RE.MI.DO 3.0
RECHERCHE EMOTION / MUSIQUE, INTERNET DES OBJETS

Vulliard Pierre-Henri
SCRIME - Arts Sciences Information
pierre-henri.vulliard@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

Pour suivre l'évolution des systèmes de communication, et celle des outils de production musicale, notre projet dans le domaine musique/émotions devait être réorienté.

Notre choix a été d'utiliser ou de détourner des outils grand public, pour leur facilité d'utilisation et pour leur compatibilité entre eux. Les logiciels choisis pour la production musicale sont ceux utilisés par les Disc Jockey (DJ). Les outils de communication et de gestion des données ont, quant à eux, été sélectionnés dans le domaine de la domotique.

Le contact avec le public (dans l'esprit des recherches participatives) revêtant pour nous une importance particulière, nous avons complété les expérimentations en concert par une diffusion sur le web. Nous avons opté pour une collaboration avec une « web radio », pour sa forme et ses usages parfaitement adaptés à un projet musical, son accessibilité excellente grâce aux smartphones, et son intégration dans l'environnement domotique, déjà habituelle dans certains pays grâce au boom mondial des enceintes connectées. La web radio choisie étant à vocation musicale et régionale, elle nous offre en plus un environnement extrêmement intéressant pour notre projet.

1. INTRODUCTION

Ces dernières décennies ont été marquées par l'évolution de la diffusion des médias (numérisation de la musique, multiplication des terminaux mobiles - ordinateurs portables, tablettes, smartphones, enceintes connectées-, haut débit avec la fibre optique et la 5G), et par le bouleversement des usages d'écoute et de consommation de la musique (plateforme internet de distribution de musique, partage de fichiers, abonnements…).

Le statut des acteurs de la musique a aussi été bouleversé : en tant que saxophoniste depuis les années 80, j'ai personnellement observé dans le milieu régional du spectacle vivant que les DJ avaient remplacé la plupart du temps les orchestres, et que dans les studios d'enregistrement les musiciens instrumentistes étaient devenus rares, remplacés par des *producers* qui utilisent la M.A.O. et des *samples* (échantillons sonores) pour créer toute la musique.

Le réseau de communication a aussi profondément changé. En France comme dans la plupart des pays occidentaux, l'usage des smartphones et des communications sans fil s'est généralisé, l'accès à internet est devenu usuel, la vitesse des transmissions a augmenté de manière exponentielle (le débit des données sur la fibre optique est difficilement comparable avec les performances du minitel), et l'évolution actuelle du « web » se fait vers un Internet des Objets connectés, capable de comprendre le sens des données circulant sur le réseau et d'interagir de plus en plus rapidement et naturellement avec l'utilisateur.

Divers aspects de notre projet ont déjà été présentés au Journées d'Informatique Musicales, comme la création d'un générateur interactif de musique destiné à nos investigations dans le domaine musique-physiologie et émotions[1], le recueil de données cérébrales liées aux émotions grâce à l'électro-encéphalographie[2], l'observation des rapports entre la musique et les émotions à partir de compositions musicales originales, l'interaction avec des montres connectées, l'implémentation de l'expérience dans une application de réalité virtuelle[3].

Mais dans toutes ces expérimentations, nous avons toujours cherché à rester proches de la création musicale et du public le plus large possible. Un réusinage de code de notre projet était donc nécessaire pour l'adapter à l'évolution du réseau Internet actuel, parfois appelé Internet 3.0.

2. DESCRIPTION GENERALE

2.1. Création musicale

Pour rester en contact avec les acteurs du monde du spectacle et les innovations dans le domaine audiovisuel, nous avons donc décidé d'utiliser des logiciels musicaux plus « commerciaux », tout en restant compatible avec des outils plus académiques de recherche tel que :

- les logiciel audiovisuel utilisant les langages de communication OSC, MIDI ou DMX (OSSIA SCORE du SCRIME [4], séquenceur multimédia autour du « temps souple », PureData de Miller Puckette, aussi auteur du logiciel de musique collaborative en réseau Quacktrip, Processing, VVVV…)
- tout matériel pouvant être interfacé avec des cartes électroniques programmables de type Arduino ou Raspberry Pi.
- OpenVibe, de l'INRIA, logiciel en temps réel de neurosciences, qui intègre un driver pour les casques que nous utilisons.

