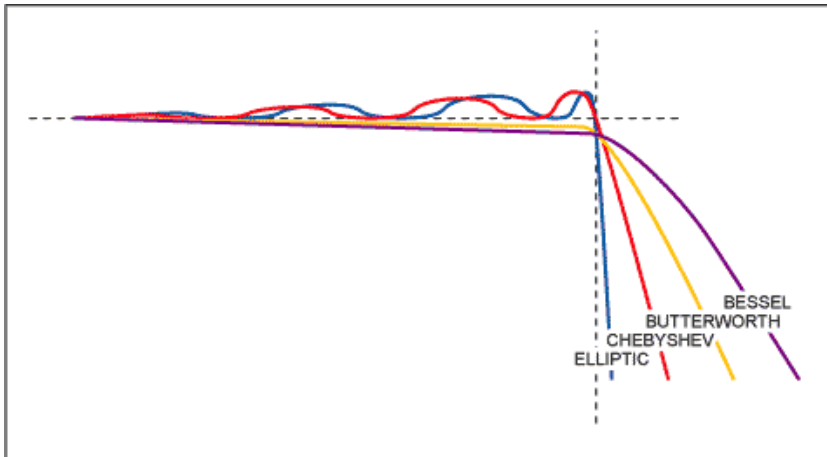
coupure (*cutoff point*) ou fréquence de coupure (*cutoff frequency*). Cette fréquence de coupure est la fréquence idéale à laquelle une section de filtre en relaye une autre. Dans la réalité, la coupure se fait de façon progressive à l'approche de la fréquence de coupure. On parle alors d'atténuation (*attenuation*) de la fréquence.

La pente d'atténuation d'un filtre est exprimée en décibels par octave (dB/oct). Plus le nombre de décibels est élevé, plus on approche l'idéal théorique. Dans la pratique, le domaine de l'audio se satisfait d'une pente de 12 dB par octave, ce qui est la raison pour laquelle certains synthétiseurs analogiques ne sont équipés que d'un filtre de 12 dB. Sans rentrer dans les détails de ce qu'est le décibel, notons que pour les applications audio, une valeur de +6 dB double le volume du son et une valeur de -6 dB réduit le volume de moitié.

Bien entendu, les courbes données en exemple ci-dessus ne sont qu'une représentation type de la fonction du filtre parmi d'autres possibles. En effet, si l'on compare différents filtres de même nature, on s'aperçoit que certains filtres sont beaucoup plus radicaux que d'autres dans leur intervention, ce qui signifie que la pente d'atténuation a une chute plus ou moins rapide dans le cas du filtre passe-bas. Ce taux de chute est le facteur de réduction progressive, traduit en anglais par les termes de *roll-off curve* ou *slope*.

La *roll-off curve* se mesure en décibels par octave (dB/oct), cela veut dire que pour chaque octave qui s'éloigne du point de coupure, le signal est atténué de 6 dB, à savoir qu'il diminue de moitié. Or nous savons qu'une augmentation d'une octave en musique signifie doubler la fréquence de la note, pour un la de référence mesuré à 440Hz, nous obtenons une fréquence de 880Hz à l'octave supérieure. En faisant le rapport entre les deux, on s'aperçoit qu' *à chaque fois que la fréquence est doublée, le taux d'atténuation est diminué de moitié*. Un filtre de 12 dB est donc deux fois plus puissant qu'un filtre de 6 dB puisqu'il atténue le signal deux fois plus que le filtre de 6 dB pour chaque octave. Corollairement, le filtre 24 dB est le plus agressif puisqu'il suffira d'une octave ou presque pour que la fréquence soit coupée.

Les filtres des synthétiseurs analogiques comportent un composant appelé pôle (*pole*) qui détermine la pente d'atténuation. Plus un filtre possède de pôle, plus la pente d'atténuation est sévère. Dans la pratique, les synthétiseurs sont munis de filtres à 1, 2 ou 4 pôles, qui correspondent à des filtres de 6, 12 ou 24 dB. C'est la raison pour laquelle les panneaux de certains synthétiseurs indiquent un filtre de 12 dB alors que d'autres utiliseront le terme *2-pole* pour décrire le même filtre.



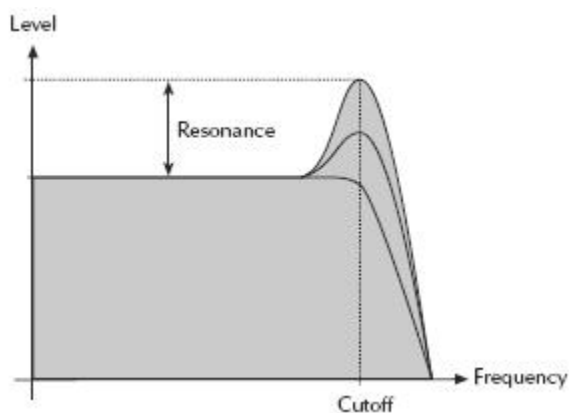
Dans le schéma ci-dessus, la courbe violette représente un filtre de 6 dB ou 1 pôle, la courbe jaune est un filtre 12 dB ou 2 pôles, et la courbe rouge est celle d'un filtre 24 dB ou 4 pôles. Ces courbes ont un nom associé aux mathématiciens qui ont défini les méthodes de calcul employées dans la mise en œuvre des filtres.

- Paramètres des filtres, résonance (*resonance*) et rétroactivité (*feedback*)

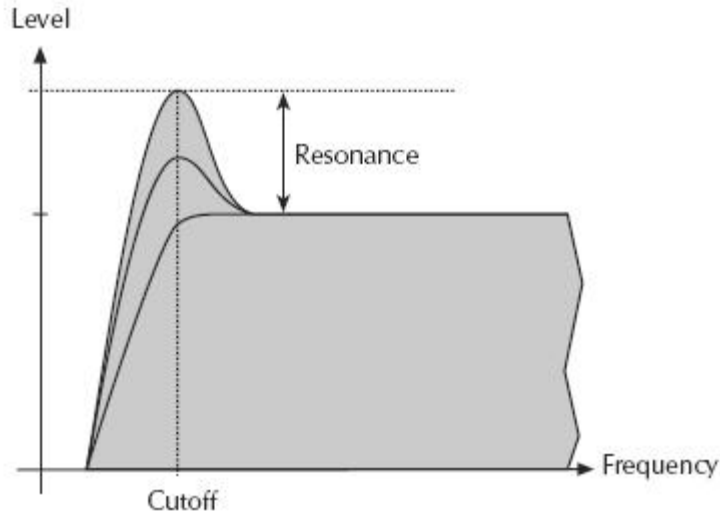
Deux autres caractéristiques des filtres ont un usage important en synthèse analogique, la résonance et l'effet rétroactif des filtres.

Le premier paramètre de réglage est appelé la résonance du filtre, que l'on peut rencontrer décrite par les termes d'emphase (*emphasis*) ou la lettre Q. Cette dernière permet d'amplifier l'amplitude des fréquences autour du point de coupure. La conséquence est que l'augmentation de la résonance a pour effet de réduire la bande des fréquences. Dans la pratique, la résonance permet d'effectuer des effets type « waow », nous y reviendrons.

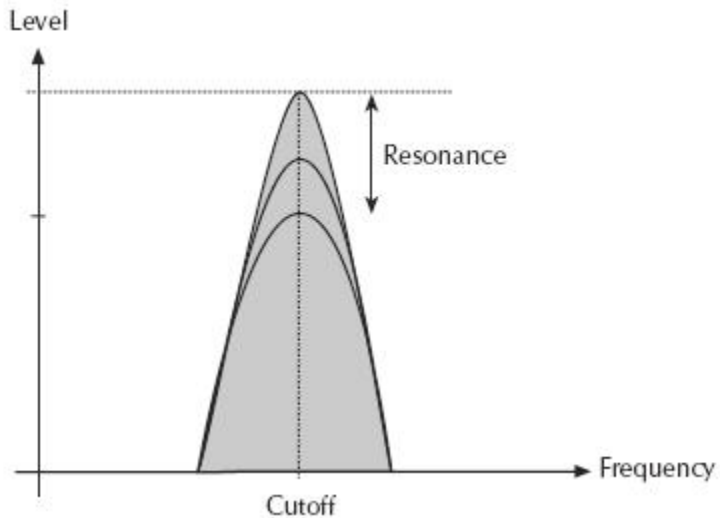
Représentation graphique de la résonance d'un filtre passe-bas



Représentation graphique de la résonance d'un filtre passe-haut



Représentation graphique de la résonance d'un filtre passe-bande



Bien entendu, si vous avez compris ce qu'est la résonance d'un filtre, vous n'êtes pas surpris de m'entendre dire que la résonance du filtre coupe-bande est quasi-nulle puisque la fréquence de résonance est exactement celle qui est bloquée par ce type de filtre. Appliquer de la résonance à un filtre coupe-bande aura donc un effet non pas nul mais très faible, dû aux changements de phase.

