



DIRO
IFT 3205

TRAVAIL PRATIQUE

Effets Sonores par Filtres RIF et RII

Max Mignotte

DIRO, Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle.

<http://www.iro.umontreal.ca/~mignotte/ift3205>

e-mail : mignotte@iro.umontreal.ca

1 Introduction

Ce TP consistera à étudier quelques applications des filtres numériques RIF et RII pour la création d'effets sonores. On se reportera au cours pour l'aspect théorique de ces filtres.

Depuis la découverte de la synthèse numérique des sons, et avec l'arrivée d'ordinateurs personnels équipés en standard d'une carte son, il est devenu à la portée de tous d'enregistrer, traiter des sons et créer des effets sonores tel que ceux utilisés dans les synthétiseurs et les tables de mixages actuels. L'informatique musicale s'est ainsi développée au même rythme que les capacités de calcul des ordinateurs. Les filtres RIF et RII numériques, vues en cours, sont à la base d'une foule de création d'effets sonores du plus simple au plus compliquées. On donnera quelques exemples d'effets sonores dans ce TP afin d'illustrer des applications des filtres numériques vues en cours.

2 Création d'Effets Sonores

1. Implémenter et tester (par ex. sur le fichier FILE1.WAV) le système défini par l'équation suivante

$$y(n) = x(n) + g \cdot x(n - r)$$

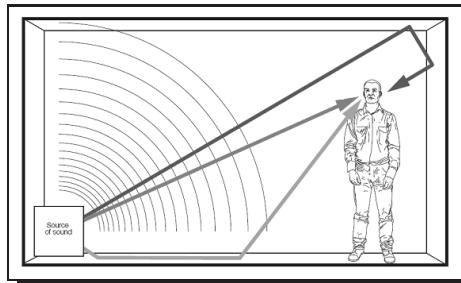


FIG. 1 – Chambre d'échos

ce système est censé modéliser une unité de réverbération simple correspondant à des réflexions multiples entre deux murs (l'un étant situé près de la source x) avec effets d'atténuation (coefficients g) et de propagation (retard r échantillons). C'est l'écho qui serait produit par la réflexion du son sur une paroi réfléchissante située à une distance $d = cr/2$ avec $g \approx 1/(2d)$, si l'on suppose que la source

et l'auditeur sont placés au même point. Essayer par exemple avec $g = 0.9$ et $r = \text{SamplingRate}/5$. Vous pouvez ajouter plus qu'un écho bien sur. Calculer aussi la réponse impulsionnelle d'un tel système.

- Examinons maintenant le cas de deux parois qui se font face, et qui engendrent une suite d'échos qui vont en diminuant : c'est l'*écho multiple*. Supposons par exemple que l'auditeur et la source soient situé près de l'une des deux parois. Après une première réflexion sur la paroi opposée, le son reviendra, puis retournera s'y réfléchir une seconde fois, puis une troisième, etc. Appelons y le son produit. Pour prendre en compte le fait que maintenant le signal provenant de la dernière réflexion n'est plus $g \cdot x(n-r)$ mais $g \cdot y(n-r)$, la relation précédente se transforme en la suivante

$$y(n) = x(n) + g \cdot y(n-r)$$

- Le troisième système simule toujours une unité de réverbération mais il fait en sorte que le module de la fonction de transfert du filtre reste indépendant de la fréquence du signal d'entrée.

$$y(n) = -g \cdot x(n) + x(n-r) + g \cdot y(n-r)$$

ce qui correspond à un filtre passe-tout. Implémenter, tester ce filtre et calculer aussi la réponse impulsionnelle de ce système.

- Un autre système numérique simple est consacré à la réalisation d'un effet musical. On ajoute à un bruit blanc $b(n)$ une version décalée de n_0 échantillons

$$y(n) = b(n) + b(n-n_0)$$

Choisir le décalage pour que celui-ci corresponde à la période d'un SOL (784 Hz). Écouter le résultat obtenu.

