Ecole Nationale
Supérieure
de l'Electronique
et de ses Applications

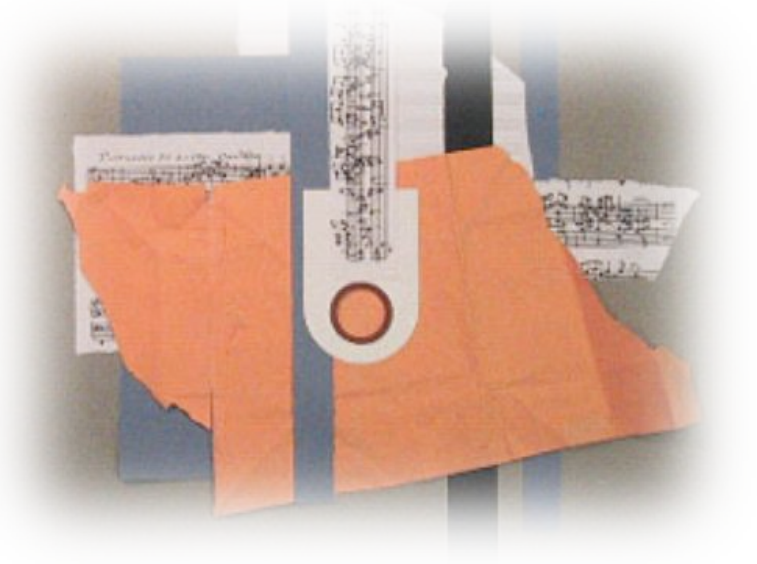
Bouche Dimitri
3A SyM 2012/2013

Ircam
1, place Igor-Stravinsky
75004 Paris
Département R&D
Equipe Représentations Musicales

Rapport de Projet de Fin d'Etudes

Dynamisation de l'architecture audio du logiciel de composition assistée par ordinateur

OpenMusic



Maître de stage : M. **Bresson** Jean

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier tout le personnel de l'Ircam, avec qui j'ai eu le plaisir de travailler et d'échanger au cours de ces six mois pour leur accueil, le temps qu'elles m'ont consacré ainsi que leurs précieux conseils.

A Hugues Vinet et Gérard Assayag, respectivement Directeur du département Recherche et Développement et Directeur de l'UMR STMS (Science et Technologies de la Musique et du Son), qui m'ont permis d'intégrer l'Ircam.

A toute l'équipe Représentations Musicales avec qui j'ai pu collaborer et cohabiter, pour leur gentillesse et leur professionnalisme.

A mon maître de stage, Jean Bresson, de m'avoir proposé ce poste, qui a toujours su se rendre disponible et m'a énormément appris durant mon stage. Je le remercie également pour sa patience et pour les différentes rencontres qu'il a pu organiser pour me permettre de m'intégrer au mieux dans le projet de recherche.

Je remercie également les équipes de recherches du LaBRI et du GRAME, avec qui j'ai pu découvrir l'émulation générée par un projet de recherche, et plus particulièrement Stéphane Letz avec qui j'ai pu être en étroite collaboration durant mon stage, et qui a toujours répondu à mes demandes.

Table des Matières

Table des illustrations

1. Introduction

Le présent rapport résume brièvement les travaux réalisés au cours de mon projet de fin d'études, études réalisées au sein de l'ENSEA (**E**cole **N**ationale **S**upérieure de l'**E**lectronique et de ses **A**pplications) de Cergy-Pontoise. Etudiant issu de l'option SyM (**Sy**stèmes **M**ultimédias), j'ai souhaité de par ma formation et centres d'intérêts, effectuer un stage liant programmation informatique, temps réel, traitement audio et musical. C'est pourquoi j'ai intégré l'équipe Représentations Musicales, du département Recherche et Développement de l'IRCAM (**I**nstitut de **R**echerche et **C**oordination **A**coustique et **M**usique), pour le stage intitulé : « Dynamisation de l'architecture audio du logiciel OpenMusic ».

Ce stage ingénieur orienté recherche s'inscrit dans le cadre du projet ANR INEDIT (**IN**teractivité dans l'**E**criture **D**e l'**I**nteraction et du **T**emps). L'objectif de ce projet est de fonder scientifiquement l'interopérabilité des outils de création sonore et musicale, afin d'ouvrir la voie à de nouvelles dimensions créatives couplant écriture du temps et écriture de l'interaction. Il lie trois équipes de recherche, issues de trois centres : le GRAME CNCM (**C**entre **N**ational de **C**réation **M**usicale) de Lyon, le LABRI (**LA**boratoire **B**ordelais de **R**echerche en **I**nformatique) de Bordeaux et l'IRCAM.

La motivation principale de ce projet est de réconcilier la division actuelle entre les aspects « compositionnels » et « performatifs » des outils existants de création sonores. Cette division est apparente dans la catégorisation des outils en « Composition Assistée par Ordinateur » et « Temps réel ». INEDIT a pour objectif de permettre l'utilisation de différentes approches stylistiques grâce à la coopération de différents outils au sein d'un environnement supportant toutes les phases du work-flow musical, de la composition à la performance. Des logiciels existants créés par les acteurs de ce projet constituent une base pour l'aboutissement de ces objectifs : *OpenMusic* [1] et *iscore* [2] pour la phase de composition, *INScore* [3] pour la visualisation interactive de flux complexes, *Antescofo* [4] pour l'articulation signal/événement et *FAUST* [5] et *LibAudioStream* [6] pour la gestion des flux audio synchrones. Rendre interopérables ces outils permet de mettre en place des work-flows riches et originaux qui seraient impossibles avec une application intégrée et un formalisme unique forcément plus rigide.
Le défi principal posé par ces problématiques est la formalisation des relations temporelles musicales et en particulier le développement d'une approche GALS (Globally Asynchronous, Locally Synchronous) permettant de concilier contraintes temporelles synchrones et asynchrones dans un contexte où il faut gérer plusieurs échelles de temps hétérogènes.

Mon rôle dans ce projet est de dynamiser l'architecture audio du logiciel OpenMusic de manière à ouvrir de nouveaux horizons de composition et d'interaction avec le temps. Les consignes sont sommaires, mais le travail et la réflexion qu'elles impliquent sont très riches. En effet, je suis libre quant à la manière de réaliser ces objectifs, ce qui conduit à une mise en question permanente et à des décisions souvent sujettes à révision.

Remarque : Le code développé durant ce stage étant trop long pour un rapport, seules les fonctions principales créées figurent dans ce rapport, et les logiques d'exécution ne sont que partiellement détaillées. Pour plus de détails, se référer au code source, ou me contacter.

2. Etat de l'art

1. Introduction au logiciel OpenMusic

1. *Résumé*

OpenMusic (OM) est un langage de programmation visuel basé sur le langage CommonLisp/CLOS [7] (CommonLisp Object System). Dans ce logiciel de composition assistée par ordinateur, les programmes visuels sont créés en assemblant et connectant boîtes et icônes représentant fonctions et structures de données. Les structures de contrôle basiques contenues dans le langage Lisp sont fournies par OpenMusic sous forme de blocs visuels.
OM peut être utilisé comme un langage de programmation visuel fonctionnel ou orienté objet (d'autres paradigmes de programmation ont été implémentés dans l'environnement, comme la programmation par contraintes). D'un point de vue plus spécifique, une palette de classes et de librairies en font un environnement adapté à la composition musicale. Autour du noyau d'OpenMusic se trouvent les projets. Un projet est une palette spécialisée de classes et méthodes écrites en Lisp, accessibles et visualisables dans l'environnement proposé par OM. De nombreuses classes implémentant des données et comportements musicaux sont fournies. Elles sont associées à des éditeurs graphiques et peuvent être modifiées par l'utilisateur pour satisfaire des besoins spécifiques. Différentes représentations des processus musicaux sont supportées, parmi lesquelles on retrouve des notations courantes comme le piano-roll MIDI, les partitions ou encore le signal sonore. Une organisation temporelle du matériel musical est proposée grâce au concept de maquette.
N'importe quel code CommonLisp/CLOS peut être facilement utilisé dans OpenMusic, et du code nouveau peut être développé visuellement.

Ce logiciel est destiné à la composition d'œuvres plutôt qu'à la performance. En effet, il n'est pas temps réel. En revanche, il permet des applications spécifiques uniques et souvent non adaptables en temps réel. La composition d'une œuvre dans OpenMusic peut se distinguer en deux phases :

- La préparation du matériel musical dans un « Patch »,
- Son organisation temporelle dans une « Maquette ».

2. *Le « Patch »*

Le Patch [8] est un espace de création libre qui représente un programme visuel sous forme de graphe, où l'on dispose et connecte des boîtes représentants des processus musicaux. Ici, il n'y a pas de notion d'échelle temporelle. On peut concevoir et écouter indépendamment divers matériaux, et les faire interagir entre eux. On peut également, en plus des multiples processus intégrés nativement dans le logiciel, en créer de nouveaux soit en agençant différentes boîtes entre elles, soit en créant ses propres boîtes et en définissant leur rôle en code Lisp. Ci dessous, un exemple de patch montre que l'on peut manipuler différentes représentations musicales, ainsi que des processus via une interface graphique :

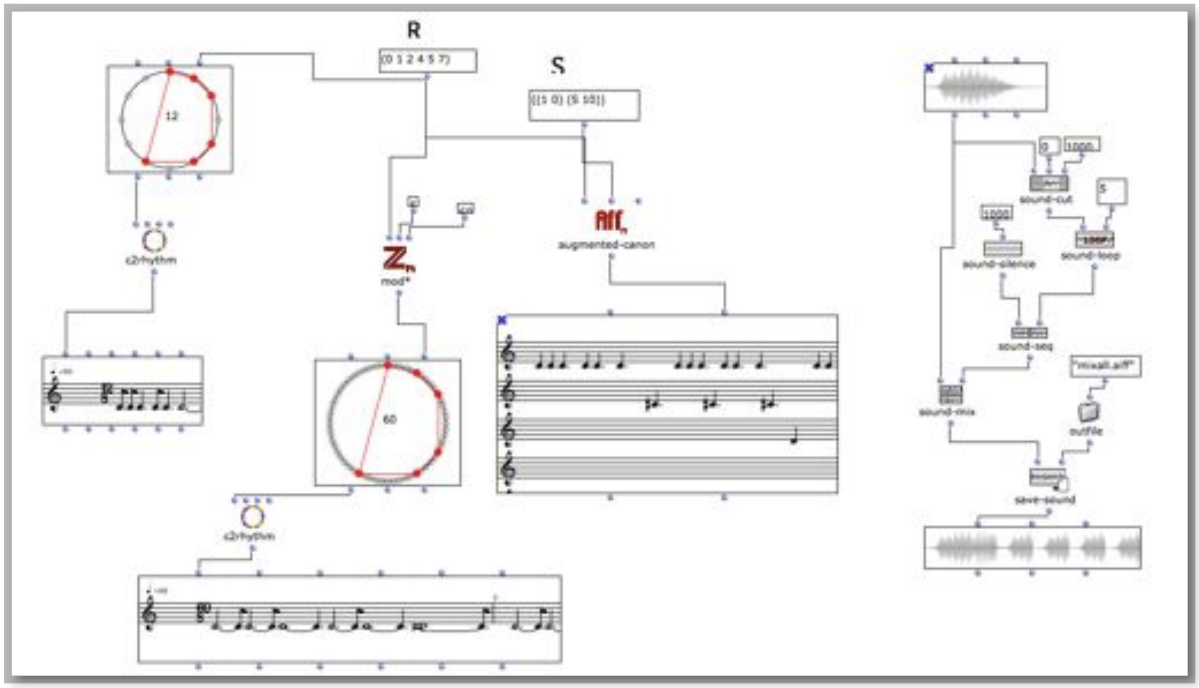


Figure 1 : Exemple de Patch.