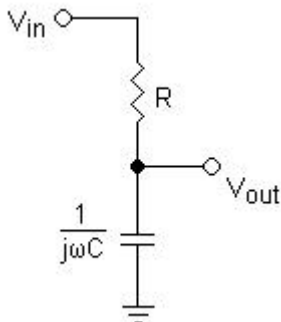
Le deuxième paramètre de filtre est celui de la rétroactivité du filtre sur lui-même, l'effet de *feedback*. Lorsque vous augmentez la résonance du filtre, passé un certain point, le filtre commence à produire un son dont vous pouvez jouer en contrôlant le point de coupure. Cette effet de *feedback* est intéressant en synthèse analogique car il permet de créer des formes d'ondes supplémentaires (utile lorsque les synthétiseurs n'ont que deux oscillateurs de base) ou de rajouter de l'effet au son. Là encore, nous y reviendrons.

Le coin du geek – le filtre passe-bas en électronique

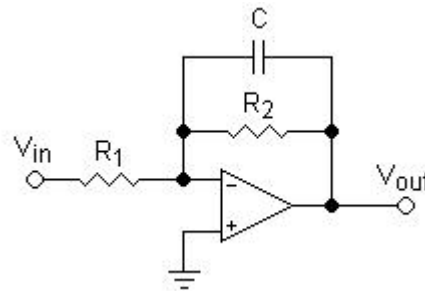
Le filtre passe-bas est le filtre de base, celui qui sert de point de départ pour la création d'autres filtres, un filtre passe-bande étant une combinaison de filtre passe-bas et passe-haut. De fait, certains synthétiseurs analogiques ne sont équipés que d'un seul filtre, le filtre passe-bas.

La réalisation simple d'un filtre passe-bas en électronique consiste à utiliser une résistance (*resistor*) en série avec une charge (*load*), et un condensateur (*capacitor*) en parallèle à la charge. Le condensateur possède une réactance (*reactance*) qui bloque les signaux à basse fréquence, ce qui les force à passer par la charge. Avec les hautes fréquences, la réactance chute ce qui fait que le condensateur joue le rôle d'un coupe-circuit. La fréquence de coupure du filtre est donc déterminée par le choix de la résistance et du condensateur.

En ce qui concerne la différence entre un filtre actif et un filtre passif, cela tient essentiellement (mais pas uniquement) au temps mis par le condensateur à se charger. Dans le schéma de gauche, la résistance fait que le condensateur met du temps à se charger, alors qu'il se charge beaucoup plus vite dans le schéma de droite. Le résultat est qu'un filtre passe-bas actif aura un temps de réponse plus rapide de la fréquence de coupure, d'où un contrôle plus fin du filtrage.



Filtre passe-bas passif



Filtre passe-bas actif

c) Un filtre à part, le filtre en peigne

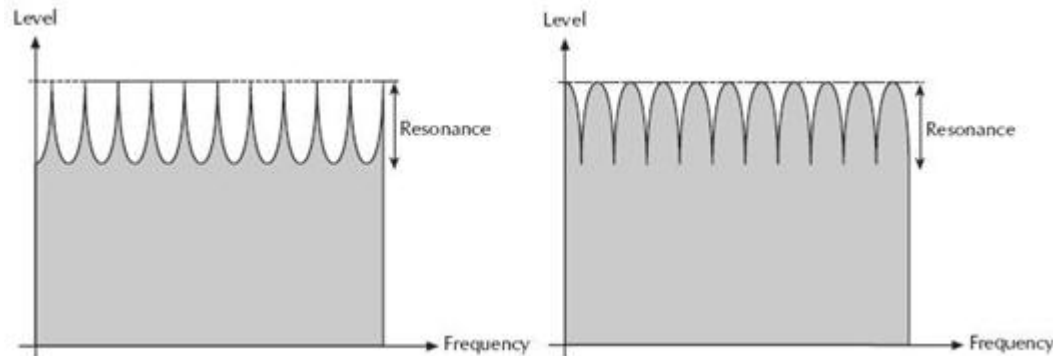
Les filtres en peigne, *Comb Filter* en anglais, sont des filtres à part. Tout d'abord, il se peut que votre synthétiseur n'en soit pas muni. Deuxièmement, il faut avoir compris ce que sont les filtres fondamentaux avant de se pencher sur le filtre en peigne.

Le filtre en peigne diffère des autres filtres en ce qu'il n'atténue pas une partie du signal, il rajoute une version avec délai du signal d'entrée au signal de sortie. Ainsi, le filtre en peigne est un délai très court dont on peut contrôler la durée et la résonance. Ce délai étant très court, il est impossible d'entendre les répétitions du son. La différence de son qui résulte de l'emploi d'un filtre en peigne tient en ce qu'il crée des crêtes ou des trous

dans le spectre de la fréquence grâce aux réglages de *Cutoff* (contrôle de la durée du délai) et de *Resonance* (contrôle de la profondeur du feedback).

Filtre en peigne positif ou *Comb+*

Filtre en peigne négatif ou *Comb-*



Ce type de filtre est donc soit positif, soit négatif. Les deux schémas ci-dessus permettent de comprendre leur effet ainsi que la raison de l'appellation filtre en peigne. Dans les deux cas, le nombre de dents du peigne est contrôlé par la valeur *Cutoff*.

2 – Applications

Dans la pratique, chaque filtre aura une application bien particulière, et nous aurons l'occasion d'en voir des exemples lorsque nous passerons à la programmation de SSA.

a) Usage des filtres classiques

- L'utilité du filtre passe-bas

Le filtre passe-bas est le filtre le plus courant. Si vous lisez un ouvrage sur la synthèse analogique ou un manuel de synthétiseur et qu'il est fait référence au filtre, sans préciser de quel filtre il s'agit, l'auteur parle sans doute du filtre passe-bas.

Pourquoi certains synthétiseurs n'ont qu'un seul filtre ?

Le filtre passe-bas est le filtre qui se rapproche le plus des effets sonores que nous entendons dans la réalité, ce qui fait que la fréquence de filtrage nous apparaît comme la plus naturelle. En effet, le phénomène physique normal d'un son est de voir ses hautes fréquences étouffées plus vite que ses basses fréquences, ce qui est bien sûr le cas de tous les instruments acoustiques. Le filtre passe-bas est donc essentiel à la programmation en synthèse analogique.

Nous avons dit que le filtre passe-bas atténue les fréquences supérieures au point de coupure. Il faudra donc commencer notre programmation en partant d'un point de coupure élevé afin de laisser passer le maximum de fréquences, pour ensuite abaisser ce point de coupure progressivement et obtenir un son moins brillant. Dans tous les cas, vous remarquerez que le filtre passe-bas laisse passer la fondamentale du son, à moins bien sûr d'abaisser tellement la fréquence de coupure que plus aucun son ne peut être entendu.

- L'utilité du filtre passe-haut

Le filtre passe-haut exerce donc l'effet contraire du filtre passe-bas puisqu'il atténue les basses fréquences. Ainsi, la première fréquence qui disparaît est la fondamentale. Or vous vous rappelez que la fondamentale possède une amplitude plus élevée que les autres partiels du son. La conséquence est donc une perte de volume, d'où un son beaucoup plus faible et étroit résultant de l'usage du filtre passe-haut.

- L'utilité du filtre passe-bande

Le filtre passe-bande laisser passer des fréquences qui sont à la fois plus hautes et plus basses que le point de coupure tandis qu'il atténue d'autres fréquences. Le son qui en résulte est également plus faible, comme celui du filtre passe-haut, mais du fait de sa caractéristique principale de concentration de ses effets sur une bande donnée, le filtre passe-bande va permettre de faire ressortir des fréquences particulières du son.

Notez qu'il est possible de recréer les effets d'un filtre passe-bande même si le synthétiseur n'en possède pas. Il suffit pour cela de faire passer un signal à travers un filtre passe-bas puis un filtre passe-haut, une astuce que nous mettrons en application dans SSA.

- L'utilité du filtre coupe-bande

Le filtre coupe-bande, ou *band reject*, est également rencontré en anglais sous l'appellation *notch filter*. Il est l'opposé du filtre passe-bande. Cela veut donc dire que puisqu'il coupe une bande particulière du milieu des fréquences et que le son conserve ses basses et hautes fréquences, le résultat est un son plein avec un sentiment de « creux » au milieu. Ce dernier sera ressenti plus ou moins selon la nature des harmoniques de l'onde de départ.

