

11-Modulation en anneau et trémolo

Multiplier les signaux

Dans le didacticiel précédent, nous avons ajouté des sinusoïdes ensemble pour créer un son complexe. Dans ce chapitre, nous allons voir comment un effet très différent peut être obtenu en **multipliant** des signaux. Multiplier une onde par une autre - c'est-à-dire la multiplication de leurs amplitudes instantanées, échantillon par échantillon - crée un effet connu sous le nom de **modulation en anneau** (ou, plus généralement, de modulation d'amplitude). La «modulation» dans ce cas signifie simplement «changement»; l'amplitude d'une forme d'onde est modifiée en permanence par l'amplitude d'une autre.

Dans notre exemple de patch, nous multiplions deux sons sinusoïdaux. La modulation en anneau (multiplication) peut être réalisée avec n'importe quel signal. En fait, les utilisations les plus intéressantes sur le plan sonore de la modulation en anneau impliquent des sons complexes. Cependant, nous allons nous en tenir aux sons sinusoïdaux dans cet exemple, dans un souci de simplicité, pour vous permettre d'entendre clairement les effets de la multiplication des signaux.

Le patch du tutoriel contient deux objets `cycle ~` et la sortie de chacun d'eux est connectée à l'une des entrées d'un objet `* ~`. Cependant, la sortie de l'un des objets `cycle ~` est tout d'abord mise à l'échelle par un objet `* ~` supplémentaire, ce qui permet de contrôler l'amplitude globale du résultat. (Sans cela, l'amplitude globale du produit des deux objets `cycle ~` serait toujours égale à 1.)

Trémolo

Lorsque vous ouvrez le patch du didacticiel pour la première fois, un objet `loadbang` initialise la fréquence et l'amplitude des oscillateurs. Un oscillateur est à une fréquence audio de **1000** Hz. L'autre est à une fréquence sub-audio de 0,1 Hz (un cycle toutes les dix secondes). La tonalité de 1000 Hz est celle que nous entendons (on l'appelle l'oscillateur porteur) et elle est modulée par l'autre onde (appelée le modulateur) de sorte que nous entendons l'amplitude de la tonalité de 1000 Hz descendre à 0 à chaque fois que le cosinus de 0,1 Hz passe à 0. (deux fois par cycle, c'est-à-dire une fois toutes les cinq secondes.)

- Cliquez sur `ezdac ~` pour activer l'audio et augmenter le volume sur le curseur de `gain ~`. Vous entendrez l'amplitude de la tonalité de 1000 Hz augmenter et diminuer selon la courbe du cosinus du modulateur, qui effectue un cycle complet toutes les dix secondes. (Lorsque le modulateur est négatif, il inverse la porteuse, mais nous n'entendons pas la différence et l'effet est donc de deux chutes d'amplitude équivalentes par période de modulation.)

L'amplitude est égale au produit des deux ondes. Comme l'amplitude maximale de la porteuse est égale à 1, l'amplitude globale est égale à l'amplitude du modulateur.

- Faites glisser la boîte de `nombre` intitulée **Amplitude** pour régler le son à un niveau confortable. Cliquez sur la boîte de `message` contenant le chiffre **1** pour modifier le taux du modulateur.

Lorsque le taux du modulateur est réglé sur **1**, vous entendez l'amplitude descendre à 0 deux fois par seconde. Une telle fluctuation périodique de l'amplitude est appelée **tremolo**. (Notez que ce terme est différent de celui de vibrato, terme généralement utilisé pour décrire une fluctuation périodique de la hauteur ou de la fréquence.) La vitesse perçue du trémolo est égale à deux fois la vitesse du modulateur, puisque l'amplitude passe à 0 deux fois par cycle. Comme décrit à la page précédente, la modulation en anneau produit les fréquences de somme et de différence. De sorte que vous entendez en fait les fréquences 1001 Hz et 999 Hz, ainsi que les battements à 2 Hz dû à

l'interférence entre ces deux fréquences.

- Un à un, faites glisser les boîtes de *message* contenant **2** et **4**. Quels taux de trémolo entendez-vous ? Le son est toujours semblable à un son unique d'amplitude fluctuante, parce que les tons de somme et de différence sont trop proches en fréquence pour que vous puissiez les séparer avec succès, mais pouvez-vous calculer les fréquences que vous entendez réellement ?
- Essayez maintenant de régler la fréquence du modulateur sur 8 Hz, puis sur 16 Hz.

Dans ces cas, la fréquence du trémolo se situe à la limite de la plage audio. Nous ne pouvons plus entendre le tremolo comme des fluctuations distinctes, et le tremolo ajoute simplement une sorte de "rugosité" unique au son. Les fréquences de somme et de différence sont maintenant suffisamment éloignées pour ne plus fusionner dans notre perception comme un seul son, mais elles se trouvent toujours dans ce que les psycho acousticiens appellent la bande critique. Dans cette **bande critique**, nous avons du mal à entendre les deux sons séparés comme un intervalle de hauteur, probablement parce qu'ils affectent tous deux la même région de notre membrane basilaire.