- Un exemple de filtre qui modifie le timbre est par exemple le filtre passe-bande numérique (de fréquences $[f_m - f_b/2, f_m + f_b/2]$) demandant peu de calculs par la formule de récurrence

$$\begin{aligned} y(n) &= \frac{1+c}{2} \cdot (x(n) - x(n-2)) - d \cdot (1-c) \cdot y(n-1) + c \cdot y(n-2) \\ c &= \frac{\tan(\pi f_b/F_e) - 1}{\tan(\pi f_b/F_e) + 1} \\ d &= -\cos(2\pi f_m/F_e) \end{aligned}$$

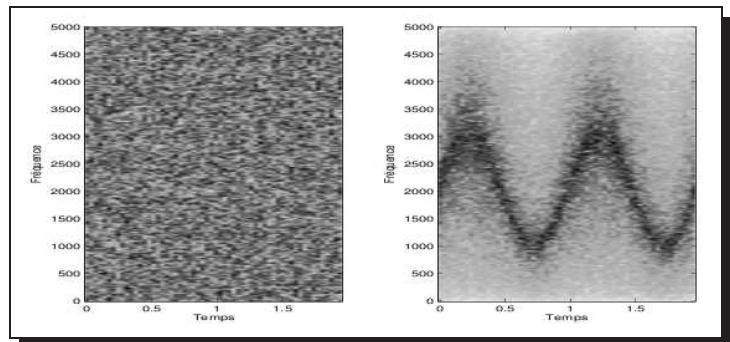


FIG. 2 – Représentation tps-fréquence du filtre *wah-wah* sur bruit blanc

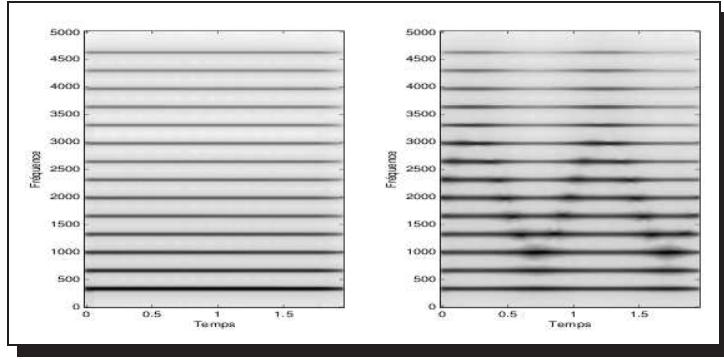


FIG. 3 – Représentation tps-fréquence du filtre *wah-wah* sur son périodique

6. Un effet intéressant et simple est le filtre communément utilisé par les guitaristes électriques, par les bassistes et ceux qui jouent du piano électrique. C'est l'effet *wah-wah* qui consiste à appliquer un tel filtre passe-bande au son *en faisant varier au cours du temps la fréquence médiane* f_m

$$\begin{aligned}
 y(n) &= \frac{1 + c(n)}{2} \cdot (x(n) - x(n-2)) - d(n) \cdot (1 - c(n)) \cdot y(n-1) + c(n) \cdot y(n-2) \\
 c(n) &= \frac{\tan(\pi f_b(n)/F_e) - 1}{\tan(\pi f_b(n)/F_e) + 1} \\
 d(n) &= -\cos(2\pi f_m(n)/F_e) \\
 f_m(n) &= 2000 + 1000 \cdot \sin(2\pi n/F_e) \\
 f_b(n) &= f_m(n)/10
 \end{aligned}$$

Essayer ce filtre sur un bruit blanc et sur le son d'un appareil de musique ou sur une voix humaine.

7. Essayer un autre filtre *wah-wah* défini par l'équation récurrente suivante

$$y(n) = x(n) - x(n-2) + 2 \cdot R \cdot \cos(2\pi n f_0) \cdot y(n-1) + R^2 \cdot y(n-2)$$

Dans laquelle f_0 est la fréquence de résonance. Essayer avec $R = 0.6$ et $f_0 = 0.4$.