Comme pour le filtre passe-bande, le filtre coupe-bande peut être recréé si le synthétiseur n'en possède pas. Il suffit de faire passer le signal en parallèle par un filtre passe-bas et un filtre passe-haut. Pour visualiser ceci, reprenez les courbes du début de chapitre. Si vous placez la courbe du filtre passe-bas à gauche et la courbe du filtre passe-haut à droite, vous pouvez imaginer le « creux » qui en résulte au milieu.

b) Usage des filtres spéciaux

- L'utilité du filtre en peigne

En synthèse analogique, le filtre en peigne permet d'obtenir deux effets, l'un de *chorus* et l'autre de *flanger*.

L'effet de Chorus est en réalité composé de un ou plusieurs filtres en peigne. Si votre synthétiseur présente un *Comb filter* sur son panneau de réglage, il sera facile de rajouter du chorus à votre patch. Sélectionnez *Comb filter*, placez la valeur *Cutoff* sur une valeur moyenne, placez la valeur *Resonance* sur 0, placez le LFO sur *Cutoff Mod Source*, réglez *Cutoff Mod* sur une valeur positive ou négative, sélectionnez une onde en triangle à faible oscillation pour le LFO. Et voilà notre chorus. Il suffit alors d'ajuster les paramètres *Cutoff*, *Cutoff Mod* et *LFO Speed*.

L'intérêt d'utiliser un filtre en peigne pour obtenir un chorus s'explique par trois raisons :

- vous n'avez pas utilisé la section FX de votre synthé, ce qui libère des ressources supplémentaires ;
- le filtre en peigne fonctionne par voix et non par instrument, chaque voix peut ainsi avoir son propre chorus ce qui veut dire un patch avec des composantes dont la vitesse et la profondeur de chorus sont différentes ;
- vous pouvez contrôler les paramètres du chorus en envoyant des messages MIDI si le synthétiseur est équipé pour (par exemple, le MKS-80).

L'effet de flanger est similaire à l'effet de chorus en ce qu'il rajoute une composante *feedback* pour changer la profondeur du flanger. C'est-à-dire que la valeur *Resonance* n'est plus sur 0. Vous allez donc reprendre les mêmes réglages que précédemment pour le chorus, puis rajouter de la résonance pour obtenir l'effet de flanger. Vous pouvez également jouer avec la valeur *LFO Speed* pour obtenir un effet de balayage ou *Sweep*.

Une application intéressante de ces deux effets de filtre en peigne est d'assigner la valeur *Cutoff Mod Source* sur *Modwheel*. Vous pourrez ainsi avoir le contrôle manuel de votre effet de chorus ou de flanger.

3 – Conclusion

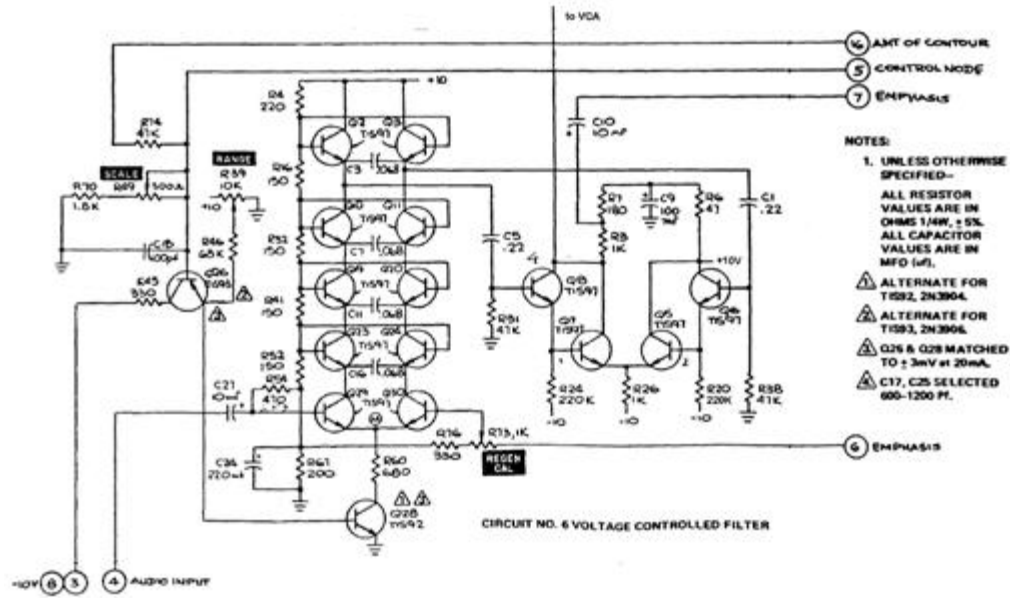
Les filtres sont essentiels à la création de sons en synthèse analogique du fait qu'ils permettent de transformer des ondes basiques qui, seules, n'auraient pas grand intérêt.

Ce sont également les filtres qui sont en grande partie responsables du grain particulier d'un synthétiseur. Le succès du Minimoog est quasiment attribuable à son filtre 24 dB et aux sons de basse qu'il permet de créer. Les filtres 12 et 24 dB du Matrix 12 sont aussi importants que la capacité de routage d'où il tire son nom. Il est possible de citer de nombreux autres exemples de l'importance des filtres utilisés par certains modèles de synthétiseurs analogiques.

La qualité des filtres est également le point le plus important des recreations logicielles des instruments VST. C'est ce qui fera le réalisme d'une émulation comme le CS-80v de chez Arturia ou le Minimonster de chez G-Media. De même, les synthétiseurs qui recréent une synthèse analogique par voie de modélisation mathématique, tels le Virus de chez Access ou le Nord Lead 2 de chez Clavia, ont des algorithmes de filtrage de grande, voire très grande, qualité.

Quand aux pionniers de la synthèse, je parle bien sûr des Bob Moog, Don Buchla, Alan Pearlman, Tom Oberheim, pour ne citer que ceux-là, la conception de leurs filtres était tellement bien vue qu'elle a été, et est toujours, copiée et archi-copiée. Vous pouvez même acheter des modules vous permettant de retrouver un son Moog dans votre modulaire, ou encore une cartouche d'émulation comme avec l'ATC-1 de chez Studio Electronics.

Le filtre du Minimoog dans toute sa splendeur



Pas de l'analogique, mais notez l'importance des filtres dans la programmation du Virus



Le générateur d'enveloppe et l'amplificateur

Nous en arrivons à la dernière composante obligatoire de la création d'un son en synthèse analogique. Celle-ci concerne les amplificateurs et les enveloppes.

Sans l'amplificateur, il n'y aurait aucun son en sortie. Le routage de la création d'un son en synthèse analogique fait que le son généré par l'oscillateur est dirigé vers les filtres avant d'être amplifié. Toutefois, avant l'amplification du signal, une étape importante est celle du générateur d'enveloppe. En effet, c'est en fonction de cette dernière que l'amplificateur va s'ouvrir et laisser passer un volume sonore correspondant au réglage ADSR. Nous allons donc examiner les différentes étapes qui terminent la création du son.

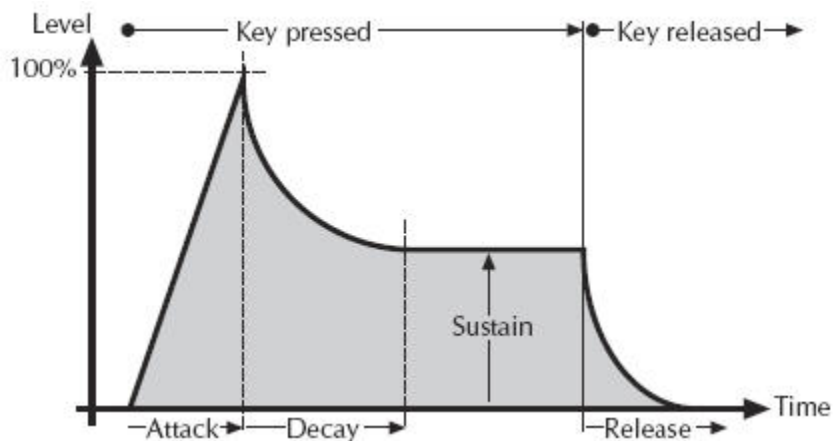
1 – Le générateur d'enveloppe

Les synthétiseurs analogiques ont des façons différentes de contrôler l'enveloppe du son. Néanmoins, les constructeurs ont fini par mettre en œuvre une méthode désormais classique de contrôle de l'enveloppe, appelé ADSR ou *Attack, Decay, Sustain, Release*.

a) Définitions

Le rôle principal du générateur d'enveloppe est de déterminer le contrôle du volume d'un son durant sa création. Il a également d'autres usages que nous verrons plus tard.