Ensuite, il est possible d'organiser temporellement ces patchs, ou les boites qui les composent.

3. *La « Maquette »*

La Maquette est un donc un espace d'organisation temporelle des objets, ou même des Patch. Il est également possible de connecter ces objets et Patch entre eux, de manière à transmettre l'information pour du calcul relatif des données. Cet espace intègre donc structures fonctionnelles et temporelles au sein d'un même programme visuel. Voici un exemple de maquette, mêlant différentes représentations musicales et incluant une transmission de données entre deux Patch (les deux boîtes connectées représentent en réalité des patch implémentant des fonctions définies par l'utilisateur) :

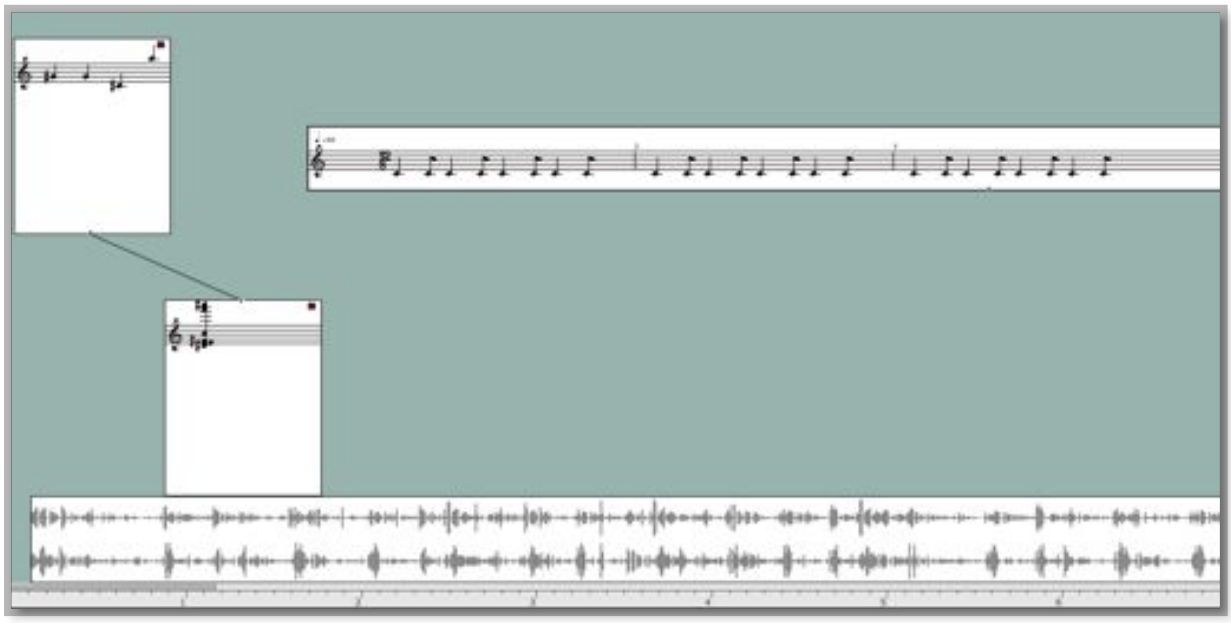


Figure 2 : Exemple de Maquette.

2. Architecture audio actuelle

Actuellement, le logiciel OpenMusic s'articule autour de plusieurs moteurs :

- Midishare [9] pour le rendu du protocole MIDI,
- Multiplayer pour le rendu de l'audio,
- Microplayer pour le rendu de l'audio,
- OSC [10], qui inclue en réalité des protocoles spécifiques destinés au Multiplayer, Microplayer et à des applications externes spécialisées respectivement dans le rendu des fichiers audio spatialisés (multi-canal) et des structures musicales micro-intervalliques,
- LibAudioStream pour le rendu et la gestion partielle de l'audio.

Ces cinq moteurs sont gérés par une classe nommée *General Player*. Ce player unique fait office d'ordonnanceur. OpenMusic ne contient qu'une unique instance de ce player, elle même gérée par une unique horloge. Ainsi, il est impossible d'avoir une lecture dynamique des fichiers : en effet, si un fichier est déjà en lecture, le statut du *General Player* sera occupé et donc il est nécessaire de repasser dans un état libre (en arrêtant la lecture) afin d'en relancer une autre. L'ordonnancement est géré via la construction préalable de séquences statiques envoyées à un ou plusieurs moteurs de rendu, ce qui entraine une perte de contrôle totale sur les objets en lecture. C'est pour cette raison que le logiciel dispose d'une seule barre de transport, nommée *Palette*, empêchant des appuis multiples sur les boutons de lecture et d'arrêt.

Figure 3 : Architecture audio actuelle schématisée.

Pour ce qui est de la synthèse audio, les moyens utilisés dans OM sont entièrement basés sur des outils externes contrôlés par des modules rassemblés en bibliothèques externes.

3. Architectures audio existantes dans d'autres logiciels

Nous allons ici dresser un bref état de l'art des fonctionnalités existantes dans les logiciels audio classiques. Il n'est pas dans l'optique d'OpenMusic de devenir un logiciel audio commun, mais il peut être intéressant d'intégrer des fonctionnalités basiques, de manière à améliorer le work-flow et l'horizon compositionnel proposé.
Voici une liste des fonctionnalités présentes dans les logiciels audio classiques, qui peuvent potentiellement trouver leur place au sein d'OpenMusic :

- La récupération des informations sur un fichier audio (format, fréquence d'échantillonnage etc…)
- L'affichage performant de fichiers audio (waveform),
- Des fonctions d'édition basiques (coupe/colle etc...),
- Un système de pistes efficace,
- Un gestionnaire d'effets performant,
- Une large palette d'automations possibles (courbes de contrôle dynamiques).

Il est à noter qu'OpenMusic intègre déjà certains de ces attributs, mais parfois de manière non optimale. Il sera donc nécessaire de repenser (ou non) ces acquis en fonction des nouvelles intégrations que je réaliserais durant mon stage.

3. Objectifs

1. Objectifs de dynamisation

L'objectif de ce stage est d'envisager un mode d'intégration dynamique entre l'environnement de CAO et les signaux sonores qu'il est susceptible de produire ou manipuler. Ainsi la définition et le contrôle des procédures de synthèse et de traitement des sons pourront s'insérer plus finement au sein de processus musicaux mis en œuvre dans cet environnement. On se dirigera donc vers la création d'un moteur audio, voire d'une API utilisable par le logiciel, distinguant les processus de contrôle et de rendu sonore, rarement conciliables.
Comme dis précédemment, on perd actuellement tout contrôle sur les données en cours de lecture. La dynamisation de l'environnement audio consiste à garder le contrôle des données, de manière à pouvoir interagir avec celles-ci quel que soit leur état.
L'objectif principal sera donc de redéfinir une architecture audio, et donc de respecter les indications suivantes:

- Manipulation des ressources audio,
- Moteurs de production sonore programmables (synthétiseurs),
- Effets audio (DSP) programmables,
- Contrôle dynamique.

Cette implémentation passera par l'étude des différentes librairies existantes et des environnements ou langages de programmation comme Faust, SuperCollider [11] ou encore Max [12]. Le but ne sera pas forcément d'utiliser tous ces outils pour en tirer le maximum, mais plutôt de définir au fur et à mesure les besoins d'OpenMusic de manière à établir une démarche claire et éviter de créer trop de nouvelles dépendances.
Toutes les intégrations et modifications apportées devront s'intégrer pleinement dans l'architecture logicielle actuelle, à savoir ne supprimer aucune possibilité offerte par OM.

2. Objectifs liés au projet ANR

Dans le cadre du projet ANR INEDIT, je me dois durant mon stage d'essayer de faire interagir au maximum les outils mis à ma disposition par les équipes de recherche. C'est ainsi qu'il sera possible, en plus de dynamiser l'architecture audio du logiciel, d'ouvrir de nouvelles perspectives compositionnelles et proposer un environnement performant et original aux utilisateurs. Dans ces outils, nous retiendrons LibAudioStream et Faust.

1. Présentation de LibAudioStream

LibAudioStream (LAS) est une bibliothèque C++ permettant de manipuler des ressources audio à travers le concept de « streams ». Elle permet alors le développement de players audio et de traitements rapides des ressources manipulées. Cette bibliothèque dispose d'une API comprenant les fonctions basiques qu'elle peut réaliser. Elle embarque également la technologie LLVM [13,14], qui permet la compilation de code à la volée. Cette technologie est utilisée pour compiler du code Faust, langage créé par le GRAME CNCM, tout comme LAS.

2. *Présentation de Faust*

Faust est un langage de spécification pour la description de processeurs audio basé sur une sémantique fonctionnelle, permettant la création de traitements ou de synthétiseurs sonores fonctionnant en temps réel. Les programmes Faust peuvent être déployés sur un grand nombre de plateformes et de formats, et s'articulent notamment avec la bibliothèque LAS.
Faust permet donc à l'utilisateur de pouvoir créer ses propres effets et synthétiseurs, puis de les contrôler en temps réel. De plus, un grand nombre de bibliothèques sont fournies de manière à ce que des fonctions basiques soient directement accessibles. Voici un exemple de code Faust :

```
declare name        "karplus32";
declare version     "1.0";
declare author      "Grame";
declare license     "BSD";
declare copyright   "(c) GRAME 2006";

//-----------------------------------------------
//              karplus-strong
//      with 32 resonators in parallel
//-----------------------------------------------

import("music.lib");

// Excitator
//----------

upfront(x)  = (x-x') > 0.0;
decay(n,x)  = x - (x>0)/n;
release(n)  = + - decay(n);
trigger(n)  = upfront : release(n) : >(0.0) : +(leak);
leak        = 1.0/65536.0;

size        = hslider("excitation (samples)", 128, 2, 512, 1);

// Resonator
//----------

dur         = hslider("duration (samples)", 128, 2, 512, 1);
att         = hslider("attenuation", 0.1, 0, 1, 0.01);
average(x)  = (x+x')/2;

resonator(d, a) = (+ : delay(4096, d-1.5)) ~ (average : *(1.0-a)) ;

// Polyphony
//----------

detune      = hslider("detune", 32, 0, 512, 1);
polyphony   = hslider("polyphony", 1, 0, 32, 1);

output      = hslider("output volume", 0.5, 0, 1, 0.1);

process =  vgroup("karplus32",
        vgroup("noise generator", noise * hslider("level", 0.5, 0, 1, 0.1))
         : vgroup("excitator", *(button("play")) : trigger(size))
        <: vgroup("resonator x32", par(i,32, resonator(dur+i*detune, att) * (polyphony > i)))
        :> *(output),*(output)
        );
```

Figure 4 : Exemple de code Faust.

Le compilateur Faust analyse et traduit le code en C++ optimisé et l'intègre dans un grand nombre d'architectures (Max, Puredata, VST etc…)
De plus, Faust permet une visualisation du processus créé par blocs, sous forme de fichier SVG. Ce format de fichier permet un affichage à plusieurs niveaux : on peut alors naviguer à l'intérieur et à l'extérieur des blocs, en affichant le contenant et le contenu de ceux ci. Ainsi il devient très facile de se représenter le traitement en cours de réalisation.