8. Un autre effet intéressant et facile à faire est l'effet chorus. Le chorus est un effet sonore obtenu en additionnant au signal d'origine un même signal légèrement retardé avec une légère variation de fréquence. Il permet à partir du son d'un instrument unique d'obtenir un son de choeur d'instrument, son épais et ample. Techniquement, il est défini par l'équation récurrente suivante ($f_0 = 0.3$, $b_0 = 0.9$, $A = F_e/5$)

$$y(n) = x(n) + b_0 \cdot x(n-M) \quad \text{avec} \quad M = A \cdot \sin(2\pi n f_0 / F_e)$$

9. Parmi les effets de type modulation de fréquence ou d'amplitude, il existe l'effet *vibrato*. La voix et de nombreux instruments produisent un *vibrato*, dont la fréquence varie à peu près entre 4 et 12 Hz. Il est facile de produire un tel vibrato par synthèse additive : il suffit d'écrire chaque harmonique sous une forme telle que

$$y(n) = x(n) \cdot \sum_m \alpha_m \sin\left(2\pi m 440 n / F_e + 7\sqrt{m} \sin(2\pi 5 n / F_e)\right)$$

Avec les paramètres $\alpha_m = 1, 3, 4$

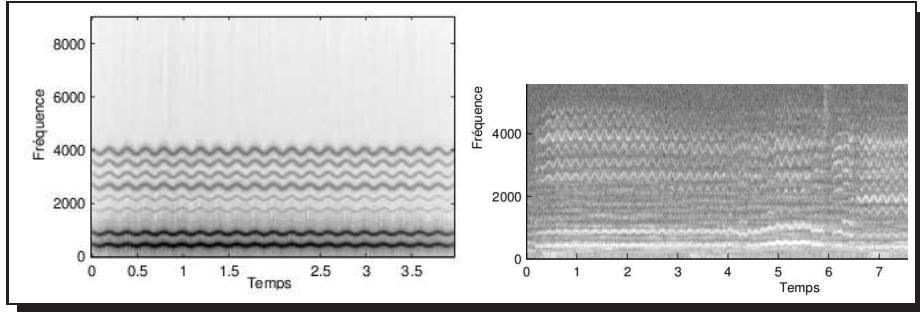


FIG. 4 – Vibrato simulé d'un son comportant neuf harmoniques et vibrato de M. Callas (début de *la Norma*)

10. Le dernier effet est l'effet Leslie, inventée par Donald Leslie dans les années 1940. Il fut utilisé dans les orgues électroniques Hammond, Baldwin ou Wurlizer, mais fut également appliqué au voix, comme dans *Blue jay Way* des Beatles . Il est réalisé par deux haut-parleurs opposés mis en rotation produisant un effet Doppler couplé avec une variation de l'intensité.

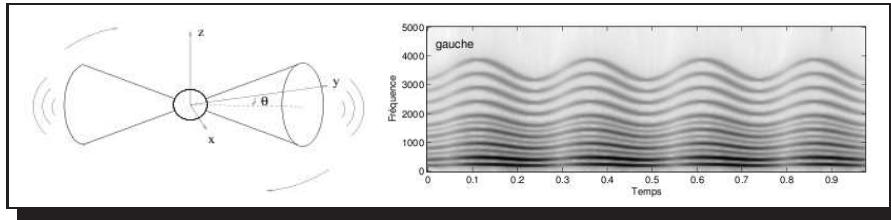


FIG. 5 – L'effet Leslie produit par deux haut-parleurs en rotation et spectrogramme de l'effet Leslie