Schéma typique d'un générateur de type ADSR



Les quatre termes utilisés en anglais sont *Attack*, *Decay*, *Sustain* et *Release*. En d'autres termes, l'enveloppe se contrôle en quatre phases. Avant d'expliquer ces phases, il est important d'avoir à l'esprit que les valeurs ADR sont des valeurs de temps alors que la valeur S est une valeur de quantité. On parlera donc de rapidité ou de longueur de l'attaque, de la décroissance et du relâchement, tandis qu'il s'agira de volume de soutenu ou tenue du son.

- Phase d'attaque (*Attack*)

La phase d'attaque est le temps que met un son pour atteindre un volume, normalement défini comme le volume maximum du son, pas forcément comme le volume possible avec le synthétiseur. Ce paramètre d'attaque est déclenché par le fait d'enfoncer une touche ou d'envoyer un message de type *Note On* ou encore de déclenchement (*Trigger*)

Une valeur d'attaque courte permet d'obtenir un son percussif, typique d'un son de batterie, piano, guitare ou vibraphone. Une attaque plus longue sert aux sons de corde,

de cuivre ou flûte. Une durée d'attaque très longue ne correspond à aucun instrument acoustique mais permet des effets ou encore des inversions de son.

- Phase de décroissance (*Decay*)

Cette phase commence immédiatement après la phase d'attaque. Elle représente le temps que met le volume d'un son à diminuer avant de passer à la phase de soutenu. La décroissance du son est normalement à un niveau inférieur à l'attaque et d'une durée supérieure à celle de l'attaque. Le son perd de son volume durant la phase de décroissance si celle-ci existe.

- Phase de soutenu (*Sustain*)

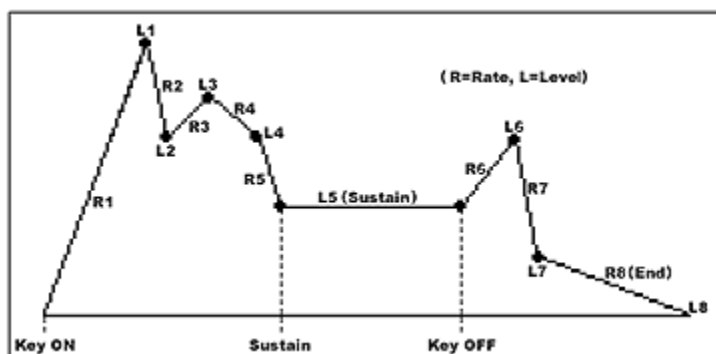
Tout simplement, la phase de soutenu représente le niveau où le son se stabilise à un niveau constant ou quasi-constant. Elle se termine par le relâchement de la note. Avec les synthétiseurs, la phase de soutenu théorique peut durer indéfiniment, c'est-à-dire tant que la touche reste enfoncée.

- Phase de relâchement

La phase de relâchement est le temps mis par le son pour disparaître complètement lorsque la touche est relâchée ou que le message *Note Off* est reçu par le synthétiseur. Pour les instruments acoustiques, le temps de relâchement peut être très long (vibraphone, cloche, gong), moyennement long (cuivres, cordes) ou très court (blocs de bois).

b) Explication des quatre phases

Tous les synthétiseurs analogiques ne possèdent pas quatre phases, certains synthétiseurs analogiques, comme le Mini Korg et son dispositif de réglage appelé *traveler*, n'en n'ayant que deux ou trois. À l'inverse, l'évolution des synthétiseurs numériques a fait qu'il est assez commun de rencontrer des enveloppes à cinq phases et plus. L'illustration suivante représente l'enveloppe du Casio CZ qui met en œuvre une synthèse avec enveloppe à 8 phases.

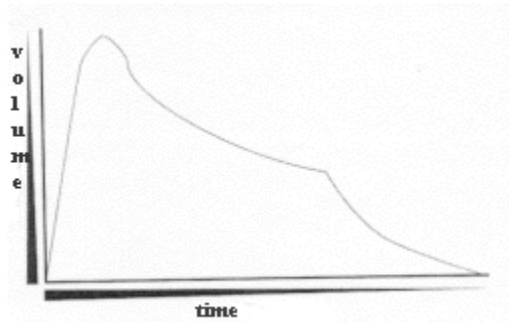


Néanmoins, la grande majorité des synthétiseurs, qu'ils soient anciens ou récents, analogiques ou numériques, possèdent des enveloppes à quatre phases. La raison en est qu'il est possible de reproduire des sons naturels, d'un coup de tonnerre au pépiement d'un oiseau. De plus, un grand nombre de sons n'utilisent pas les quatre

phases ; un bloc de bois n'aura que les deux phases d'attaque et de décroissance, un orgue fait l'impasse sur la décroissance, un piano n'utilise pas de soutenu.

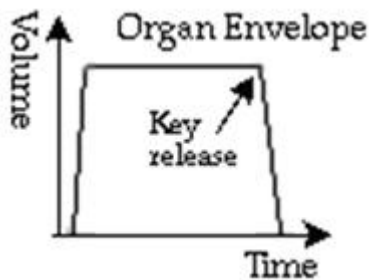
Lorsque l'on examine l'aspect visuel de l'enveloppe d'un son, il est facile d'effectuer le rapprochement avec les curseurs d'une commande d'enveloppe ADSR typique.

Schéma d'une enveloppe ADSR d'un son de piano



Enfonchez la touche d'un piano. Que se passe-t-il ? Il y a une attaque rapide, voire très rapide, suivie d'une longue décroissance durant laquelle le son diminue peu à peu tant que vous maintenez la touche enfoncée, puis un relâchement rapide, voire très rapide, dès que vous laissez la touche reprendre sa position d'attente. Ainsi, il faudra programmer votre synthétiseur avec un attaque rapide, une longue décroissance, aucun soutenu (c'est le rôle de la pédale) et un relâchement rapide lorsque vous souhaitez programmer un son de piano.

Schéma d'une enveloppe d'orgue

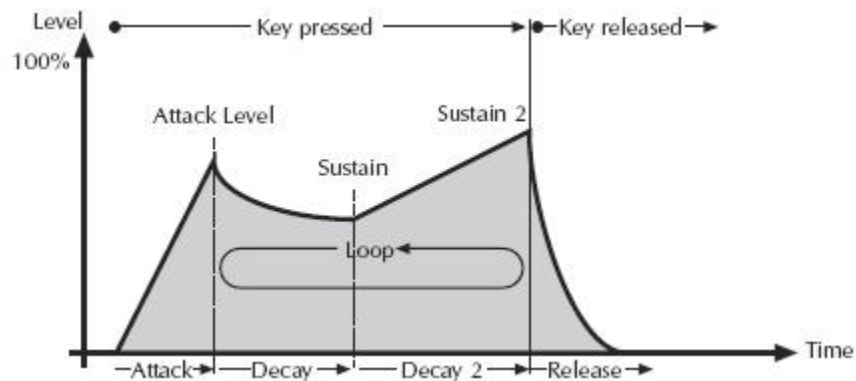


Dans ce cas, il n'y a aucune décroissance. Le son reste en phase de soutenu tant que l'instrumentiste maintient la touche enfoncée.

c) Enveloppes spéciales

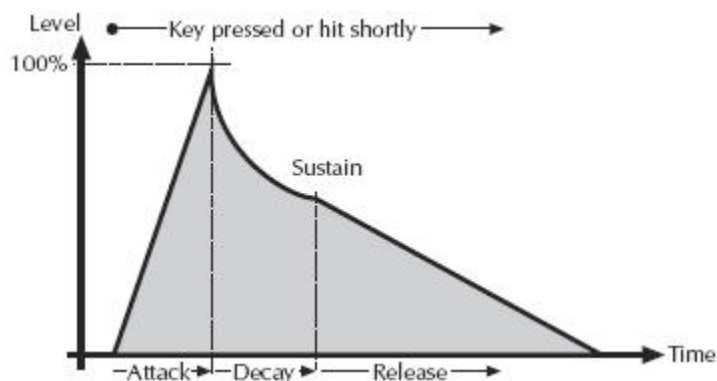
Certains sons ont une enveloppe spéciale type *loop*, *one shot* ou *reverse* qui permet d'obtenir des sons purement synthétiques ou qui correspond à un type de son bien particulier.