Notre choix a été orienté par l'encapsulation du logiciel Max/MSP dans la station de travail audionumérique Ableton LIVE, qui fait de cet environnement une solution parfaitement adaptée à notre projet, Ableton LIVE étant très populaire à la fois chez les DJ et chez les producteurs

de musique, et Max/MSP étant un outil historique pour les recherches musicales et sonores (et compatible avec PureData, son équivalent en logiciel libre écrit comme Max/MSP par Miller Puckette).

2.2. Déploiement dans le web 3.0

Pour l'accès aux objets connectés et pour centraliser nos activités, nous avons choisi l'environnement Node-RED principalement pour sa compatibilité avec les capteurs d'électro-encéphalographie que nous utilisons.

Le web 3.0, avec la souplesse et la puissance de calcul et de traitement des données sans cesse accrue auxquelles il donne accès, offre à la création musicale des perspectives réellement nouvelles, voire disruptives, beaucoup plus adaptées à l'ambition initiale de notre projet. 30 ans après le protocole MIDI qui a révolutionné l'environnement musical en reliant les musiciens et les instruments entre eux, le passage à l'*IoT* (*Internet of Things*) est l'opportunité d'une nouvelle révolution en reliant de manière très étroite l'univers de la musique à l'ensemble des activités humaines.

2.3. Diffusion en direction du public

2.3.1. Le média

Le média que nous avons choisi pour la diffusion du projet est une web radio locale diffusant principalement de la musique régionale. Nous y animons une émission hebdomadaire pour présenter et jouer en direct notre musique, et faire un premier niveau de sensibilisation et de médiation scientifique et culturelle sur la M.A.O., et sur nos recherches dans le domaine musique/émotion.

2.3.2. L'Internet des objets

L'accès à l'internet des objets est un domaine en pleine expansion, notamment grâce à la montée en puissance de la domotique. A l'heure actuelle, notre début de réorientation vers ce domaine se concrétise de manière visible surtout à travers quelques usages très répandus actuellement :

- Accès direct sur les enceintes connectées Amazon et Google à la radio diffusant notre émission (le nombre d'enceintes connectées installées dans le monde est estimé à plusieurs centaines de millions d'unités).
- Mise à disposition par l'hébergeur d'une application pour smartphone.
- Création d'un prototype d'interface web pour la diffusion de nos musiques et la collecte des données physiologiques, basé sur un système de contrôle pour la domotique.
- Utilisation de logiciels et services en ligne pour l'électro-encéphalographie.

2.3.3. Accès à Internet

L'usage quotidien d'internet s'est généralisé. Par exemple la connexion du smartphone au système de diffusion du son dans les automobiles est devenue courante, et permet d'avoir, dans les voitures récentes équipées du système *bluetooth,* la même facilité d'accès aux web radios qu'aux radios hertziennes traditionnelles, en jouant les radios depuis le smartphone de l'utilisateur.

3. MISE EN ŒUVRE TECHNIQUE

3.1. Musique

3.1.1. Logiciels

La musique produite par notre installation peut être, bien sûr, stockée sous forme de fichier pour un archivage sur disque dur, CD-Rom ou clef USB. Mais elle peut aussi être envoyée aux sites de diffusion sur internet, et même en direct sur la radio.

Pendant les émissions de radio, les deux principaux logiciels que nous utilisons pour créer et jouer la musique, le séquenceur Ableton Live avec Max-for-Live, ainsi que le logiciel Serato DJ envoient ainsi directement l'audio de leur sortie vers le web, via des logiciels de capture audio, du type IShowYou sur Mac (ou Jack sur Linux, pour des usages plus bas niveau), couplés à des logiciel d'encodage et de diffusion en *radio streaming* du type BUTT.

3.1.2. Musique et écriture musicale

Avec l'architecture logicielle choisie, notre projet de recherche et de création autour de la musique et des émotions se situe à la croisée de la musique savante (de nombreuses pièces électro-acoustiques ou mixtes sont réalisées autour de logiciels du type Max/MSP ou Puredata), et de la musique populaire électronique actuelle (réalisée avec des séquenceurs).

Certaines « Pierres de Rosette » permettent la communication entre les deux univers.

Par exemple, la « Roue de Camelot », incluse dans la majorité des logiciels pour DJ, et disponible en option dans la plupart des logiciels pour *producers* de musique, propose une colorisation de l'harmonie classique, avec le cycle des quintes en couleur (12 gammes associées à leurs relatifs mineurs).