Cet effet consiste en une variation sinusoïdale de l'amplitude et de la fréquence, en opposition de phase entre les deux canaux gauches et droits, les variations d'amplitude et de fréquence étant sur chaque canal en quadrature de phase. On peut implanter un tel effet en procédant par synthèse additive des canaux gauches et droits $s_g(t)$ et $s_d(t)$. Pour cela, on écrit chaque harmonique sous la forme modulée en amplitude et fréquence

$$s_g(t) = \sum_{n \geq 1} e_n(t) \left[1 - \eta \sin(2\pi f_L t) \cdot \sin(n f (2\pi t - \mu \sin(2\pi f_L t)) / f_L) \right]$$

$$s_d(t) = \sum_{n \geq 1} e_n(t) \left[1 + \eta \sin(2\pi f_L t) \sin(n f (2\pi t + \mu \sin(2\pi f_L t)) / f_L) \right]$$

Remise & Rapport

Vous devez rendre électroniquement avec la commande `remise` le rapport et le(s) programme(s) fait en C (avant la date de remise spécifiée dans le fichier `barème`) dans le répertoire TP<Numéro du Tp>. Les programmes devront se compiler et s'exécuter sur Linux tel qu'indiqué dans le barème. Le rapport (si celui-ci est demandé dans le fichier barème) doit être concis et clair.

Logiciels Utilisés

Pour la conversion des signaux de parole/son (format `WAVE`) nous disposons sous Linux d'un logiciel libre qui permet d'enregistrer, de convertir ou d'édition du son (logiciel `sox`).

- Pour convertir un fichier Wave dans un format texte plus simple (qui sera plus facile à enregistrer puis à traiter par votre programme C) contenant une colonne pour la variable temporelle (échantillonée régulièrement) et une colonne pour l'amplitude du signal (voir ci-contre), il faut taper sur la console la commande suivante

`sox fichier.wav fichier.dat`

- Pour obtenir un fichier exploitable par nos programmes (visualisable par notre script `VIEWSIG.SH` et enregistrable dans un vecteur dans votre programme par la fonction `LOADSIGNALDAT("FICHIER",&LENGTH)`, on enlevera l'entête de ce fichier, i.e., les deux premières lignes dont la première indique le taux d'échantillonnage que l'on retiendra. Une fois enregistrée dans un vecteur dans votre programme par la fonction `LOADSIGNALDAT("FICHIER",&LENGTH)`, et une fois traitée, puis enregistrée dans un fichier `TEXT` par la fonction `SAVE SIGNAL DAT("FICHIER TRAITÉ", VECTEURSIGNAL, LENGTH)`, on peut convertir ce fichier en un fichier au format `WAVE` en ajoutant une première ligne (à ce fichier) indiquant le taux d'échantillonnage (`; SAMPLE RATE 8000` par exemple pour une période d'échantillonnage de $T = 1/8000$ sec.) et ensuite taper sur la console la commande suivante