Exemple d'une enveloppe avec boucle (*loop*)



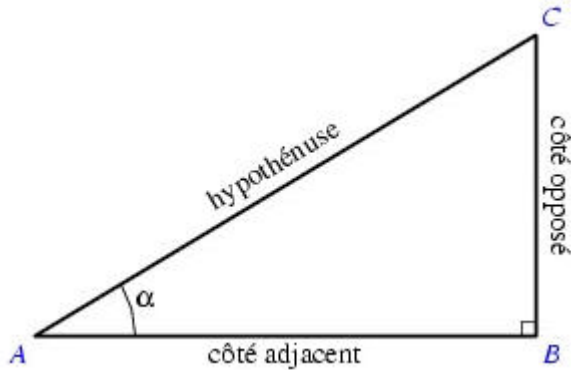
Avec ce type d'enveloppe, le son est mis en boucle entre la phases de soutenu 1 et celle de soutenu 2 tant que la touche est enfoncée. Ce qui veut dire que lorsque le son rentre en phase de soutenu 1, puis de décroissance 1, continue en phase de soutenu 2, puis de décroissance 2, et reprend le soutenu 1, etc. Nous sommes ici en présence d'une enveloppe que l'on qualifiera d'enveloppe ADS1DS2R. La boucle peut également comprendre l'attaque et le relâchement, ce qui fait que le son recommence à partir de zéro tant que la touche reste enfoncée.

Exemple d'une enveloppe à phase continue (*one shot*)



Cette enveloppe sied particulièrement bien aux percussions pour lesquels l'enveloppe progresse sans s'arrêter, quelle que soit la durée d'enfoncement de la touche. On obtient ainsi un effet de barrière (*gate*) suite à une attaque très percussive, rapide.

Exemple d'une enveloppe inversée (*reverse*)



Je n'ai pas de schéma d'enveloppe inversée (*reverse*) mais cette dernière est assez simple à visualiser à l'aide d'un triangle rectangle dont l'angle droit serait à droite. Imaginez que l'hypoténuse représente l'attaque, et que le côté opposé soit la décroissance. Une enveloppe inversée aura donc une longue, voire très longue attaque, et une décroissance réglée sur 0, d'où un son qui stoppe net, ce qui explique le caractère purement synthétique du son ; en d'autres termes, un son qui n'existe pas dans la nature. Si l'enveloppe inversée comporte un élément de soutenu, celui-ci sera long tout comme l'attaque, et le relâchement sera également sur 0.

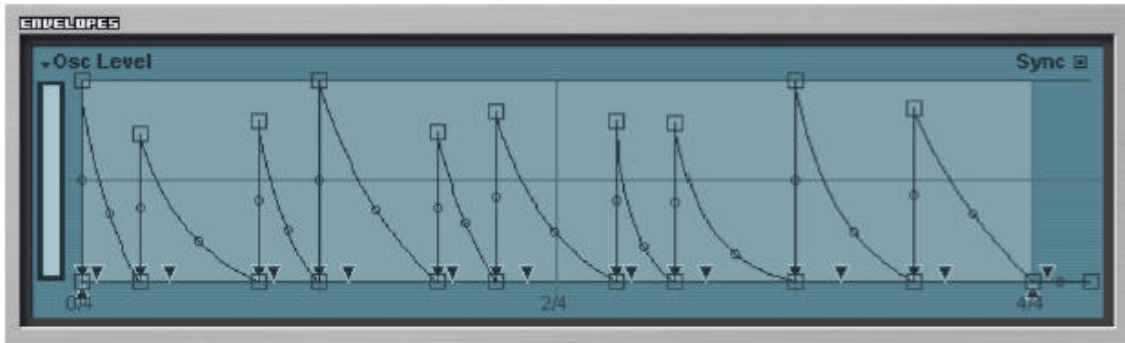
d) Conclusion

Il est important de bien connaître l'aspect typique de l'enveloppe d'un son si l'on veut programmer rapidement. Pour celui ou celle qui manque de pratique, réfléchissez au son que vous souhaitez obtenir et vous verrez que la disposition des commandes ADSR est finalement assez logique.

En ce qui concerne son usage, l'enveloppe va plus loin que le simple aspect de *shapping* du son. Avec certaines architectures de synthétiseur, l'enveloppe peut contrôler le volume d'un oscillateur ou encore le volume d'un patch. L'enveloppe peut également contrôler un filtre, et particulièrement le paramètre de *cut off* dans le temps afin d'obtenir un son plus clair ou plus sourd, mais également la résonance. Dans ce cas, l'enveloppe peut fermer progressivement le filtre, ou encore augmenter la résonance tandis que le filtre se ferme. Enfin, l'enveloppe peut aussi servir à moduler la hauteur de ton, une astuce qui permet de donner un léger trémolo (*wobble*) initial au son afin de le mettre en valeur.

Comprendre les bases d'une enveloppe ADSR, c'est également se préparer à passer à des enveloppes plus compliquées. Nous avons vu le schéma de l'enveloppe à huit phases du Casio CZ. Imaginez que des synthétiseurs virtuels tels Rhino ou Cameleon 5000 poussent la notion d'enveloppe à l'extrême. Avec Rhino, il est possible de dessiner soi-même sa propre enveloppe, ce qui peut s'avérer très utile pour créer des effets rythmiques (comme dans le schéma ci-dessous), tandis que Cameleon met en place un *morphing* qui permet de faire varier les enveloppes dans le temps.

Enveloppe d'oscillateur de Rhino



Pour en terminer avec les générateurs d'enveloppe, je dirai que cet élément de la synthèse analogique est aussi important que l'oscillateur, et même parfois plus important. En effet, il est possible de modifier un son par les enveloppes de façon au moins aussi radicale que de changer le type d'onde de l'oscillateur. La compréhension des enveloppes est également essentielle pour qui veut affiner sa technique d'échantillonnage.

Notons cependant que même les synthèses les plus avancées ne permettent pas encore de retrouver la complexité et la richesse des enveloppes des instruments acoustiques !

2 – L'amplificateur

L' amplificateur termine la chaîne de création d'un son. Son rôle est très simple et peut se décrire en quelques mots. L'amplificateur sert à déterminer le volume du signal analogique de l'oscillateur au filtre. En soi, il se compose d'un seul élément appelé VCA, acronyme du terme amplificateur commandé par tension (*voltage controlled amplifier*).

Sur un synthétiseur analogique, le VCA est représenté par le bouton de volume (*volume*) ou de niveau (*level*), ou encore de gain (*gain*).

Pas besoin d'en dire plus sur l'amplificateur. Passons donc à la phase suivante de l'explication de la synthèse analogique, j'ai nommé le LFO et les modulateurs.

Les modulateurs

Contrairement aux trois précédentes étapes de la création d'un son en synthèse analogique, l'usage du LFO et des autres modulateurs n'est pas obligatoire. Nous sommes ici en présence d'éléments de la synthèse analogique qui ne créent pas de son mais qui lui donnent du caractère. Certains de ces modules n'apparaissent pas sur les synthétiseurs analogiques, mais ils doivent être mentionnés afin d'avoir un aperçu complet de la question.

1 – L'oscillateur à basse fréquence

a) Définition du LFO

L'oscillateur à basse fréquence ou LFO, pour *Low Frequency Oscillateur* en anglais, est probablement le composant le plus communément rencontré sur les synthétiseurs analogiques après les oscillateurs, filtres et enveloppes. Le LFO ressemble aux oscillateurs qui produisent la base du son, à ceci près qu'il possède une fréquence de fonctionnement qui lui est propre, laquelle va rarement au-delà du minimum audible de 20Hz, et peut descendre jusqu'à 0,01Hz. Son amplitude peut également être telle qu'il faudra plusieurs minutes pour obtenir un cycle complet !

Nous avons vu que les oscillateurs audio servent à produire des formes d'onde audibles, même si elles sont parfois à la limite de ce que l'oreille humaine peut percevoir. En soi, le LFO ne produit pas de son, sa fonction exclusive est celle d'être un signal de contrôle, obtenu grâce à deux commandes principales que sont l'onde (*waveform*) et la fréquence (*frequency*), cette dernière intégrant une plage de fréquence (*frequency range*). Ceci veut dire que l'on peut qualifier le LFO de signal de modulation. Sur un synthétiseur analogique, il est courant de rencontrer les termes de vitesse (*speed*) ou taux (*rate*) pour la fréquence, et d'amplitude (*amplitude*) pour la plage de fréquence.

Le choix de l'onde du LFO est similaire à celui de l'oscillateur audio. Nous aurons donc un choix entre onde sinusoïdale, carrée ou en dent de scie, et parfois une onde en triangle. Dans le cas de l'onde en dent de scie, cette dernière peut être présente sous la forme d'une onde ascendante (*up*) ou descendante (*down*). Ceci est important car l'effet est différent puisque nous avons une fréquence qui monte avant de chuter rapidement dans le premier cas, et une fréquence qui chute avant de monter dans le deuxième cas.

b) Usage du LFO

Le LFO est contrôlé par la fréquence et la plage de fréquence, ce qui détermine la hauteur tonale du signal, tandis que l'amplitude sert à définir le volume de sortie du signal. Certains LFO sont munis d'un délai qui permet de retarder le volume de sortie. En général, ce délai est commandé soit par le fait d'enfoncer une touche, soit par le fait de jouer une note. Dans la pratique, à quoi sert le LFO ? Pour répondre à cette question, il faut séparer l'effet que possède le LFO sur les oscillateurs de celui qu'il possède sur les autres modules.

