

Rétro-action, instabilité, chaos.

Feedbass, no-input flûte, Le pendu de Foucault (Michel).

Dr. Ferrand & Mr. Rébus

Lorsque notre planète se réchauffe, des régions dont le sol est habituellement gelé tout au long de l'année (permafrost) « fondent » et relâchent dans l'atmosphère des gaz (méthane, etc...) stockés dans ces sols depuis des milliers d'années, et ayant pour propriété d'amplifier l'effet de serre et le réchauffement induit.

Il s'agit d'un cas modèle de *boucle de rétro-action*: l'effet du réchauffement influe sur celui-ci (dans le cas présent, pour l'amplifier). Bien entendu, la description ci-dessus est bien trop naïve pour rendre compte de ce qui se passera vraiment dans les régions froides. D'ailleurs, même si elle était réaliste, la configuration décrite conduirai à un emballement tel que l'on sortirai rapidement du domaine de validité des hypothèses.

Un phénomène du même type arrive lorsqu'on injecte dans un système de sonorisation le son capté par un micro situé à proximité des haut-parleurs. Le bruit de fond capté par le micro s'amplifie rapidement, arrive à saturer le système qui se fixe alors sur une fréquence dépendant de différents paramètres. Le « Larsen » ainsi produit est en général considéré comme nuisible, et on cherche à éviter cette situation. On peut aussi essayer d'en tirer parti (voir « no-input flûte » ci dessous).

Au niveau électronique, dans les circuits analogiques traditionnellement utilisés pour créer des sons, on utilise souvent ces boucles de rétroaction (filtres, oscillateurs, etc...). Dans le monde numérique, un moyen efficace de générer des signaux sinusoïdaux est de simuler numériquement ce phénomène de Larsen.

C'est ce procédé élémentaire de création de sons par Larsen sonore qui est mis en oeuvre dans ma « **no-input flûte** ». L'embouchure est juste remplacée par un petit micro. La fréquence du Larsen ainsi produit dépend, entre autres choses, de la longueur du tuyau fermé dans lequel le micro est enfermé. Ainsi, lorsqu'on bouche les trous de la flûte, on change la hauteur du son produit. En installant des micros dans des tubes en carton de longueurs différentes, on pourrait réaliser ainsi une sorte d'orgue à Larsen (mais qui serait alors essentiellement monophonique). Schématiquement, la boucle de rétro-action est la suivante:

...haut-parleur => flûte => micro => haut parleur...

Dans la « **no-input flûte** », il faut remarquer que le son n'a pas d'origine physique bien localisée: il sort des hauts parleurs, mais il n'existerait pas sans la flûte qui sélectionne la fréquence de Larsen. Tous les éléments du système sont en interaction réciproque, et la modification de petits paramètres, tel que la position de la flûte par rapport aux haut-parleurs, peut rendre les équilibres *instables* et induire des changements drastiques dans le son produit.

Lorsque la saturation est atteinte et que les paramètres sont fixés, un système comportant une telle boucle de rétro-action va en général aboutir à un comportement fixé sur une fréquence bien déterminée. Dans la « **Feedbass** », une corde tendue, en alliage fer-nickel, vibre au contact du cône d'un haut-parleur. Ce haut parleur est alimenté par un amplificateur, qui multiplie le signal issu d'un petit capteur magnétique dont le rôle est de traduire en signal électrique les vibrations de la corde. On a ainsi le schéma de rétro-action suivant:

... corde => capteur => ampli=> haut-parleur => corde ...

Même si l'on excite pas la corde, la moindre fluctuation est rapidement amplifiée et une fréquence bien définie s'installe très rapidement. La corde oscille seule, un son continu est produit, dont la fréquence peut être contrôlée en agissant sur la longueur de la corde, comme sur une contrebasse classique.

On peut donc contrôler les fréquences choisies par les systèmes en rétro-action à saturation en agissant sur certains paramètres. On peut aussi faire dépendre ces paramètres de grandeurs telles que l'intensité du signal, afin de s'opposer à la tendance saturante. Dans les systèmes sonores décrits ici, un tel contrôle peut s'exercer facilement au niveau électronique, juste avant la phase d'amplification. Pour des lois de dépendances bien choisies, gouvernant essentiellement des paramètres spectraux (filtrage) on peut obtenir des comportements dynamiques très complexes.

La description mathématique de ce genre de systèmes reste, en principe, élémentaire. Mais le comportement des solutions (que l'on ne sait pas calculer explicitement) peut être en grande partie imprévisible, chaotique, en tous cas très dépendant des valeurs des paramètres. Ce constat effectué par les mathématiciens depuis la fin du XIX^{ème} siècle est une grande leçon de modestie, qui relativise l'intérêt qu'il y a à vouloir tout mettre en équation et les naïvetés réductionnistes de ce genre.

Mais se constat n'est pas à prendre sur le mode négatif: le fait de savoir que des dynamiques complexes, imprévisibles, peuvent surgir de règles simples, (notamment lorsqu'on est en présence de boucles de rétro-action intriquées), est en soi très instructif. Il doit en particulier nous rendre très prudent lorsqu'on agit sur les paramètres de notre environnement (climat, etc...). Plus modestement, on peut essayer de tirer parti de cette richesse irréductible dans le domaine artistique, musical.

La est l'ambition du « **Pendu de Foucault (Michel)** », installation où la boucle de rétro-action concerne non pas le son proprement dit, mais le champ magnétique produit par une sorte de haut-parleur géant (un gros baril métallique sur lequel est fixé une bobine mobile). Cette bobine se meut en fonction du champ magnétique capté par une autre bobine, pendue au dessus du baril. Entre les deux, est situé un système de filtres convenablement contrôlés par le signal qui les traverse. Le point clé est que les mouvements de la petite bobine pendue sont fortement tributaires du champ magnétique produit par le baril, et sont entretenus par celui-ci. Or le signal qui émane de la petite bobine dépend fortement de son mouvement.

... => mouvement du pendule => signal =>

=> filtre modulé => amplification =>

=> Bobine fixée au baril => mouvement du pendule => ...

On conçoit que ces degrés de liberté rendent possibles toute une gamme de régimes différents. Avec de bons réglages du filtre, on peut observer non-seulement un signal sonore (émis par le baril) musicalement intéressant, mais aussi des mouvements du pendule qui se démène au dessus en suivant une trajectoire originale.

En fait, dans la nature, les boucles de rétro-action sont plutôt la règle, ne serait-ce que dans les systèmes biologiques. Leurs interactions complexes rendent possibles la subtilité du vivant (on ne peut imaginer coder un être humain avec 30000 gènes si l'expression de ceux-ci n'est pas modulée par de telles interactions).

Les procédés sonores décrits ci-dessus ne sont que des analogues terriblement simplifiés de ces systèmes extraordinairement complexes.