Voici un exemple de fichier SVG généré lors de la compilation d'un effet Faust (ici un Flanger) :

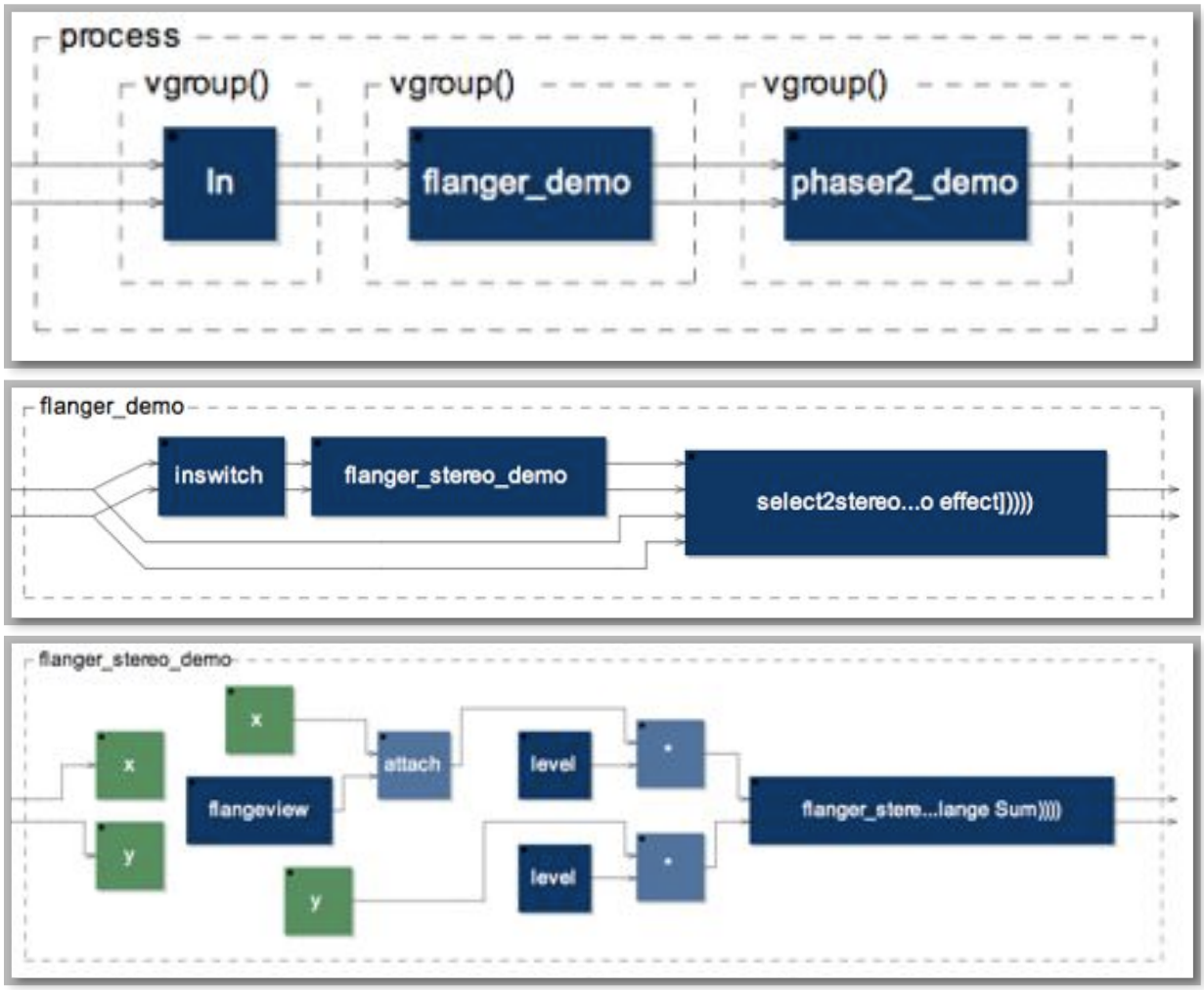


Figure 5 : Exemple de fichier SVG (3 niveaux présentés ici).

<u>Remarque</u> : La sémantique de Faust permet un traitement à l'échantillon. Il n'est pas possible de passer dans le domaine spectral (les fonctions de filtrage ou d'égalisation doivent se faire de manière discrète).

4. Réalisations

1. Récupération des métadonnées

Mon premier travail a consisté en la récupération des métadonnées des fichiers audio. Ce travail, relativement basique et n'apportant aucun atout sur la structure audio du logiciel, m'a surtout permis de me familiariser avec la programmation en Lisp, langage qui m'était inconnu lors de mon arrivée à l'Ircam.
OpenMusic était déjà capable de récupérer le titre du fichier, son format (Wav, Aiff etc…) et sa fréquence d'échantillonnage. Seulement, les fonctions récupérant ces métadonnées se basaient sur un mélange de différentes bibliothèques, en allant récupérer une partie de ces données grâce à une, le reste grâce à d'autres.
Mon but fut donc de récupérer ces données de manière claire et uniforme. J'ai également souhaité récupérer le type de données (32bit float, 24bit int etc…) en plus du format.

Pour ce faire, j'ai centralisé les opérations autour de *libsndfile* [15] (une librairie développée en C, pour la lecture et l'écriture de fichiers audio). Il faut pour cela créer une interface entre le code C et le code Lisp, de manière à pouvoir utiliser en Lisp les fonctions de l'API écrites en C.
L'interfaçage se fait grâce à CFFI (the **C**ommon **F**oreign **F**unction **I**nterface), qui fournit des opérateurs basiques pour allouer et libérer de la mémoire, permet d'appeler des fonctions externes écrites dans un autre langage et de charger des librairies.

Il fut alors possible de récupérer les métadonnées et de les afficher comme présenté ci-dessous, dans l'éditeur audio :

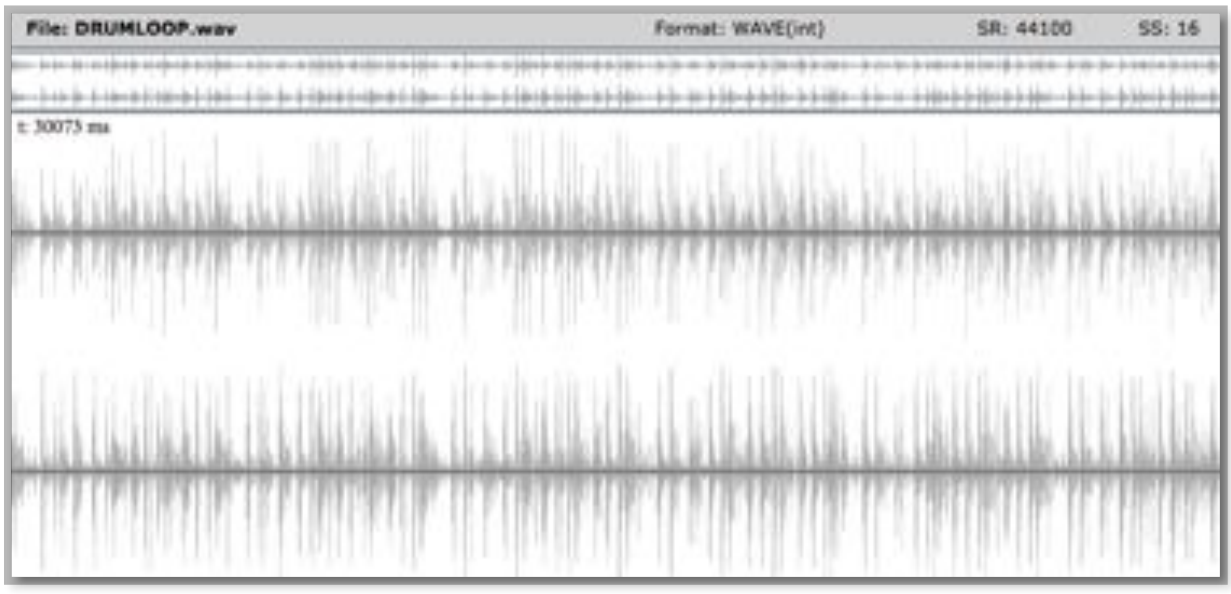


Figure 6 : Affichage des métadonnées dans l'éditeur audio.

La fonction permet la récupération de ces métadonnées est disponible en annexe.

2. Affichage waveform

Dans la continuité de la récupération des métadonnées d'un fichier audio, mon travail suivant fut de revoir l'affichage de la waveform des fichiers audio.

Jusqu'ici, l'affichage de cette waveform était disponible grâce à la création d'une image à partir du fichier, puis l'on pouvait zoomer sur celle-ci. Ce système, présentant l'avantage de ne nécessiter aucun calcul suite à la création de l'image, est très peu fiable : en effet, la résolution de l'image étant fixe, si l'on zoom de manière trop prononcé, il est impossible d'avoir accès à une information visuelle fiable.

Remarque : la fonction créant l'image d'un fichier audio a une résolution variable. Cette résolution représente $\frac{x}{4000}$, *x étant la durée du fichier audio en ms. Pour ce faire, on découpe le fichier en 4000 portions, on cherche l'échantillon ayant la valeur maximale* $y_{\max}$ *sur chaque portion, puis on dessine une barre allant de* $-y_{\max}$ *à* $+y_{\max}$.

De manière à rendre cet affichage performant, il est nécessaire d'adapter celui ci en fonction du zoom soumit par l'utilisateur. Pour des fichiers de grande taille et un zoom de valeur 1.0x, on peut conserver l'image créée par le système (en effet, j'ai souhaité écarter l'hypothèse de suppression de cette image, car permettant une prévisualisation rapide du fichier en limitant le temps de calcul). Pour des fichiers plus courts ou des niveaux de zoom supérieurs, il faut afficher les échantillons et les relier entre eux. Cependant, il est impossible d'envisager un affichage générique à l'échantillon près, qui serait beaucoup trop gourmand en temps de calcul. Il faut donc, en fonction du niveau de zoom, afficher les échantillons avec une résolution plus ou moins grande.

Pour cela, j'ai écris une fonction recevant entre autre comme argument une valeur nommée *smpstep*, représentant le nombre d'échantillons que l'on souhaite « sauter » lors de l'affichage, de manière à n'afficher qu'un échantillon sur *smpstep*, et ainsi gagner en temps de calcul. Attention, *smpstep* représente un nombre d'échantillon, mais il apparaît comme une durée (le nombre d'échantillons correspondant sera calculé en fonction de la fréquence d'échantillonnage du fichier). Selon le niveau de zoom (la durée affichée par l'utilisateur), on fera varier ce *smpstep* jusqu'à obtenir un affichage à l'échantillon près pour un niveau de zoom précis.

Après des tests d'affichage, et des résultats obtenus grâce à la fonction « time » fournie par l'environnement Lispworks, il est apparu que pour avoir un affichage relativement performant, il faut afficher (dessiner) au maximum 7000 échantillons dans une fenêtre. Par conséquent, j'ai pu calculer le *smpstep* nécessaire en fonction de la durée du fichier affiché. Voici mes résultats, présentant des arrondis parfois grossiers étant donné qu'il ne serait pas performant de créer de trop nombreux niveaux de zoom :

Smpstep (en µs)	Durée affichée (intervalle en ms)
50000	[250000 ; 300000]
40000	[190000 ; 250000]
30000	[130000 ; 190000]
20000	[80000 ; 130000]

10000	[40000 ; 80000]
5000	[25000 ; 40000]
4000	[20000 ; 25000]
3000	[14000 ; 20000]
2000	[7500 ; 14000]
1000	[5000 ; 7500]
800	[3000 ; 5000]
400	[1750 ; 3000]
200	[900 ; 1750]
100	[500 ; 900]
1 sample	[1 ; 500]

Figure 7 : Tableau des niveaux de zoom.