- LFO et oscillateurs

Pour comprendre l'influence du LFO, il faut l'appliquer avec ses ondes de base et voir l'effet qui en résulte.

Lorsque le LFO va intervenir, la tonalité en sortie sera fonction de l'effet du LFO. L'application la plus courante est d'envoyer un LFO avec onde sine d'environ 7Hz afin de créer un effet de vibrato. Pourquoi 7Hz ? La pratique montre que la variation de la hauteur tonale ne peut pas être beaucoup plus importante que 7Hz, sous peine d'obtenir un résultat qui n'est plus réaliste. A l'inverse, le vibrato peut être rendu encore plus réaliste si l'on applique un délai au LFO, ce qui est le cas pour une imitation d'un jeu à tempo lent sur les cordes d'un violon. Enfin, si vous augmentez l'amplitude du LFO, parfois indiquée par le terme contrôle de profondeur (*depth control*), le vibrato se transforme en variations de hauteur tonale, jusqu'à rendre un effet de sirène au son.

Remplacez l'onde sine du LFO par une onde en dent de scie. Que se passe-t-il ? Cette fois-ci, le LFO va suivre la forme en dent de scie, ce qui implique qu'il va monter et descendre selon le rythme de l'onde.

Enfin, choisissez une forme d'onde carrée pour le LFO. Du fait que l'onde carrée passe d'un niveau à un autre, on aura donc un son qui va osciller entre deux hauteurs tonales. Résultat, le LFO en onde carrée va nous permettre d'obtenir une trille si l'amplitude de l'onde est courte, et une plus grande distance entre deux notes si l'amplitude est importante.

- LFO et modules

L'avantage du LFO c'est qu'il ne se restreint pas à un usage avec les oscillateurs. Avec un système modulaire, il s'applique à n'importe quel autre module. Pour les synthétiseurs non modulaires, tout dépend du type de connexion présente.

Imaginez que le LFO est relié à la commande de volume. Avec un LFO en onde sine, vous obtiendrez cette fois-ci un effet de trémolo. Si vous reliez le LFO au filtre pour contrôler le point de coupure, une onde sine va permettre d'obtenir un effet proche du vibrato mais différent puisque le changement de tonalité sera plus subtile. Augmentez l'amplitude, et le LFO permet d'obtenir un effet de feulement (*growl*), parfait avec un sax ténor. Enfin, à des fréquences plus basses, le LFO va suivre la plage de fréquence et créer un effet de balayage (*sweep*) du filtre. Troisième possibilité, utiliser un LFO pour modifier l'amplitude d'une onde à impulsions. Nous avons vu en parlant de l'onde à impulsions que de changer son amplitude permet de changer son contenu harmonique (revoir l'explication de mark/space). Avec une *pulse wave*, le LFO aura pour effet de créer des variations dynamiques de la tonalité, souvent similaires à un effet de chorus.

c) Caractère créatif du LFO

Le LFO est un élément essentiel de la synthèse analogique. Avec les mêmes valeurs de base des trois éléments de création du son, le LFO permettra à deux patches de sonner complètement différemment l'un de l'autre. Non seulement le LFO donne du caractère au son, mais il permet de lui donner également du mouvement.

Nous avons vu qu'il permet d'obtenir quatre modulations de base :

- modulation de la hauteur tonale = effet de vibrato
- modulation de l'amplitude = effet de tremolo
- modulation de la coupure du filtre = effet de wah-wah
- modulation de l'onde à impulsion = effet de chorus

Mais il permet bien plus.

Tout d'abord, il est vraisemblable qu'avec un synthétiseur polyphonique vous aurez un LFO par voie. Ceci est parfois « caché » car l'onde et la vitesse du LFO ne seront pas réglables individuellement, mais si tel est le cas, vous pourrez alors faire osciller les LFO indépendamment, ce qui donne un relief important au son. Ce que les anglais qualifient de *lush* ou *shimmer*, que l'on peut illustrer comme se qui fait le « gros » son des cordes de Vangelis.

Deuxièmement, il peut être possible de régler le LFO selon un signal d'horloge. L'application la plus courante ici est de bloquer la fréquence du LFO, c'est-à-dire sa vitesse ou son taux, en fonction du séquenceur. Post 1983, cette synchronisation peut être commandé par une horloge MIDI.

Une autre application est de régler le LFO de manière aléatoire en choisissant *random* si cela est possible. Le son produit ne sera pas si bizarre que cela si l'amplitude est relativement limitée.

Enfin, avec les synthétiseurs qui possèdent plusieurs sorties, le LFO peut servir à contrôler la panoramique en faisant passer le son d'une sortie à l'autre par un effet de balayage, ce dernier pouvant être régulier si le LFO est une onde sine ou triangle.

Le coin du geek – la division d'horloge du LFO

En général, la synchronisation du LFO par horloge se fait sur la base de 24 ppq, acronyme de *pulses per quater note*, ou nombre de pulsations par noire. Il est évident que ceci est bien trop rapide pour obtenir un résultat satisfaisant car 24 pulsations par noire = une pulsation tous les 1/96 de ronde ! Les synthétiseurs analogiques offrent donc souvent le réglage de division d'horloge (*clock division*). L'usage de cette dernière est assez simple. En réglant la *clock division* sur 6, j'obtiens 4 pulsations par noire (4 ppq), soit l'équivalent d'une double croche (*sixteenth note*). En réglant sur 12, j'aurai 2 ppq, à savoir une croche. Enfin, en réglant sur 8, j'obtiens 3 ppq, à savoir un triolet, etc. Voilà qui permet donc de mieux quantifier la vitesse d'intervention du LFO par rapport au rythme de la séquence.

Certains synthétiseurs numériques modernes offrent une grande étendue de contrôle du LFO par horloge interne ou externe. Dans le cas du Virus C, qui possède trois LFO, le tempo peut être réglé de 63 à 190 bpm avec des intervalles de rythme de 1/4, 1/6, etc... assignés à Clock LFO1, Clock LFO2, Delay Clock... En mode Multi, tous les Programs répondent à une horloge commune ; on peut donc créer des patches monstres qui auront tous le même mouvement rythmique. En mode Program, les LFO peuvent avoir des horloges différentes, d'où des patches plus complexes.

2 – Autres éléments de modulation

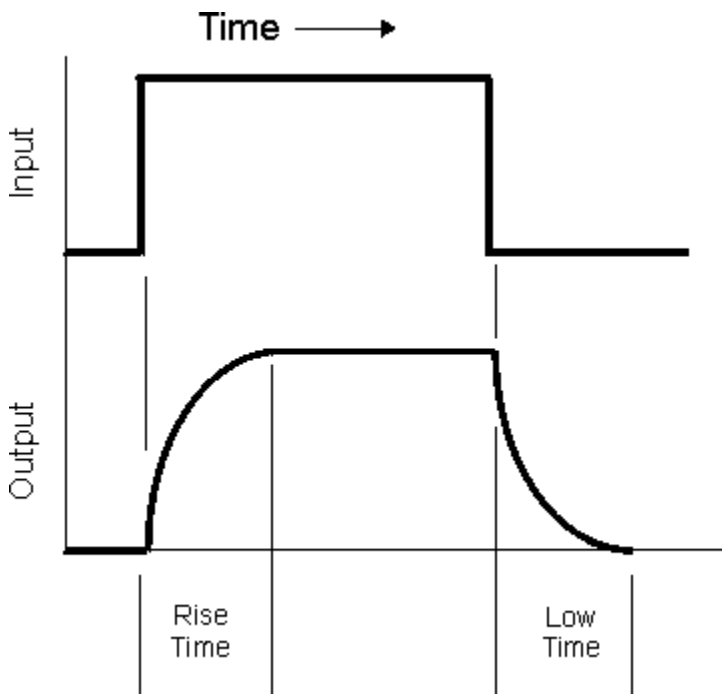
a) Fonction de glissement, le *glide*

Quasiment tous les synthétiseurs analogiques permettent de faire glisser la hauteur tonale entre les notes. Ce glissement est similaire à celui réalisé par la molette ou le joystick de *pitch*, que l'on pousse horizontalement vers la droite ou vers la gauche, mais il est entièrement automatique. C'est ce que l'on appelle le *glide* ou *portamento*, dont le réglage est souvent proche des oscillateurs. Normalement, le réglage est simple, il permet de contrôler la vitesse de la transition continue de la hauteur tonale entre les notes, ce qui est nécessaire pour obtenir un effet correspondant au tempo de ce qui est

joué par l'instrumentiste. Parfois, le réglage de la fonction glide permet de contrôler selon que la transition est montante (*rise*) ou descendante (*low*), pour obtenir un portamento différent entre ré-mi ou ré-do.