; Sample Rate 8000	
;	Channel 1
0.000000	0.0000000000
0.000025	0.0000000000
0.000050	3.4615378E-05
0.000075	0.0000000000
0.000100	3.4615378E-05
0.000125	0.0000000000
0.000150	3.4615378E-05
0.000175	0.0000000000
0.000200	3.4615378E-05
0.000225	0.0000000000
0.000250	3.4615378E-05
0.000275	0.0000000000
0.000300	3.4615378E-05
0.000325	0.0000000000
0.000350	3.4615378E-05
0.000375	0.0000000000
0.000400	3.4615378E-05
0.000425	0.0000000000
0.000450	3.4615378E-05
0.000475	0.0000000000
0.000500	3.4615378E-05
0.000525	0.0000000000
0.000550	3.4615378E-05
0.000575	0.0000000000
0.000600	3.4615378E-05
0.000625	0.0000000000
0.000650	3.4615378E-05
0.000675	0.0000000000
0.000700	3.4615378E-05
0.000725	0.0000000000
0.000750	3.4615378E-05
0.000775	0.0000000000
0.000800	3.4615378E-05
0.000825	0.0000000000
0.000850	3.4615378E-05
0.000875	0.0000000000
0.000900	3.4615378E-05
0.000925	0.0000000000
0.000950	3.4615378E-05
0.000975	0.0000000000
0.001000	3.4615378E-05
0.001025	0.0000000000
0.001050	3.4615378E-05
0.001075	0.0000000000
0.001100	3.4615378E-05
0.001125	0.0000000000
0.001150	3.4615378E-05
0.001175	0.0000000000
0.001200	3.4615378E-05
0.001225	0.0000000000
0.001250	3.4615378E-05
0.001275	0.0000000000
0.001300	3.4615378E-05
0.001325	0.0000000000
0.001350	3.4615378E-05
0.001375	0.0000000000
0.001400	3.4615378E-05
0.001425	0.0000000000
0.001450	3.4615378E-05
0.001475	0.0000000000
0.001500	3.4615378E-05
0.001525	0.0000000000
0.001550	3.4615378E-05
0.001575	0.0000000000
0.001600	3.4615378E-05
0.001625	0.0000000000
0.001650	3.4615378E-05
0.001675	0.0000000000
0.001700	3.4615378E-05
0.001725	0.0000000000
0.001750	3.4615378E-05
0.001775	0.0000000000
0.001800	3.4615378E-05
0.001825	0.0000000000
0.001850	3.4615378E-05
0.001875	0.0000000000
0.001900	3.4615378E-05
0.001925	0.0000000000
0.001950	3.4615378E-05
0.001975	0.0000000000
0.002000	3.4615378E-05
0.002025	0.0000000000
0.002050	3.4615378E-05
0.002075	0.0000000000
0.002100	3.4615378E-05
0.002125	0.0000000000
0.002150	3.4615378E-05
0.002175	0.0000000000
0.002200	3.4615378E-05
0.002225	0.0000000000
0.002250	3.4615378E-05
0.002275	0.0000000000
0.002300	3.4615378E-05
0.002325	0.0000000000
0.002350	3.4615378E-05
0.002375	0.0000000000
0.002400	3.4615378E-05
0.002425	0.0000000000
0.002450	3.4615378E-05
0.002475	0.0000000000
0.002500	3.4615378E-05
0.002525	0.0000000000
0.002550	3.4615378E-05
0.002575	0.0000000000
0.002600	3.4615378E-05
0.002625	0.0000000000
0.002650	3.4615378E-05
0.002675	0.0000000000
0.002700	3.4615378E-05
0.002725	0.0000000000
0.002750	3.4615378E-05
0.002775	0.0000000000
0.002800	3.4615378E-05
0.002825	0.0000000000
0.002850	3.4615378E-05
0.002875	0.0000000000
0.002900	3.4615378E-05
0.002925	0.0000000000
0.002950	3.4615378E-05
0.002975	0.0000000000
0.003000	3.4615378E-05
0.003025	0.0000000000
0.003050	3.4615378E-05
0.003075	0.0000000000
0.003100	3.4615378E-05
0.003125	0.0000000000
0.003150	3.4615378E-05
0.003175	0.0000000000
0.003200	3.4615378E-05
0.003225	0.0000000000
0.003250	3.4615378E-05
0.003275	0.0000000000
0.003300	3.4615378E-05
0.003325	0.0000000000
0.003350	3.4615378E-05
0.003375	0.0000000000
0.003400	3.4615378E-05