Si la durée affichée est supérieure à 300000ms, on affiche l'image calculée par le système.
Voici un comparatif de l'ancien affichage et du nouveau lors d'un niveau de zoom moyen (avec smpstep couvrant 5ms) :

Figure 8 : Comparatif ancien affichage / nouvel affichage de la waveform d'un fichier stéréo.

La fonction décrivant ce processus d'affichage est disponible en annexe.

3. Architecture audio

La redéfinition de l'architecture audio a constitué le cœur de mon stage. Mon but fut, outre de respecter les consignes définies dans les objectifs, de proposer une structure innovante avec laquelle un compositeur pourrait satisfaire tous ses besoins.
Mon stage se déroulant dans le cadre du projet ANR INEDIT, j'ai souhaité construire cette architecture atour de LibAudioStream. Cette bibliothèque décrite précédemment convient aux besoins d'OpenMusic, et permettra une collaboration étroite avec le GRAME.

1. Player LibAudioStream

LibAudioStream permet la création de players. Un player se construit grâce à la fonction suivante, fournie par la bibliothèque :

OpenAudioPlayer(*inchan*,*outchan*,*channels*,*srate*,*buffsize*,*streambuffsize*,*instreamdur*,*renderer*,*thread*)

avec :

- Inchan : nombre d'entrées audio,
- Outchan : nombre de sorties audio,
- Channels : nombre de pistes,
- Srate : fréquence d'échantillonnage (sample rate),
- Buffsize : taille du buffer de la sortie audio (en nombre d'échantillons),
- Streambuffsize : taille du buffer de l'entrée audio (en nombre d'échantillons),
- Instreamdur : durée maximale en échantillons de l'entrée audio temps réel,
- Renderer : moteur de rendu (CoreAudio, Jack, PortAudio),
- Thread : nombre de threads basse priorité additionnels utilisés pour pré calculer les données.

Une fois instancié, on démarre le player, puis on peut charger ses pistes avec des streams. Ces Stream sont obtenus en ouvrant un fichier audio avec une fonction de la bibliothèque, convertissant le fichier brut en un stream compatible LibAudioStream (structure arborescente).

Remarque : pour charger un stream dans un player, on doit le charger dans une piste. En effet, il est impossible de charger un stream sans désigner une piste particulière, le système de player LibAudioStream reposant le principe d'un mixeur.

Comme un player repose sur le principe d'un mixeur, on se rapproche du schéma d'un logiciel classique avec des pistes. Souhaitant proposer une nouvelle manière de travailler, j'ai décidé d'implémenter un système avec et sans pistes, tout en travaillant avec la définition d'un player LibAudioStream. Pour ce faire j'ai réfléchi à une implémentation de deux players simultanément.

2. *Architecture à deux players*

Pour parvenir à proposer le choix d'envoie de données sur des pistes ou non, j'ai imaginé un système à deux players :

- Un player nommé *audio-player-visible*, dont la gestion des pistes est accordée à l'utilisateur,
- Un player nommé *audio-player-hidden*, dont la gestion des pistes n'est pas accessible par l'utilisateur, mais sera automatisée.

Concrètement, pour chaque fichier audio, l'utilisateur pourra soit :

- choisir une piste, et alors envoyer son fichier audio sur une piste du player *audio-player-visible*,
- choisir la piste 0, et ainsi envoyer son fichier audio sur le player *audio-player-hidden*, sans avoir aucune notion de piste mais plutôt de ressource audio individuelle.

En réalité, le *audio-player-hidden* dispose bien d'un système par piste étant donné que c'est un player instancié via LibAudioStream, mais la répartition de données sur celui-ci est automatisé par un gestionnaire créé par mes soins. Voici un schéma récapitulatif de l'architecture envisagé :

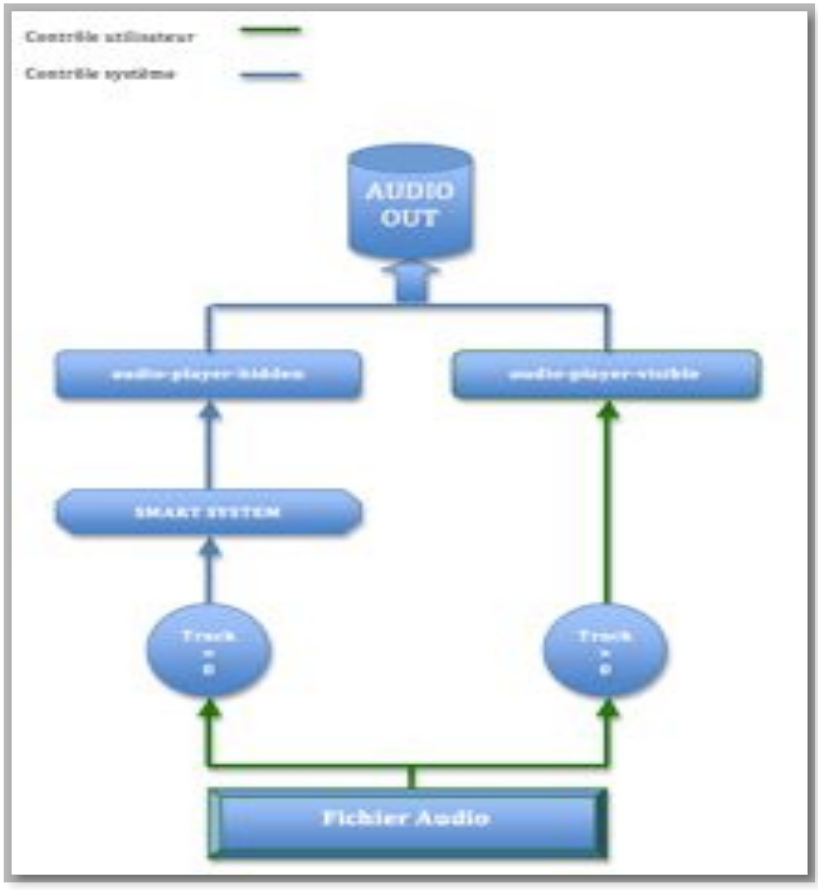


Figure 9 : Schéma explicatif de l'architecture à deux players.

Le « Smart System » présent dans le schéma ci-dessus consiste en un registre, actualisé en permanence, et rendant compte de l'état de chacune des pistes du *audio-player-hidden*. On peut ainsi connaître l'état de chaque piste et répartir les données nouvelles du compositeur sur des pistes libres, dans que celui-ci sache qu'il utilise en réalité un système de pistes. Une description de ce système est disponible en annexe.
On distinguera ainsi deux méthodes de travail possibles pour le compositeur :

- Contrôle complet du système avec le player par piste,
- Contrôle de l'objet uniquement avec le player « sans » pistes (haut niveau).

Voici un schéma détaillant la procédure d'affectation d'une ressource audio grâce au « Smart System » :

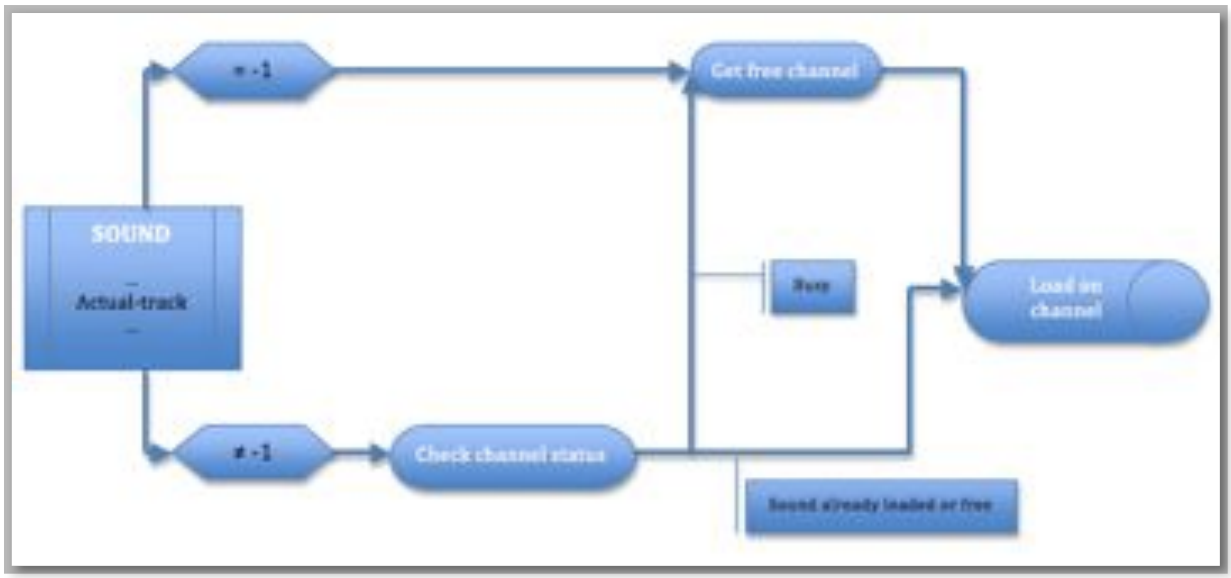


Figure 10 : Récapitulatif du "Smart System"

Cette solution a pu être implémentée, car très peu couteuse pour le système. Elle permet au compositeur plus d'expressivité et de rapidité d'exécution car, contrairement à un player de CAO classique, il n'est pas obligé d'utiliser un système de piste lorsqu'il n'en a pas besoin.

4. Intégration de Faust

Pour pouvoir proposer des moyens de production audio (synthétiseurs) programmables et de traitement du signal (effets) également programmables et contrôlables, je me suis tourné ver le langage Faust du GRAME.
Le but est d'obtenir un moyen de créer ses propres effets et synthétiseurs, et de les rendre contrôlables comme on le désire. Sachant qu'un compositeur ne connaît pas forcément ce langage, ou ne souhaite pas le pratiquer, il existe de nombreux effets et synthétiseurs déjà « codés » disponibles. On pourra ainsi disposer des synthétiseurs et effets basiques sans avoir à programmer soi même. Il restera bien sûr possible d'approfondir, de créer et modifier ces objets.
Lors de cette intégration, même si les effets et synthétiseurs peuvent être codés et compilés de la même manière, j'ai souhaité les distinguer en deux objets, car ne remplissant pas les mêmes fonctions. Les objets OpenMusic étant représentés sous

forme de boîtes, j'ai créé deux classes de « box » distinctes : *FAUST-EFFECT-CONSOLE* et *FAUST-SYNTH-CONSOLE*.

1. *Effets*

Nous allons décrire ici le comportement de l'objet *FAUST-EFFECT-CONSOLE*.
Pour rappel, les objets OpenMusic se comportent comme des fonctions. Ils possèdent donc une ou des entrées (arguments) et sorties. Les arguments d'une *FAUST-EFFECT-CONSOLE* sont les suivants :

- Un objet *Textfile*, éditeur de texte déjà implémenté dans le logiciel. C'est dans cet objet que le compositeur éditera du code Faust,
- Un nom, sous forme de chaine caractère,
- Un numéro de piste (optionnel) si le compositeur souhaite brancher son effet immédiatement sur une piste du player.

Le rôle de cette boîte va être de :

- Compiler le code fournit (renvoyer une erreur si la compilation échoue),
- Enregistrer cet effet dans un registre, avec le nom choisit ou un nom par défaut si aucun nom n'est soumis (utile pour la gestion future de ces effets et pour éviter les doublons),
- Eventuellement le brancher à la piste choisie, ou ne rien faire si aucune piste n'est spécifiée,
- Proposer une interface graphique pour le contrôle de cet effet.

La compilation du code Faust se fait via la fonction suivante de l'API de la bibliothèque LibAudioStream :

MakeFaustAudioEffect(name library_path,draw_path);

avec :

- Name : le code Faust,
- Library_path : le chemin vers les bibliothèques (permet l'accès à des effets basiques déjà créés),
- Draw_path : le chemin où l'on souhaite que le fichier SVG s'écrive.