En électronique, l'appareil qui sert à réaliser le portamento est appelé *slew limiter* en anglais, soit limiteur de balayage rapide, parfois rencontré sous l'appellation *lag*. On parle de limiteur car son rôle est de contrôler le taux maximum de fluctuation du signal de tension. Pour cela, la tension de commande de hauteur tonale est envoyée vers l'entrée du limiteur, lequel renvoie le signal vers l'oscillateur.

Représentation graphique de l'effet de portamento.



Si la fonction *Glide* est principalement utilisée pour obtenir un effet de portamento, elle a néanmoins d'autres utilisations, certaines moins évidentes.

Elle peut servir en tant que générateur d'enveloppe simple. Pour cela, la sortie du clavier est dirigée vers l'entrée du module de glissement, et la sortie du module de glissement est dirigée vers un amplificateur, filtre ou oscillateur. Le volume du glissement appliqué permettra de contrôler le temps d'attaque et le temps de relâchement. Le module *Glide* peut également servir de délai. Dans ce cas, router le signal par le *slew limiter* facilite la création d'enveloppes à plusieurs étapes (*multistage envelops*) et permet également d'obtenir une réponse inhabituelle du jeu au clavier. Le module de glissement est aussi une forme de filtre passe-bas ; en effet, si l'on envoie un signal avec des harmoniques vers le *slew limiter*, on peut alors atténuer les hautes fréquences en réglant son bouton de volume ou de niveau. Enfin, il est possible de s'en servir avec un réglage fin pour faciliter le jeu legato au clavier.

b) Fonction de mélange des signaux, le *mixer*

Le mixeur est un élément simple à comprendre mais ne sous-estimons simplicité et résultat. Son rôle est de mélanger (*to mix* en anglais) des signaux provenant de sources sonores différentes.

Sur la plupart des synthétiseurs, il est possible de mélanger des signaux audio et des signaux de tension de commande. Dans ce cas, il est vraisemblable que l'architecture du synthétiseur mette en œuvre un mixeur pour les signaux audio et un autre mixeur pour les tensions de commande. La différence entre les deux modes de mixage tient à la nature du signal mélangé. En effet, un mixeur audio se contente d'effectuer un calcul linéaire pour l'addition des signaux. En revanche, le mixeur de tension est probablement exponentiel ou logarithmique. Voyons en détail ce que ceci veut dire.

- Mixage linéaire ou logarithmique

Le mixeur linéaire fait une simple addition des valeurs des signaux d'entrée. Par exemple, trois signaux de 1V, 3V et 5V nous donnerait un signal de sortie de 9V. Cependant, l'oreille humaine n'entend pas de façon linéaire. En effet, il faut augmenter l'amplitude d'un signal audio de plusieurs degrés pour que nous percevions un signal deux fois plus fort, notre ouïe répond à un signal logarithmique. Pour la programmation de synthétiseur analogique, cette différence entre signal linéaire ou signal logarithmique signifie qu'il faudra faire attention à utiliser le bon mixeur sous peine d'obtenir des résultats bizarres.

- En pratique

Imaginons un synthétiseur à quatre VCO. Le signal de chacune de ces quatre VCO est dirigé vers un mixeur. Intervient ensuite la VCF, puis la VCA, la commande ADSR agissant sur la VCA. Pour comprendre ce qu'est un signal logarithmique, nous utilisons quatre ondes sine d'octave différente. Passons donc la VCO1 sur 2', la VCO2 sur 4', la VCO3 sur 8' et la VCO4 sur 16'. Utilisez maintenant le mixeur pour voir comment le signal de sortie change. Par exemple, si vous réglez la VCO4 à 100%, la VCO3 sur 50%, la VCO2 sur 30% et la VCO1 sur 25%, vous obtenez un signal de sortie qui ressemble à une onde en dent de scie. Je vous renvoie ici à la partie du didacticiel sur le contenu harmonique des ondes. Maintenant, essayez des réglages différents des quatre VCO et écoutez le résultat.

Un autre usage peut être de créer un son de cloche. Réglez les trois premières VCO, VCO1 sur 2', VCO2 sur 4' et VCO3 sur 16'. Changez la tonalité de la VCO3 de quatre demi-tons supérieurs ; ainsi, jouer un do sonnera comme jouer un mi. Maintenant, réglez la VCO4 sur 4' et augmentez sa tonalité de cinq demi-tons de façon à ce qu'un do sur le clavier sonne comme un fa. En réglant le volume des différentes VCO, vous devez obtenir une cloche ou de carillon.

Enfin, un autre usage du mixeur peut être de fournir plus de signaux d'entrée à un module sonore qui n'en possède qu'un ou deux. Pour cela, imaginons que la fréquence de coupure d'un filtre ne possède qu'une seule sortie mais que vous souhaitez la contrôler avec l'ADSR, un LFO et le clavier. Et bien connectez les trois signaux de sortie à un mixeur et branchez la sortie du mixeur sur le filtre.

c) Fonction d'inversion des signaux, l'*inverter*

Attention, le terme *inverter* peut prêter à confusion. Il ne s'agit pas ici de l'*inverter* au sens d'onduleur, à savoir un dispositif qui sert à transformer le courant continu en courant alternatif.

Ce module est rarement présent sur les synthétiseurs câblés. D'ailleurs, je n'ai aucun exemple en tête vu que les seules machines munies d'un inverseur qui me viennent à l'esprit sont le Korg MS-20, l'ARP 2600, des synthétiseurs semi-modulaires. Parfois, des modifications ont été apportées à des synthétiseurs câblés dont l'ajout d'un inverseur. C'est le cas pour le Pro-One de chez Sequential Circuit, ou encore l'ARP Odyssey. A quoi sert l'inverseur et quel est son usage pratique ?

L'inverseur est un circuit très simple. Il inverse la tension du signal. Si le signal d'entrée est 5V, le signal de sortie de l'inverseur est -5V. Lorsqu'il est présent, l'inverseur se trouve sur le module d'enveloppe, et parfois sur les commandes du mixeur pour rendre le signal de sortie symétrique.

Dans la pratique, un inverseur est un formidable outil créatif. Par exemple, avec un signal où le son est brillant puis devient touffu, l'inverseur va commencer avec un son touffu puis le rendre brillant. Il est également possible de faire le routage d'une enveloppe inversée ; on peut donc l'utiliser pour contrôler la résonance du filtre, l'amplitude d'une onde à pulsation, pour contrôler la VCA, etc.

Pour ceux qui possède une machine avec inverseur, essayez les deux applications suivantes.

- Le signal suit le chemin VCO -> VCF -> VCA. Le module ADSR contrôle normalement la VCF et la VCA. Réglez l'inverseur ADSR sur la VCO. Nous obtenons un effet de sifflement avec un *pitch bend* de la tonalité vers le haut ou vers le bas, selon le réglage de l'inverseur.

- Envoyez le signal de sortie de la LFO vers la VCA1, tandis que le même signal de sortie est envoyé vers l'inverseur avant d'aller vers la VCA2. Lorsque le LFO est en cycle positif, la VCA1 est complètement ouverte alors que le signal de l'inverseur force la VCA2 à être fermée. Tandis que la LFO poursuit son cycle, elle ferme doucement la VCA1 et ouvre doucement la VCA2, ce qui provoque un effet de panoramique. EN réglant la LFO sur une fréquence de 1Hz, on obtient un effet de balayage. Avec des fréquences plus élevées, on augmente l'effet de panoramique jusqu'à obtenir un effet de trémolo. Et si l'effet de panoramique est trop fort, il suffit d'augmenter le signal d'entrée de la VCA.

d) Fonction de réduction des signaux, l'*envelope follower*

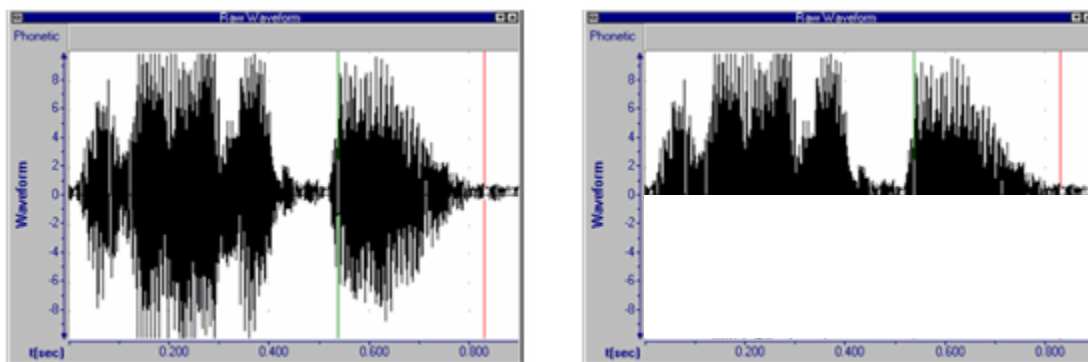
Le suiveur d'enveloppe intervient à la sortie audio du synthétiseur. Il convertit la courbe de niveau du signal, son enveloppe, en une tension de commande. Cette tension de commande est alors assignée à des paramètres de réglage qui sont modulés en fonction du signal audio. Par exemple, si vous jouez avec la VCA, vous pouvez contrôler la dynamique du synthétiseur. En jouant avec le filtre, vous créez un effet type wah-wah du fait du contrôle de la tension.