Bandes latérales

- Essayez de régler le taux du modulateur sur 32 Hz, puis 50 Hz.

Avec un taux de modulation de 32 Hz, vous pouvez entendre les deux sons comme un intervalle de hauteur (environ une seconde mineure), mais la sensation de rugosité persiste. Avec un taux de modulation de 50 Hz, la somme et la différence des fréquences sont de 1050 Hz et 950 Hz - un intervalle de hauteur presque aussi grand qu'une seconde majeure - et la rugosité a pratiquement disparu. Vous pouvez également entendre le taux de trémolo lui-même, comme un ton à 100 Hz.

Vous pouvez constater que ce type de modulation produit de nouvelles fréquences qui ne sont pas présentes dans les tons de la porteuse et du modulateur. Ces fréquences supplémentaires, situées de part et d'autre de la fréquence porteuse, sont souvent appelées bandes latérales.

- Écoutez les taux de modulation restants.

À certaines taux de modulation, toutes les bandes latérales sont alignées dans une relation harmonique. Avec un taux de modulation de 200 Hz, par exemple, le taux de trémolo est de 400 Hz et les fréquences de somme et de différence sont de 800 Hz et 1200 Hz. De même, avec un taux de modulation de 500 Hz, le taux de trémolo est de 1000 Hz et les fréquences de somme et de différence sont de 500 Hz et 1500 Hz. Dans ces cas, les bandes latérales fusionnent plus étroitement en un seul son complexe.

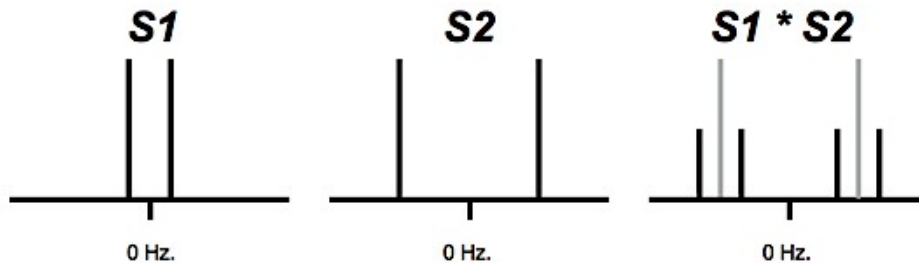
- Expérimentez avec d'autres fréquences de porteuses et de modulantes en saisissant d'autres valeurs dans les objets de la boîte de *nombre*. Notez comment différents rapports de fréquences créent des bandes latérales harmoniques (ou inharmoniques) différentes.

Détail technique: *la multiplication des formes d'onde dans le domaine temporel est équivalente à la convolution des formes d'onde dans le domaine fréquentiel. Une façon de comprendre la convolution consiste à superposer un spectre à chaque fréquence d'un autre spectre. Etant donné deux spectres S1 et S2, dont chacun contient de nombreuses fréquences différentes, toutes à des amplitudes différentes, effectuez une copie de S1 à l'emplacement de chaque fréquence de S2, chaque copie étant mise à l'échelle par l'amplitude de cette fréquence particulière de S2.*

Puisqu'une onde cosinusoidale a une amplitude égale aux fréquences positives et négatives, son spectre contient de l'énergie (également divisée) à la fois à f et à $-f$. Lorsqu'elle est convoluée avec

une autre onde cosinusoïdale, une copie mise à l'échelle (des composantes de fréquence positive et négative) de la première onde est centrée autour des composantes de fréquence positive et négative de l'autre.

Spectrum S1, centered upon (and scaled by) each component of S2, results in $S1 * S2$



Résumé

La multiplication de deux signaux numériques est comparable à la technique audio analogique connue sous le nom de **modulation en anneau**. La modulation en anneau est un type de **modulation d'amplitude** - elle modifie l'amplitude d'un son (appelée **porteuse**) en fonction de l'amplitude d'un autre son (appelée **modulateur**). La multiplication des signaux dans le domaine temporel est équivalente à la convolution des spectres dans le domaine fréquentiel.

La multiplication d'un signal audio par un signal sub-audio entraîne des fluctuations régulières d'amplitude appelées **tremolo**. La multiplication des signaux crée des **bandes latérales** - des fréquences supplémentaires qui ne sont pas présentes dans les tonalités d'origine. La multiplication de deux sons sinusoïdaux produit de l'énergie à la somme et à la différence des deux fréquences. Cela peut créer des battements dus à l'interférences d'ondes de fréquences similaires, ou créer un son complexe fusionné lorsque les fréquences sont liées de manière harmonique. Lorsque deux signaux sont multipliés, l'amplitude de sortie est déterminée par le produit des amplitudes de la porteuse et du modulateur.