En retour de cette fonction, on obtient un pointeur vers l'effet créé. Si le pointeur est un pointeur nul, cela signifie que la compilation a échoué. On peut alors récupérer l'erreur du compilateur via la fonction suivante, qui la retourne sous forme de chaine de caractères :

GetLastLibError()

Une fois l'effet compilé, on souhaite construire son interface graphique. LibAudioStream permet de récupérer un fichier Json détaillant la structure graphique d'un effet, grâce à la fonction suivante :

GetJsonEffect(effect)

avec :

- Effect : Pointeur vers un effet Faust.

En Lisp, il existe quelques parseurs de Json, mais peut performants. Cependant, certains permettent tout de même d'obtenir une représentation du fichier sous forme de liste. C'est le cas de Yason [16], que j'ai décidé d'utiliser. Ensuite, je pourrais « parser » cette liste en fonction de la spécification Json de Faust, pour créer des objets père/fils, et ainsi obtenir un arbre détaillant la représentation graphique de l'effet. Cette partie de récupération de la structure graphique n'étant pas le cœur de la problématique de mon stage, je ne vais pas détailler la manière dont j'ai conçu le parseur. Cependant, n'ayant jamais créé de parseur auparavant, ce travail a été très formateur, notamment le fait d'écrire un parseur entièrement récursif, et donc avec un code très mince. Ce code, ainsi que la spécification Faust Json sont disponible en annexe.

La bibliothèque LibAudioStream nous ayant renvoyé un fichier SVG, on propose à l'utilisateur, via l'interface graphique, de pouvoir y accéder. Les fichiers SVG s'ouvrent par défaut dans un navigateur internet. Connaissant le chemin où le fichier à été créé, il nous suffit de créer un bouton appelant une ligne de commande d'ouverture du fichier désiré.

Finalement, voici à quoi peut ressembler la création d'un effet Faust, ainsi que son interface graphique :

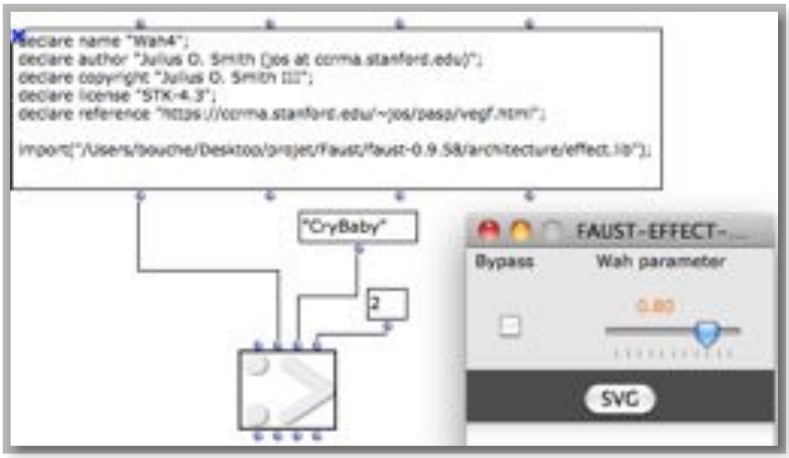


Figure 11 : FAUST-EFFECT-CONSOLE pour l'effet CrybBay (Wah-Wah) et son résultat graphique.

2. *Synthétiseurs*

Pour ce qui est des synthétiseurs, le fonctionnement est similaire aux effets. En effet, la compilation et création de l'interface graphique s'effectuent de la même manière. Cependant, on peut observer un léger changement dans les entrées de la *FAUST-SYNTH-CONSOLE*, dont les arguments sont les suivants :

- Un objet *Textfile*,
- Un nom, sous forme de chaine caractère,

- Un numéro de piste (optionnel) si le compositeur souhaite brancher son synthétiseur immédiatement sur une piste du player,
- Une durée, pour choisir le « temps » de l'objet (10 secondes par défaut). Cette durée sera surtout utile pour la pré écoute du son synthétisé dans l'environnement du Patch (pour la maquette, on envisage une intégration à durée variable).

En comparaison avec la *FAUST-EFFECT-CONSOLE,* j'ai donc simplement ajouté un argument d'entrée. Cependant, la séparation entre effet et synthétiseurs est marquée notamment dans les registres : on ne compte pas autoriser le branchement de plusieurs synthétiseurs sur la même piste (illogique). Il est donc nécessaire de tenir deux registres différents pour les effets et synthétiseurs, les effets pouvant être branchés en cascade.

Pour ce qui est de l'intégration dans la nouvelle architecture audio, j'ai souhaité que l'on puisse considérer les synthétiseurs comme des objets à part entière. Dans une architecture classique, un synthétiseur se branche sur une piste audio. Ici, on retrouve ce schéma avec le *audio-player-visible*. Pour qu'ils puissent s'utiliser sans ce système, et donc sur le *audio-player-hidden*, j'ai du créer un système de recherche de piste libre (comme pour le smart system cité précédemment), mais au lieu de charger un fichier audio dans une piste libre, je branche un synthétiseur. Etant donné que l'allocation des fichiers ou synthétiseurs sur ces pistes « cachées » est variable, il est nécessaire de débrancher un synthétiseur une fois son temps de jeu écoulé. Pour cela, on utilise les fonctions *om-synth-preview-play* et *om-synth-preview-play* décrites en annexe.

3. *Automations*

Dans cette partie, nous allons étudier la partie « contrôle dynamique » de l'architecture audio. Par contrôle dynamique, on entend bien sûr contrôle temps réel des paramètres, mais surtout écriture de l'interaction. Par exemple, si l'on crée un synthétiseur ayant parmi ses paramètres un paramètre de fréquence, on souhaite pouvoir écrire l'évolution de celui-ci au cours du temps. Ainsi, synthétiseur et effets pourront être un terrain de composition, et non pas des objets « statiques ».

Pour cela, j'ai créé une classe nommée *bpf-control*. Cette classe, dérivée d'une classe déjà existante nommé *bpf* et permettant l'édition de courbe, se comporte comme un objet audio, c'est à dire qu'elle possède une durée (variable) et est lue via une fonction « play ». Les boîtes représentant cette classe possèdent comme entrées (arguments) :

- X-coordinates : les abscisses des points que l'on souhaite voir apparaître (si l'on ne souhaite pas éditer la courbe manuellement, mais plutôt calculer ses points),
- Y-coordinates : les ordonnées de ces même points,
- Precision : la précision décimale des valeurs des points,
- C-action : une fonction à réaliser à chaque passage du curseur de lecture sur un point,
- Faust-control : une liste comprenant une *FAUST-EFFECT-CONSOLE* ou une *FAUST-SYNTH-CONSOLE*, et le nom d'un paramètre. A chaque passage du curseur de lecture sur un point, la valeur lue deviendra celle du paramètre choisi.

Voici comment ces automations sont représentées et éditées graphiquement :

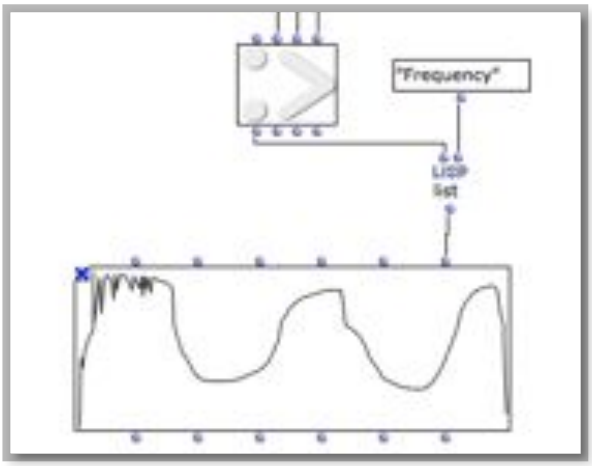


Figure 12 : Bpf-control, les automations des effets et synthétiseurs.

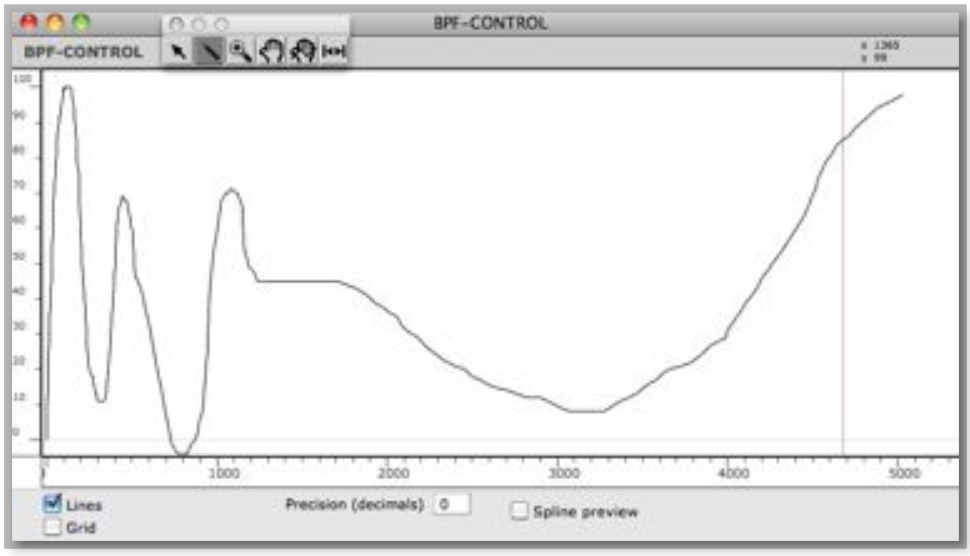


Figure 13 : Edition d'une courbe d'automation (bpf-control).

Cette bpf-control applique donc, à chaque passage du curseur sur un point, une fonction prenant comme argument la valeur du point rencontré. Dans le cas où l'on spécifie en entrée une liste effet/synthétiseur + paramètre, on a besoin de construire cette fonction.

La fonction permettant la construction de la fonction souhaitée et la fonction de scheduling des appels en fonction de la courbe sont disponibles en annexe.

5. General mixer

Remarque : Dans cette partie, seul le fonctionnement global du « General Mixer » sera décrit. Le développement étant surtout un travail graphique, aucun code ne figure ici.

Le « General mixer » est une table de mixage virtuelle. Celle-ci doit permettre une gestion complète du player *audio-player-visible*, ainsi que de tous les effets et synthétiseurs créés. En effet, on souhaite que le compositeur n'ai pas à supprimer puis recréer un effet pour le changer de piste par exemple. Tout doit pouvoir se faire via une

interface graphique simplifiée. La difficulté majeure ici a été de réaliser de nombreux tests de manière à tester tous les cas d'utilisation possibles. Pour citer un exemple simple d'un problème : si l'on n'empêche pas le branchement multiple d'un même effet, l'utilisateur pourra le faire (LibAudioStream est peu sécurisée), et cela entraîne des craquements audio importants, rendant l'écoute impossible et pouvant causer des dommages physiques lors de l'utilisation au casque. On portera donc une attention à la « sécurité » de cette table de mixage.