De manière plus générale, les logiciels pour DJ les assistent musicalement de nombreuses manières :

- Avec une analyse rythmique des morceaux de musique, pour par exemple les mettre automatiquement au même tempo.
- En proposant un choix de longueur pour des boucles musicales calculé en partant de la mesure rythmique, comme le ferait un musicien à partir d'une partition.
- En modifiant la vitesse de la musique sans changer l'accordage (uniquement pour les fichiers audio numériques, si le DJ utilise des disques vinyles, l'opération devient beaucoup plus complexe…)
- En transposant les morceaux sans modification de la vitesse de lecture, tout en suivant la gamme tempérée par demi-tons.
- En proposant de nombreux outils utilisant l'intelligence artificielle pour améliorer le son. Ils effectuent ainsi les étapes de mixage et de mastérisation, traditionnellement faites par les ingénieurs du son.

Ces fonctions, très fortement réductrices d'un point de vue musical, ont cependant facilité dans notre cas la collaboration musiciens-DJ pour la production de musique

mixte (mélange de musique synthétique ou enregistrée et d'instruments acoustiques). Dans notre projet, la musique composée au préalable et jouée par l'ordinateur est souvent contrôlée ou mixée en temps réel par le DJ, les instruments acoustiques étant le saxophone et la guitare.

3.1.3. Génération de musique et procédés sonores utilisés

Dans le but d'obtenir une rétroaction musique/auditeur, l'interaction est possible avec de nombreux paramètres liés aux fonctions cognitives (attente, attention/ennui, excitation/calme) mesurées par les casques EEG, par exemple :

- choix des échantillons audio (ou autres médias) diffusés directement par Ableton ou par Max-for-Live
- volume, mixage
- tempo, style, signature (binaire / ternaire / swing)
- effets de transitions et de « résolutions » musicales à base de bruitages, de bruits blancs/roses, d'évolutions d'enveloppes temporelles sur des filtres de tonalité, sur le volume, sur la hauteur des sons
- utilisation de la spatialisation stéréo (panoramique, réverbération/délai)
- calcul de la fréquence de procédés thérapeutiques (battement binaural, ASMR, sons isochrones…)

3.2. Structure Internet des Objets

3.2.1. Création de l'ensemble de services permettant de collecter, stocker, corréler, analyser et exploiter les données.

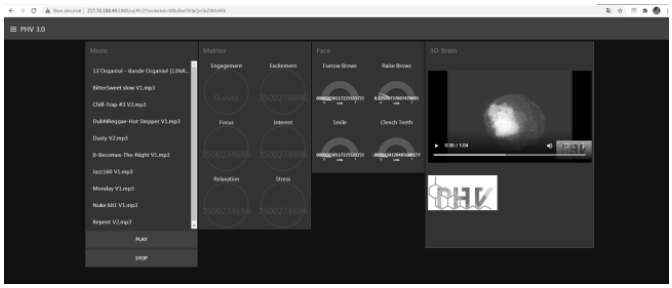

Figure 1. Tableau de bord Node-RED

L'utilisation de l'environnement Node-RED, développé pour la programmation d'applications dans le domaine de l'internet des Objets (Figure 1), nous permettra d'intégrer la plupart de nos projets précédents développés avec les étudiants : acquisition de données physiologiques, expériences cognitives, applications pour smartphone et montre connectée, base de données, environnement 3D, …

Cet environnement, comme la plupart des secteurs de services liés aux nouvelles technologies, subit des freins et des lenteurs liés aux stratégies marketing. Dans le déploiement de la domotique, comme dans la plupart des logiciels de musique et d'électro-encéphalographie, les fonctionnalités arrivent sous forme de mises-à-jour échelonnées dans le temps. Des considérations sociétales et des réactions émotionnelles apportent aussi certaines réticences, assez radicales dans certains milieux artistiques, car ces nouveaux usages et outils liés à internet provoquent des controverses quant à leur nécessité et à leur impact écologique (certains DJ ont même quitté la radio suite à sa mise à disposition sur les enceintes connectées).

Cette approche devient cependant incontournable, et présente pour nous de très nombreux avantages, notamment du point de vue du développement informatique, en diminuant le travail d'écriture de code au profit de la recherche d'innovations d'usage :

- Agilité : facilité de montée en charge par l'ajout d'objets, de services, de type de terminaux (ordinateurs portables, tablettes, smartphones, montres connectées…).
- *Low-code programming* : pour faciliter la programmation et la maintenance sans expertise en informatique (Node-RED, Max/MSP).

3.2.2. Interface utilisateur

Le tableau de bord (dashboard de Node-RED) nous permet de centraliser l'acquisition de données physiologiques, principalement par l'acquisition de données d'électro-encéphalographie avec les casques EEG Emotiv en utilisant Node-red pour accéder à l'API online, et par l'utilisation des « *wearable* » du type montres connectées pour d'autres données physiologiques. La connexion est aussi envisagée avec d'autres types de capteurs et d'informations (génome, photographie Kirlian…).