En fait, le suiveur d'enveloppe est en quelque sorte le pont entre le contrôle du signal audio et celui du signal de commande. Pour cela, le suiveur d'enveloppe retire une

partie du son du signal audio et envoie son enveloppe dans le synthétiseur. Pour visualiser l'effet, imaginez que vous ayez ouvert un fichier audio dans un logiciel qui vous présente son aspect graphique. Vous avez une ligne au milieu et le signal audio indique des crêtes de chaque côté de la ligne. L'effet du suiveur d'enveloppe va être de supprimer du signal audio toutes les crêtes qui sont en-dessous de la ligne de partage.

Là également, nous verrons des applications pratiques. Retenez pour l'instant que lorsqu'un DJ parle et que le son de la chanson diminue alors qu'il parle, ce que les anglais appellent effet de *ducking* (baisser la tête, esquiver), vous avez un suiveur d'enveloppe en action. Son intérêt en synthèse analogique va être de faire qu'un signal audio pourra réduire l'amplitude d'un autre signal audio.

Schéma du signal audio sans (gauche) et avec (droite) suiveur d'enveloppe



e) Le modulateur en anneau ou *ring modulator*

Le modulateur en anneau est une invention du monde des télécommunications (tout comme le vocoder d'ailleurs) qui permettait d'avoir plusieurs téléphones sur une même ligne. Le terme « anneau » provient du fait que les premiers modulateurs étaient conçus avec quatre diodes, d'où la disposition en anneau. Il a très vite trouvé une application en synthèse analogique, la raison principale étant qu'il permet d'obtenir des sons de type métallique impossibles à créer avec les oscillateurs standard ; il sert également à manipuler le signal audio.

Le modulateur en anneau est un mixeur spécial qui possède une entrée et deux sorties. Le signal de sortie est la combinaison de l'addition et de la soustraction des deux fréquences d'entrée. Prenons un exemple simple. En synthèse analogique, la note de référence est le la, ou A4, qui correspond à 440 Hz, et le do qui suit, C4, a une fréquence de 523,25 Hz. Si j'envoie ces deux signaux vers un modulateur en anneau, j'obtiens une addition de 963,25 Hz et une soustraction de 83,25 Hz. Comme 963,25 Hz tombe entre si bémol – B5b (932,33 Hz) et si – B5 (987,77), et que la valeur la plus proche de 83,25 Hz est mi – E2 (82,407 Hz), il en résulte que le modulateur en anneau produit une dissonance parce qu'il contient des harmoniques qui ne font pas partie des séries d'harmoniques naturelles. Elles sont cependant parfaites pour émuler des sons métalliques car les partiels produits sont en nombre impair.

L'application classique du modulateur en anneau consiste à envoyer VCO1 et VCO2 vers le *ring modulator*, la sortie du *ring modulator* vers la VCA, et la commande ADSR vers la VCA.

Là où les choses se compliquent, c'est le réglage des oscillateurs, ou plutôt le réglage de la tonalité des oscillateurs. Les meilleurs résultats sont ceux où les fréquences des signaux d'entrée ont un rapport harmonique le plus proche, ce qui n'est pas le cas du système occidental puisque nous utilisons un clavier tempéré. Enfin, une application intéressante est d'envoyer un LFO à l'un des oscillateurs avant que le signal n'atteigne le modulateur en anneau.

Il est possible d'acheter un module externe pour appliquer une modulation en anneau à des instruments qui en sont dépourvus. C'est le but du ring modulator de chez Black Cat, de la pédale Moog MF-102, du Blue Modulator V2 de chez Frostwave, ou encore de la pédale DOD FX-13.

Ce qui est intéressant de retenir c'est la raison pour laquelle le modulateur en anneau possède une sonorité métallique. Dans son développement par le monde des télécommunications, il peut se composer de deux signaux, *carrier* et *modulator*, pour produire de la modulation de fréquence. Dans ce cas, le son est multiplié par une onde sine, ce qui a pour effet de créer ce que l'on appelle des bandes latérales, *sidebands* en anglais, dans le spectre sonore. Ce sont ces dernières qui sont responsables de la sonorité métallique apporté par le modulateur en anneau.

Conclusion

Nous en avons terminé avec la partie théorique du didacticiel. Normalement, celui ou celle qui a bien suivi doit maintenant avoir compris les bases de la création d'un son en synthèse analogique et les procédés qui permettent de le transformer.

Avant de passer à la partie pratique, là où nous allons parler d'exemples et d'applications des techniques décrites dans la première partie, il me semble judicieux de parler rapidement des autres synthèses utilisées pour créer des sons. En effet, grâce à la connaissance que vous venez d'acquérir, il va être relativement simple de comprendre ce en quoi les autres synthèses diffèrent.

- Synthèse FM

D'application ardue, elle est néanmoins simple à comprendre. FM est l'acronyme anglais de modulation de fréquence. A la base, il s'agit d'un signal appelé le signal porteur (*carrier*) qui va transformer un autre signal appelé signal modulateur (*modulator*). Appliquée par Yamaha et le DX7, cette synthèse signifie que le timbre d'une onde va produire une tonalité différente en fonction de la fréquence de modulation du signal original.

- Distorsion de phase (*phase distortion*)

C'est l'application par Casio d'une technique similaire à la FM mise en œuvre par Yamaha. Dans les deux cas, le principe est une modulation de phase, mais il s'agit ici d'appliquer une distorsion à des ondes sine en ROM, ce qui produit des ondes plus complexes qui ont tendance à se transformer peu à peu en onde en dent de scie, d'où le caractère typiquement brillant des sons du CZ.

- Table d'ondes (*wavetables*)

Base de la synthèse chez PPG et les premiers Waldorf, il s'agit de remplacer les oscillateurs par des échantillons d'instrument dont on aura réduit l'étendue à un seul cycle harmonique. On obtient alors un contenu harmonique qui peut être généré mathématiquement pour fournir le son de base. En cela, la synthèse par table d'ondes est similaire à la synthèse additive puisqu'on ajoute plusieurs éléments de base pour créer un son, la différence est que l'élément de base est dérivé d'un échantillon et non un oscillateur. Les synthétiseurs type PPG ou MicroWave ont en général une table comprenant entre 32 et 64 ondes.

- Synthèse additive

Nous avons vu que la synthèse analogique est essentiellement une synthèse soustractive. On part d'un contenu harmonique riche que l'on réduit peu à peu pour obtenir un son. La synthèse additive va créer un timbre en combinant plusieurs ondes à la tonalité différente, chacune ayant sa propre amplitude. On utilise pour cela plusieurs banques d'oscillateurs qui sont réglés selon une fréquence de base ou de référence. L'avantage est de pouvoir influencer sur chaque oscillateur et produire des sons qui évoluent rythmiquement. Un exemple de synthétiseur à synthèse additive est le Kawai K5000 qui possède 50 oscillateurs.

- Synthèse PCM ou S&S

PCM est l'acronyme de Pulse Code Modulation, ce qui veut dire représentation sous forme numérique d'un signal analogique échantillonné à intervalles réguliers. En d'autres termes, il s'agit d'un échantillon d'instrument réel ou synthétique qui va servir de base à la création du son. Ici, le traitement est le même qu'en synthèse analogique standard, à savoir que l'échantillon remplace l'oscillateur, S&S (*sample & synthesis*) voulant dire échantillon + synthèse.

APPLICATIONS DE LA SYNTHÈSE ANALOGIQUE

Si ce n'est déjà fait, procurez-vous le logiciel SoundSchool Analog auquel il est fait référence au début du didacticiel.