Voici à quoi ressemble cette interface :

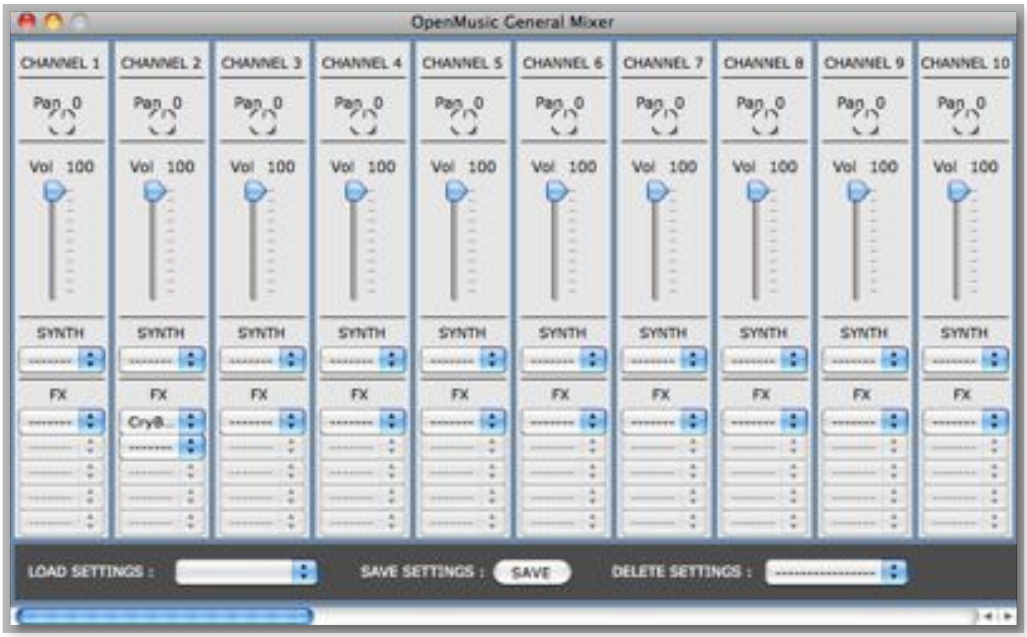


Figure 14 : General Mixer.

On peut voir sur cette illustration que, via cette table de mixage virtuelle, on fournit les contrôles suivants :

- Volume et Panoramique de chacune des pistes,
- Possibilité de brancher/débrancher un unique synthétiseur par piste,
- Possibilité de brancher/débrancher cinq effets par piste (extensible),
- Possibilité de charger/sauvegarder/supprimer des réglages de cette table.

5. Perspectives

1. Travaux à terminer

Le présent rapport devant être rédigé avant ma soutenance, ayant lieu un mois avant la fin effective de mon stage, je vais avoir l'occasion de terminer les travaux que je n'ai pu terminer. Pendant un mois, mes objectifs sont de :

- Effectuer une batterie de tests approfondis sur les développements effectuer, et corriger les bugs éventuels,
- Rétablir une fonction d'enregistrement audio.

En effet, de part la construction d'une nouvelle architecture, j'ai supprimé la fonction d'enregistrement audio, qui n'est plus compatible. Cependant, une nouvelle entrée temps réel a été développée au sein de LibAudioStream. Cette entrée temps réel permet, outre le fait de pouvoir enregistrer à partir d'une entrée audio, de pouvoir utiliser les données enregistrées pendant l'enregistrement. Cela conduira donc à une fonction d'enregistrement plus performante.

2. Ouvertures

L'architecture développée durant mon stage constitue une architecture fonctionnelle et stable. Cependant, on pourra très certainement continuer de l'améliorer. Il sera également intéressant d'observer plus précisément les possibilités ouvertes par les différents outils implémentés, et d'adapter le logiciel en fonction de celles ci.

Pour ce qui est du projet ANR INEDIT, une grande interopérabilité a été créée avec le GRAME. Pour ce qui est du LaBRI où des technologies sont en cours de développement, il pourra être intéressant de créer un protocole de communication entre le logiciel INScore et OpenMusic, ainsi qu'éventuellement intégrer libTuiles [17], permettant de pousser encore plus loin l'interactivité dans l'écriture du temps et dans la manipulation des fichiers audio.

6. Conclusion

Pour ma part, le bilan de ce stage est très positif. Il m'a permis à la fois de mettre en œuvre mes connaissances acquises au fil de mes études, d'approfondir certains points mais également d'apprendre beaucoup de choses nouvelles. Cette expérience confirme mon envie de poursuivre une carrière dans l'informatique appliquée à la musique, et très certainement dans la recherche dans ce domaine. En effet, les différentes collaborations avec des équipes de recherche ont été pour moi une grande source de motivation. J'ai pu présenter à de nombreux chercheurs mes travaux, mais aussi réfléchir avec eux aux problématiques soulevées par mon travail. Aussi, avoir eu la chance de pouvoir travailler sur l'architecture audio, et donc le cœur d'un logiciel phare de l'Ircam est une grande source de satisfaction.

Du point de vue de l'Ircam, le bilan est également positif puisque mon maître de stage m'a proposé de poursuivre les travaux entrepris dans une thèse abordant les problématiques d'ordonnancement dues aux nouvelles méthodes de CAO. Le sujet de thèse n'ayant pas reçu d'allocation, celle-ci n'aura pas lieu. Mais cela prouve que notre collaboration s'est bien passée et pourrait continuer sans problème.

J'envisage de poursuivre mes études l'an prochain, au sein du master ATIAM de l'Ircam, pour parfaire ma formation dans le domaine de l'informatique musicale (traitement du signal, acoustique, informatique etc...).

ANNEXES

Récupération des métadonnées

```
(defun om-fill-sound-info (sound)
  (when (and sound (filename sound) (probe-file (filename sound)))
    (print (format nil "loading sound file : ~s" (namestring (filename sound))))
    (multiple-value-bind (format nch sr ss size skip)
        (sound-get-info (filename sound))
      (if (and format size nch (> size 0) (> nch 0))
          (progn
            (setf los-infos (los-get-sound-infos (om-path2cmdpath (filename sound))))
            (setf (audio-format sound) format
                  (number-of-samples sound) size
                  (number-of-channels sound) nch
                  (sample-size sound) ss
                  (sample-rate sound) sr
                  (data-position sound) skip
                  (sndbuffer sound) (multiple-value-bind (data size nch)
                                        (au::load-audio-data (oa::convert-filename-encoding (om-sound-file-name sound)) :float)
                                      (let* ((sndbuffer data)) sndbuffer))
                  (sndloopptr sound) (car los-infos)
                  (sndloopptr-current sound) (sndloopptr sound)
                  (sndloopptr-current-save sound) (sndloopptr sound)
                  (number-of-samples-current sound) (cadr los-infos)
                  (sndloopptr-to-play sound) (sndloopptr sound)
                  (number-of-samples-to-play sound) (cadr los-infos)
                  (snd-slice-to-paste sound) nil)
            (setf (loaded sound) t)
            (unless (om-supported-audio-format format)
              (print (format nil "Warning : unsupported audio format ~A" format))
              (setf (loaded sound) :error)))
          (progn
            (print (format nil "Error while loading file ~s" (filename sound)))
            (setf (loaded sound) :error))))
    (loaded sound)))

(defun sound-get-info (filename)
  (let ((format_save (audio-file-type filename)))
    (when (om-supported-audio-format format_save)
        (multiple-value-bind (format nch sr ss size skip)
            (au::sndfile-get-info (convert-filename-encoding filename))
          (values format nch sr ss size skip)))))
```

Affichage de la waveform

```
(defmethod om-draw-waveform ((self soundPanel) smpstep)
  (let* ((thesound (object (om-view-container self)))
         (sr (if (om-sound-las-using-srate-? thesound)
                 las-srate
               (om-sound-sample-rate thesound)))
         (timestep (/ (/ sr 1000.0) smpstep))
         (nch (om-sound-n-channels thesound))
         (window-v-size (om-point-v (om-view-size self)))
         (stream-buffer (om-sound-sndbuffer thesound))
         (system-etat (get-system-etat self))
         (xmin (car (rangex self)))
         (pixmin (om-point-h (point2pixel self (om-make-point xmin 0) system-etat)))
         (xmax (cadr (rangex self)))
         (pixmax (om-point-h (point2pixel self (om-make-point xmax 0) system-etat)))
         (xtime (- xmax xmin))
         (basicstep smpstep)
         (channels-h (round window-v-size nch))
         (offset-y (round channels-h 2))
         (datolist (loop for pt from 0 to (* timestep xtime) collect
                         (loop for chan from 0 to (- nch 1) collect
                               (fli::dereference stream-buffer
                                                 :index (+ (* xmin (round sr 1000) nch) (round (* pt basicstep nch)) chan)
                                                 :type :float)))))
    (loop for i from 0 to (- nch 1) do
          (om-draw-line pixmin (+ (* i channels-h) offset-y) pixmax (+ (* i channels-h) offset-y)))
    (setf sampleprev (car datolist))
    (loop for sample in (cdr datolist)
          for i = 0 then (+ i 1) do
          (loop for val in sample
                for c = 0 then (+ c 1) do
                (setf pixpoint (round (* offset-y val))) ; scaled 0-1 --> 0 -->256/2
                (setf pixtime (om-point-h (point2pixel self (om-make-point
                                                             (+ xmin (* i (/ 1 timestep)) (/ 1 timestep)) 0) system-etat)))
                (setf pixtimeprev (om-point-h (point2pixel self (om-make-point (+ xmin (* i (/ 1 timestep))) 0) system-etat)))
                (om-draw-line  pixtimeprev (+ offset-y (* c channels-h) (round (* offset-y (nth c sampleprev))))
                               pixtime (+ offset-y (* c channels-h) pixpoint))
                ) (setf sampleprev sample))))
```

```
(defmethod om-draw-contents ((self soundPanel))
  (call-next-method)
  (if (equal (state (player (editor self))) :recording)
      (om-with-focused-view self
        (om-with-fg-color self *om-red2-color*
          (om-with-font *om-default-font4b*
            (let ((halftext (round (om-string-size "Recording" *om-default-font4b*) 2)))
              (om-draw-string (- (round (w self) 2) halftext) (round (h self) 2) "Recording")))))
    (if (om-sound-file-name (object (om-view-container self)))
        (let* ((thesound (object (om-view-container self)))
               (sr (if (om-sound-las-using-srate-? thesound)
                       las-srate
                     (om-sound-sample-rate thesound)))
               (size (om-sound-n-samples-current thesound))
               (dur (or (and (and sr size)
                             (/ size sr)) 0))
               (dur-ms (round size (/ sr 1000.0)))
               (total-width (om-point-h (om-field-size self)))
               (thepicture (and dur (pic-to-draw thesound)))
               (window-h-size (om-point-h (om-view-size self)))
               (window-v-size (om-point-v (om-view-size self)))
               (stream-buffer (om-sound-sndbuffer thesound))
               (system-etat (get-system-etat self))
               (xmin (car (rangex self)))
               (pixmin (om-point-h (point2pixel self (om-make-point xmin 0) system-etat)))
               (xmax (cadr (rangex self)))
               (pixmax (om-point-h (point2pixel self (om-make-point xmax 0) system-etat)))
               (xview (- xmax xmin))
               (pict-threshold (if (> size (* 5 sr)) (/ dur-ms 3.0) 15000))
               (step-1smp 1)
               (step-100us (/ sr 10000.0))
               (step-200us (/ sr 5000.0))
               (step-400us (/ sr 2500.0))
               (step-800us (/ sr 1250.0))
               (step-1ms (/ sr 1000.0))
               (step-2ms (/ sr 500.0))
               (step-3ms (/ sr 333.3333))
               (step-4ms (/ sr 250.0))
```

```
      (step-5ms (/ sr 200.0))
      (step-10ms (/ sr 100.0))
      (step-20ms (/ sr 50.0))
      (step-30ms (/ sr 33.3333))
      (step-40ms (/ sr 25.0))
      (step-50ms (/ sr 20.0)))
(om-with-focused-view self
  (when (and thesound thepicture)
    (om-with-fg-color self *om-dark-gray-color*
      (if (< xview pict-threshold)
          (cond ((>= xview 300000) (om-draw-picture self thepicture (om-make-point 0 0)
                                                    (om-subtract-points (om-field-size self) (om-make-point 0 15))))
                ((and (< xview 300000) (>= xview 250000)) (om-draw-waveform self step-50ms))
                ((and (< xview 250000) (>= xview 190000)) (om-draw-waveform self step-40ms))
                ((and (< xview 190000) (>= xview 130000)) (om-draw-waveform self step-30ms))
                ((and (< xview 130000) (>= xview 80000)) (om-draw-waveform self step-20ms))
                ((and (< xview 80000) (>= xview 40000)) (om-draw-waveform self step-10ms))
                ((and (< xview 40000) (>= xview 25000)) (om-draw-waveform self step-5ms))
                ((and (< xview 25000) (>= xview 20000)) (om-draw-waveform self step-4ms))
                ((and (< xview 20000) (>= xview 14000)) (om-draw-waveform self step-3ms))
                ((and (< xview 14000) (>= xview 7500)) (om-draw-waveform self step-2ms))
                ((and (< xview 7500) (>= xview 5000)) (om-draw-waveform self step-1ms))
                ((and (< xview 5000) (>= xview 3000)) (om-draw-waveform self step-800us))
                ((and (< xview 3000) (>= xview 1750)) (om-draw-waveform self step-400us))
                ((and (< xview 1750) (>= xview 900)) (om-draw-waveform self step-200us))
                ((and (< xview 900) (>= xview 500)) (om-draw-waveform self step-100us))
                ((< xview 500) (om-draw-waveform self step-1smp)))
        (om-draw-picture self thepicture (om-make-point 0 0) (om-subtract-points (om-field-size self) (om-make-point 0 15))))
      (om-with-fg-color self *om-blue-color*
        (loop for item in (markers thesound)
              for k = 0 then (+ k 1) do
              (om-with-line-size (if (member k (selection? self)) 2 1)
                (om-draw-line (round (* total-width item) dur) 0 (round (* total-width item) dur) (h self))
                (om-fill-rect (- (round (* total-width item) dur) 2) 0 5 5)))))
    (when (grille-p self)
      (draw-grille self))
    (draw-intervol-cursor self)
    (unless thepicture
      (if (and (om-sound-file-name thesound) (zerop dur))
          (om-with-focused-view self
            (om-draw-string 30 30 (format nil "Error: file ~A is empty" (om-sound-file-name (object (editor self))))))
        (om-with-focused-view self
          (om-draw-string (round (w self) 2) (round (h self) 2) "..."))
        )))) (om-with-focused-view self (om-draw-string 10 40 (format nil "You have to load a file."))))))
```