0.003425	0.0000000000
0.003450	3.4615378E-05
0.003475	0.0000000000
0.003500	3.4615378E-05
0.003525	0.0000000000
0.003550	3.4615378E-05
0.003575	0.0000000000
0.003600	3.4615378E-05
0.003625	0.0000000000
0.003650	3.4615378E-05
0.003675	0.0000000000
0.003700	3.4615378E-05
0.003725	0.0000000000
0.003750	3.4615378E-05
0.003775	0.0000000000
0.003800	3.4615378E-05
0.003825	0.0000000000
0.003850	3.4615378E-05
0.003875	0.0000000000
0.003900	3.4615378E-05
0.003925	0.0000000000
0.003950	3.4615378E-05
0.003975	0.0000000000
0.004000	3.4615378E-05
0.004025	0.0000000000
0.004050	3.4615378E-05
0.004075	0.0000000000
0.004100	3.4615378E-05
0.004125	0.0000000000
0.004150	3.4615378E-05
0.004175	0.0000000000
0.004200	3.4615378E-05
0.004225	0.0000000000
0.004250	3.4615378E-05
0.004275	0.0000000000
0.004300	3.4615378E-05
0.004325	0.0000000000
0.004350	3.4615378E-05
0.004375	0.0000000000
0.004400	3.4615378E-05
0.004425	0.0000000000
0.004450	3.4615378E-05
0.004475	0.0000000000
0.004500	3.4615378E-05
0.004525	0.0000000000
0.004550	3.4615378E-05
0.004575	0.0000000000
0.004600	3.4615378E-05
0.004625	0.0000000000
0.004650	3.4615378E-05
0.004675	0.0000000000
0.004700	3.4615378E-05
0.004725	0.0000000000
0.004750	3.4615378E-05
0.004775	0.0000000000
0.004800	3.4615378E-05
0.004825	0.0000000000
0.004850	3.4615378E-05
0.004875	0.0000000000
0.004900	3.4615378E-05
0.004925	0.0000000000
0.004950	3.4615378E-05
0.004975	0.0000000000
0.005000	3.4615378E-05
0.005025	0.0000000000
0.005050	3.4615378E-05
0.005075	0.0000000000
0.005100	3.4615378E-05
0.005125	0.0000000000
0.005150	3.4615378E-05
0.005175	0.0000000000
0.005200	3.4615378E-05
0.005225	0.0000000000
0.005250	3.4615378E-05
0.005275	0.0000000000
0.005300	3.4615378E-05
0.005325	0.0000000000
0.005350	3.4615378E-05
0.005375	0.0000000000
0.005400	3.4615378E-05
0.005425	0.0000000000
0.005450	3.4615378E-05
0.005475	0.0000000000
0.005500	3.4615378E-05
0.005525	0.0000000000
0.005550	3.4615378E-05
0.005575	0.0000000000
0.005600	3.4615378E-05
0.005625	0.0000000000
0.005650	3.4615378E-05
0.005675	0.0000000000
0.005700	3.4615378E-05
0.005725	0.0000000000
0.005750	3.4615378E-05
0.005775	0.0000000000
0.005800	3.4615378E-05
0.005825	0.0000000000
0.005850	3.4615378E-05
0.005875	0.0000000000
0.005900	3.4615378E-05
0.005925	0.0000000000
0.005950	3.4615378E-05
0.005975	0.0000000000
0.006000	3.4615378E-05
0.006025	0.0000000000
0.006050	3.4615378E-05
0.006075	0.0000000000
0.006100	3.4615378E-05
0.006125	0.0000000000
0.006150	3.4615378E-05
0.006175	0.0000000000
0.006200	3.4615378E-05
0.006225	0.0000000000
0.006250	3.4615378E-05
0.006275	0.0000000000
0.006300	3.4615378E-05
0.006325	0.0000000000
0.006350	3.4615378E-05
0.006375	0.0000000000
0.006400	3.4615378E-05
0.006425	0.0000000000
0.006450	3.4615378E-05
0.006475	0.0000000000
0.006500	3.4615378E-05
0.006525	0.0000000000
0.006550	3.4615378E-05
0.006575	0.0000000000
0.006600	3.4615378E-05
0.006625	0.0000000000
0.006650	3.4615378E-05
0.006675	0.0000000000
0.006700	3.4615378E-05
0.006725	0.0000000000
0.006750	3.4615378E-05
0.006775	0.0000000000
0.006800	3.4615378E-05
0.006825	0.0000000000
0.006850	3.4615378E-05