Smart system

```
;/GET FREE CHANNEL FUNCTION
;Tool that find a free channel (which state is IDLE, no matter if a sound is loaded) starting from 0.
;Returns the first encountered free channel (as an int).
(defun get-free-channel (player)
  (let ((i 0)
        (status "init")
        (status-list (if (eq player *audio-player-hidden*)
                         *audio-player-hidden-tracks-info*
                       *audio-player-visible-tracks-info*)))
    (while (not (string-equal status "Idle"))
      (setf status (cadr (gethash i status-list)))
      (setf freetrack i)
      (incf i)
      )
    freetrack))

;/PLAY FUNCTION FOR HIDDEN PLAYER
;This function works based on a little system that checks if the sound is already loaded :
;           -if yes it uses a basic transport system
;           -if not it assigns it to the first available track
;           -if yes but since it was idle its track was allocated to an other sound, it assigns it to the first available track
(defun om-smart-play-hidden (snd)
  (let* ((actual-track (tracknum-sys snd))
         (player *audio-player-hidden*))
    (if (/= actual-track -1)
        (if (eq snd (car (gethash actual-track *audio-player-hidden-tracks-info*)))
          (cond ((string-equal "Idle" (cadr (gethash actual-track *audio-player-hidden-tracks-info*)))
                 (let ()
                   (load-sound-on-one-channel player snd actual-track)
                   (play-one-channel player actual-track)))
                ((string-equal "Paused" (cadr (gethash actual-track *audio-player-hidden-tracks-info*)))
                 (cont-one-channel player actual-track))
                ((string-equal "Playing" (cadr (gethash actual-track *audio-player-hidden-tracks-info*))) nil))
          (if (string-equal "Idle" (cadr (gethash actual-track *audio-player-hidden-tracks-info*)))
              (let ()
                (load-sound-on-one-channel player snd actual-track)
                (play-one-channel player actual-track))
            (let ((chan (get-free-channel player)))
              (setf (tracknum-sys snd) chan)
              (load-sound-on-one-channel player snd chan)
              (play-one-channel player chan))
            ))
      (let* ((chan (get-free-channel player)))
        (setf (tracknum-sys snd) chan)
        (load-sound-on-one-channel player snd chan)
        (play-one-channel player chan)))))

;/PAUSE FUNCTION FOR HIDDEN PLAYER
;This function is a basic pause function which works only if the sound is playing. It also check if the channel of the sound
;is well loaded with it to avoid issues.
(defun om-smart-pause-hidden (snd)
  (let ((actual-track (tracknum-sys snd))
        (player *audio-player-hidden*))
    (if (eq snd (car (gethash actual-track *audio-player-hidden-tracks-info*)))
        (if (string-equal "Playing" (cadr (gethash actual-track *audio-player-hidden-tracks-info*)))
            (pause-one-channel player actual-track)))))

;/STOP FUNCTION FOR HIDDEN PLAYER
;This function is a basic stop function. It also check if the channel of the sound is well loaded with it to avoid issues.
(defun om-smart-stop-hidden (snd &optional synth)
  (let ((actual-track (tracknum-sys snd))
        (player *audio-player-hidden*))
    (if (eq snd (car (gethash actual-track *audio-player-hidden-tracks-info*)))
        (stop-one-channel player actual-track))))
```

Spécification du Json de Faust

```
<json> = {
                    "name"        : "karplus"
                    "address"     : "localhost"
                    "port"              : 5510,
//                  "inputs"      : 2,                still pending
//                  "outputs"     : 2,                still pending
//                  "meta"              : [{"clef":"valeur"}, ...], still pending
                    "ui"          : <ui>
}

<ui> = <group> | <slider> | <nentry> | <button> | <bargraph>

<group> = { "type" : "(vht)group",
                    "label": "excitation",
                    "items": [<ui>...]
                }

<slider>= {
                    "type": "(vh)slider",
                    "label": "excitation",
                    "address": "/karplus/excitator/excitation",
                    "meta": [{"clef" : "valeur"}, ...],
                    "init": "128",
                    "min": "2",
                    "max": "512",
                    "step": "1"
                }

<nentry>= {
                    "type": "nentry",
                    "label": "excitation",
                    "address": "/karplus/excitator/excitation",
                    "meta": [{"clef" : "valeur"}, ...],
                    "init": "128",
                    "min": "2",
                    "max": "512",
                    "step": "1"
                }

<button>= {
                    "type": "button",
                    "label": "excitation",
                    "address": "/karplus/excitator/excitation"
                    "meta": [{"clef" : "valeur"}, ...],
                }

<checkbox>= {
                    "type": "checkbox",
                    "label": "excitation",
                    "address": "/karplus/excitator/excitation"
                    "meta": [{"clef" : "valeur"}, ...],
                }

<bargraph>= {
                    "type" : "(vh)bargraph",
                    "label": "excitation",
                    "address": "/karplus/excitator/excitation",
                    "meta": [{"clef" : "valeur"}, ...],
                    "min" : "2",
                    "max" : "512",
                }
```

Parseur faust

```
;;;=============================================================================
;;;============================ OBJECTS AND ACCESSORS ==========================
;;;=============================================================================
(defclass faust-group ()
  ((group-type :initform nil :initarg :group-type :accessor group-type)
   (label :initform nil :initarg :label :accessor label)
   (items :initform nil :initarg :items :accessor items)
   (size :initform nil :initarg :size :accessor size)))

(defmethod las-faust-get-group-type ((self faust-group))
  (group-type self))
(defmethod las-faust-get-group-label ((self faust-group))
  (label self))
(defmethod las-faust-get-group-items ((self faust-group))
  (items self))
(defmethod las-faust-get-group-size ((self faust-group))
  (size self))


(defclass faust-param ()
   ((param-type :initform nil :initarg :param-type :accessor param-type)
    (label :initform nil :initarg :label :accessor label)
    (osc-address :initform nil :initarg :osc-address :accessor osc-address)
    (metadata :initform nil :initarg :metadata :accessor metadata)
    ;(style :initform nil :initarg :style :accessor style)
    ;(tooltip :initform nil :initarg :tooltip :accessor tooltip)
    ;(unit :initform nil :initarg :unit :accessor unit)
    (init-val :initform nil :initarg :init-val :accessor init-val)
    (min-val :initform nil :initarg :min-val :accessor min-val)
    (max-val :initform nil :initarg :max-val :accessor max-val)
    (step-val :initform nil :initarg :step-val :accessor step-val)
    (size :initform nil :initarg :size :accessor size)))


(defmethod las-faust-get-param-type ((self faust-param))
  (param-type self))
(defmethod las-faust-get-param-label ((self faust-param))
  (label self))
(defmethod las-faust-get-param-address ((self faust-param))
  (osc-address self))
(defmethod las-faust-get-param-metadata ((self faust-param))
  (metadata self))
(defmethod las-faust-get-param-init-val ((self faust-param))
  (init-val self))
(defmethod las-faust-get-param-min-val ((self faust-param))
  (min-val self))
(defmethod las-faust-get-param-max-val ((self faust-param))
  (max-val self))
(defmethod las-faust-get-param-step-val ((self faust-param))
  (step-val self))
(defmethod las-faust-get-param-size ((self faust-param))
  (size self))

;;;=============================================================================
;;;================================ PARSER =====================================
;;;=============================================================================
(defun las-faust-parse (string)
  (let ((children-list (list))
        father
        obj
        type)
    (setf father (construct-faust-ui (get-faust-json-ui string)))
    (group-items-to-objects father)
    (set-group-size father)
    father
    ))

(defun las-faust-translate-tree (tree)
  (let (children final-list)
    (setf children (las-faust-get-group-items tree))
    (if (> (length children) 0)
        (loop for i from 0 to (- (length children) 1) do
              (cond ((typep (nth i children) 'faust-group)
                     (setf final-list (append final-list (las-faust-translate-tree (nth i children)))))
                    ((typep (nth i children) 'faust-param)
                     (setf final-list (append final-list (list (nth i children))))))))
        (setf final-list (list)))
    final-list))

(defun las-faust-get-groups-only (tree)
  (let (children final-list)
    (setf children (las-faust-get-group-items tree))
    (if (> (length children) 0)
        (loop for i from 0 to (- (length children) 1) do
              (cond ((typep (nth i children) 'faust-group)
                     (setf final-list (append final-list (list (nth i children)))))
                    ((typep (nth i children) 'faust-param)
                     nil))))
```

```
  (if (items group)
      (loop for i from 0 to (- (length (items group)) 1) do
            (setf type (check-type-key (nth i (items group))))
            (setf obj
                  (cond ((or (string= type "hgroup") (string= type "vgroup"))
                         (construct-faust-group (nth i (items group))))
                        (t
                         (construct-faust-param (nth i (items group))))))
            (if (<= ground max) (setf top-list (append top-list (list obj))))
            (if (typep obj 'faust-group)
                (group-items-to-objects obj (+ ground 1))
              (set-param-size obj))
            (setf children-list (append children-list (list obj)))))
  (setf (items group) children-list)
  (if (<= ground max) (setf (items group) top-list)))


(defun construct-faust-ui (ui)
  (cond ((or (string= (check-type-key ui) "hgroup") (string= (check-type-key ui) "vgroup"))
         (construct-faust-group ui))
        (t
         (construct-faust-param ui))))

(defun construct-faust-param (list)
  (let (type label address metadata init-val min-val max-val step-val)
    (progn
      (pop list)
      (setf type (pop list))
      (pop list)
      (setf label (list))
      (while (not (string= (car list) "address"))
        (setf label (append label (pop list))))
      (pop list)
      (setf address (pop list))
      (if (string= (car list) "meta")
          (progn
            (pop list)
            (setf metadata (pop list))))
      (pop list)
      (setf init-val (pop list))
      (pop list)
      (setf min-val (pop list))
      (pop list)
      (setf max-val (pop list))
      (pop list)
      (setf step-val (pop list))
      (make-instance 'faust-param
                     :param-type type
                     :label label
                     :osc-address address
                     :metadata metadata
                     :init-val (if init-val init-val "0")
                     :min-val (if min-val min-val "0")
                     :max-val (if max-val max-val "10000000")
                     :step-val step-val))))

(defun construct-faust-group (list)
  (let (type label items)
    (progn
      (pop list)
      (setf type (pop list))
      (pop list)
      (setf label (list))
      (while (not (string= (car list) "items"))
        (setf label (append label (list (pop list)))))
      (pop list)
      (setf items (pop list))
      (make-instance 'faust-group
                     :group-type type
                     :label label
                     :items items))))

(defun check-type-key (list)
  (let ((curkey (pop list)) res)
    (if (string= curkey "type")
        (setf res (pop list)))
    res))

;;;=============================== GRAPH TOOLS ================================
;;;============================================================================
(defconstant buttonSize (list 124 40))
(defconstant checkboxSize (list 80 81))
(defconstant hsliderSize (list 124 81))
(defconstant vsliderSize (list 80 154))
(defconstant numentrySize (list 80 65))
```

```
(defmethod set-param-size ((self faust-param))
  (cond ((string= (param-type self) "checkbox") (setf (size self) checkboxSize))
        ((string= (param-type self) "button") (setf (size self) buttonSize))
        ((string= (param-type self) "hslider") (setf (size self) hsliderSize))
        ((string= (param-type self) "vslider") (setf (size self) vsliderSize))
        ((string= (param-type self) "numentry") (setf (size self) checkboxSize))
        (t (setf (size self) (list 25 25)))))

(defmethod set-group-size ((self faust-group))
  (let ((size (list 0 0))
        (type (group-type self))
        (x 0)
        (y 0)
        (max 0)
        curitem
        cursize)
    (if (string= type "hgroup")
        (progn
          (loop for i from 0 to (- (length (items self)) 1) do
                (setf curitem (nth i (items self)))
                (if (typep curitem 'faust-group) (set-group-size curitem))
                (setf cursize (size curitem))
                (setf x (+ x (car cursize)))
                (if (> (cadr cursize) max) (setf max (cadr cursize))))
          (setf size (list x max)))
      (progn
        (loop for i from 0 to (- (length (items self)) 1) do
              (setf curitem (nth i (items self)))
              (if (typep curitem 'faust-group) (set-group-size curitem))
              (setf cursize (size curitem))
              (setf y (+ y (cadr cursize)))
              (if (> (car cursize) max) (setf max (car cursize))))
        (setf size (list max y))))
    (setf (size self) size)))
```

Synthétiseur Play et Stop

```
;/SYNTH PREVIEW PLAY FUNCTION
;This function plays a preview of a selected synth, on the track which it's plugged or on the hidden player if it's not plugged.
(defun om-synth-preview-play (obj)
  (let ((search-res (las-faust-search-synth-console-in-register obj)))
    (if (car search-res)
        (let* ((info (cadr search-res))
               (synth-ptr (nth 1 info))
               (nullsnd (nth 2 info))
               (actual-track (trocknum-sys nullsnd))
               (res (las-faust-synth-already-plugged-? synth-ptr))
               chan liste)
          (if res
              (progn
                (om-smart-play nullsnd nil nil (+ (car res) 1)))
            (if (not (las-faust-synth-hidden-already-plugged-? synth-ptr))
                (progn
                  (if (/= -1 actual-track)
                      (setf chan actual-track)
                    (setf chan (get-free-channel *audio-player-hidden*)))
                  (setf (gethash chan *faust-synths-by-track-hidden*) synth-ptr)
                  (las::AddAudioEffect (gethash chan *effects-lists-hidden*) synth-ptr)
                  (om-smart-play nullsnd))))))))

;/SYNTH PREVIEW STOP FUNCTION
;This function stops a preview of a selected synth.
(defun om-synth-preview-stop (obj)
  (let ((search-res (las-faust-search-synth-console-in-register obj)))
    (if (car search-res)
        (let* ((info (cadr search-res))
               (synth-ptr (nth 1 info))
               (nullsnd (nth 2 info))
               (res (las-faust-synth-already-plugged-? synth-ptr))
               chan liste)
          (if res
              (om-smart-stop-visible nullsnd (car res))
            (let ((chan1 (find-synth-hidden synth-ptr)))
              (if chan1
                  (progn
                    (remove-faust-effect-from-list synth-ptr (gethash chan1 *effects-lists-hidden*))
                    (setf (gethash chan1 *faust-synths-by-track-hidden*) nil)))
              (om-smart-stop-hidden nullsnd))))))
```

Bpf-control : Faust-function builder & Scheduler

```
(defun get-infos-from-faust-control (faust-control)
  (let* ((name (cadr faust-control))
         (console (car faust-control))
         (ptr (if (typep console 'faust-effect-console) (effect-ptr console) (synth-ptr console)))
         (maxnum (las-faust-get-control-count ptr))
         found)
    (loop for i from 0 to (- maxnum 1) do
          (if (string= name (car (las-faust-get-control-params ptr i)))
              (setf found i)))
    (las-faust-get-control-params ptr found)))

(defun get-function-from-faust-control (faust-control)
  (let* ((name (cadr faust-control))
         (console (car faust-control))
         (ptr (if (typep console 'faust-effect-console) (effect-ptr console) (synth-ptr console)))
         (maxnum (las-faust-get-control-count ptr))
         infos minval maxval range found text-to-up display graph-to-up paramtype)
    (loop for i from 0 to (- maxnum 1) do
          (if (string= name (car (las-faust-get-control-params ptr i)))
              (setf found i)))
    (setf infos (las-faust-get-control-params ptr found))
    (setf minval (nth 1 infos))
    (setf maxval (nth 2 infos))
    (if (= minval maxval) (setf minval 0
                                maxval 1))
    (setf range (- maxval minval))
    (setf display (display (nth found (params-ctrl console))))
    (setf text-to-up (paramval display))
    (setf graph-to-up (paramgraph display))
    (setf paramtype (param-type (nth found (params-ctrl console))))
    (if graph-to-up
        #'(lambda (val)
            (if (< val minval) (setf val minval))
            (if (> val maxval) (setf val maxval))
            (las-faust-set-control-value ptr found (float val))
            (cond ((string= paramtype "checkbox")
                   (om-set-check-box graph-to-up (if (>= val 1) t)))
                  ((string= paramtype "numentry")
                   (progn
                     (om-set-dialog-item-text text-to-up (number-to-string (float val)))
                     (set-value graph-to-up (* 100 (/ (- val minval) range)))))
                  (t
                   (progn
                     (om-set-dialog-item-text text-to-up (number-to-string (float val)))
                     (om-set-slider-value graph-to-up (* 100 (/ (- val minval) range)))))))
      #'(lambda (val)
          (las-faust-set-control-value ptr found (float val))))))
```

```
(defmethod prepare-to-play ((self eol :bpfplayer)) (player omplayer) (object bpf-control) at interval)
  ;(player-unschedule-all self)
  (let ((faustfun (if (faust-control object)
                      (get-function-from-faust-control (faust-control object)))))
    (print faustfun)
    (when (or (c-action object) (faust-control object))
      (if interval
          (mapcar #'(lambda (point)
                      (if (and (>= (car point) (car interval)) (<= (car point) (cadr interval)))
                          (progn
                            (if (c-action object)
                                (schedule-task player
                                               #'(lambda () (funcall (c-action object) (cadr point)))
                                               (+ at (car point))))
                            (if (faust-control object)
                                (schedule-task player
                                               #'(lambda () (funcall faustfun (cadr point)))
                                               (+ at (car point))))))))
                  (point-pairs object))
          (mapcar #'(lambda (point)
                      (if (c-action object)
                          (schedule-task player
                                         #'(lambda () (funcall (c-action object) (cadr point)))
                                         (+ at (car point))))
                      (if (faust-control object)
                          (schedule-task player
                                         #'(lambda () (funcall faustfun (cadr point)))
                                         (+ at (car point)))))
                  (point-pairs object))))))
```

Bibliographie

[1] : *J. Bresson, C. Agon, G. Assayag, « OpenMusic Visual Programming Environment for Music Composition, Analysis and Research », ACM Multimedia, Scottsdale 2011.*
[2] : *A. Allombert, G. Assayag, M. Desainte-Catherine, « A system of interactive scores based on Petri nets », Proceedings of Sound an Music Computing Conference, SMC 2007.*
[3] : *D. Fober, Y. Orlarey, S. Letz, « INScore - An Environment for the Design of Live Music Scores », Proceedings of the Linux Audio Conference, LAC 2012.*
[4] : *A. Cont, « ANTESCOFO: Anticipatory Synchronization and Control of Interactive Parameters in Computer Music », International Computer Music Conference. ICMC 2008.*
[5] : *Y. Orlarey, D. Fober, S. Letz. "Faust : an Efficient Functional Approach to DSP Programming", New Computationals Paradigms for Computer Music, Edition Delatour (France), 2009.*
[6] : *LibAudioStream [Online] http: //libAudioStream.sourceforge.net/*
[7] : *G. Steele, « Common Lisp, The Language – 2nd Edition », Digital Press, 1990.*
[8] : *G. Assayag, C. Rueda, M. Laurson, C. Agon, O. Delerue, « Computer Assisted Composition at Ircam: PatchWork & OpenMusic », Computer Music Journal, 23(3), 1999.*
[9] : *Y. Orlarey, H. Lequay, « MidiShare : a Real Time multi-tasks software module for Midi applications », Proceedings of the International Computer Music Conference, ICMC 1989.*
[10] : *A. Schmeder, A. Freed, D. Wessel, « Best Practices for Open Sound Control », Proceedings of the Linux Audio Conference, LAC 2010.*
[11] : *J. McCartney. "Rethinking the Computer Music Language : SuperCollider." Computer Music Journal, 26(4), 2002.*
[12] : *M. Puckette. "Combining Event and Signal Processing in the MAX Graphical Programming Environment." Computer Music Journal, 15(3), 1991.*
[13] : *C. Lattner, « LLVM : An Infrastructure for Multi-Stage Optimization », Masters Thesis, Computer Science Dept., University of Illinois at Urbana-Champaign, Dec. 2002.*
[14] : *A. Gräf, « Functional Signal Processing with Pure and Faust using the LLVM Toolkit », Proceedings of the Sound and Music Computing Conference, SMC 2011.*
[15] : *libsndfile [Online] http://www.mega-nerd.com/libsndfile/*
[16] : *Yason [Online] http://common-lisp.net/project/yason/*
[17] : *D. Janin, F. Berthaut, M. Desainte-Catherine, « Multi-scale design of interactive music systems : the libTuiles experiment », Sound And Music Computing Conference, SMC 2013.*