Des perspectives totalement nouvelles peuvent être aussi attendues avec l'acquisition de données cognitives et émotionnelles (Tweeter sentiments analysis, Watson personality) ou extraites des réseaux sociaux (Facebook, Whatsapp, Instagram).

3.2.3. Détail de l'électro-encéphalographie (BCI et Neurofeedback)

Les « casques EEG » grand public fonctionnent sur le même principe que le matériel médical. Ils sont munis d'électrodes qui captent l'activité électrique des neurones pour modéliser l'activité du cerveau. L'analyse des fréquences principales et de l'emplacement de ces « ondes cérébrales » donnent des indications sur l'état d'esprit et les émotions.

En dehors du milieu médical, cet outil a deux utilisations principales.

D'un côté on peut essayer de contrôler des dispositifs électroniques simplement « avec les pensées ». Certaines applications sont très utiles par exemple pour les personnes lourdement paralysées ou handicapées.

D'un autre côté, cela permet d'observer sa propre activité cérébrale. La simple prise de conscience de notre fonctionnement mental, avec un certain entraînement, peut

provoquer une sorte d'autorégulation. Cette méthode est appelée neurofeedback.

Les deux aspects sont intéressants pour notre projet musical, et nous cherchons à exploiter, en les associant, les deux types de données.

L'acquisition de données d'électro-encéphalographie est faite avec des Casques EEG (Emotiv Epoc+ (Figure 2), et Insight (Figure 3)), en passant par Node-red pour le stockage. L'envoi des données au serveur Node-Red est effectué en partie en s'appuyant sur le protocole OSC, très utilisé en musique.

Figure 2. Casque Emotiv INSIGHT

Figure 3. Casque Emotiv EPOC

L'analyse des données des casques peut être effectuée directement dans le cloud Emotiv grâce au système Emotiv pipeline. Mais un nombre croissant d'autres outils éprouvés est mis à disposition par les développeurs dans le domaine du logiciel libre, et par les organismes universitaires. Ces outils de calculs sont souvent moins spécifiques, mais leurs performances sont mieux connues, et leur paramétrage est beaucoup plus accessible dans l'optique de recherches scientifiques.

Ces outils, aux références plus académiques, nous permettent de retrouver nos algorithmes habituels pour l'intelligence artificielle et la fouille de données (Machine Learning, système de classeur LCS, Autoencoder avec Keras/ TensorFlow[5]), et de les comparer au solutions dédiées.

Le stockage actuel a été mis en place avec des étudiants sous forme de base de données SQL (mysql), mais il sera ultérieurement changé pour une base NoSQL dans le cloud (Figure 4).

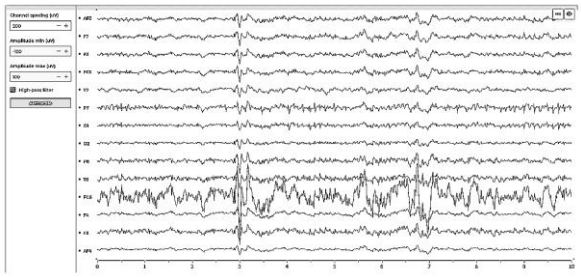

Figure 4. Exemple de données recueillies par les étudiants

3.3. Diffusion en direction du public

3.3.1. Radio Bordo Chato

L'absence de concerts depuis plus d'un an, et le manque de visibilité des artistes en raison des mesures sanitaires liées à la pandémie de Covid, ont motivé la création à Bordeaux d'une nouvelle web radio, appelée Radio Bordo Chato (Figure 5).

Destinée à la diffusion de disques et d'enregistrements de concerts « Live » de groupes régionaux, cette création a été pour nous l'opportunité de participer à un collectif de musiciens et de DJ pour nous intégrer dans un environnement musical traditionnel.

La communauté autour de la radio nous permet ainsi d'observer « de l'intérieur » les évolutions de la création musicale chez les artistes, des plus jeunes aux plus expérimentés, tout en donnant une plus grande visibilité à nos recherches.

Dans le cadre plus général de nos travaux, cette collaboration nous apporte aussi un panel plus varié de sujets pour nos expérimentations (une annonce, enregistrée par les étudiants afin de recruter des sujets pour l'expérience en cours, a ainsi été diffusée très régulièrement).

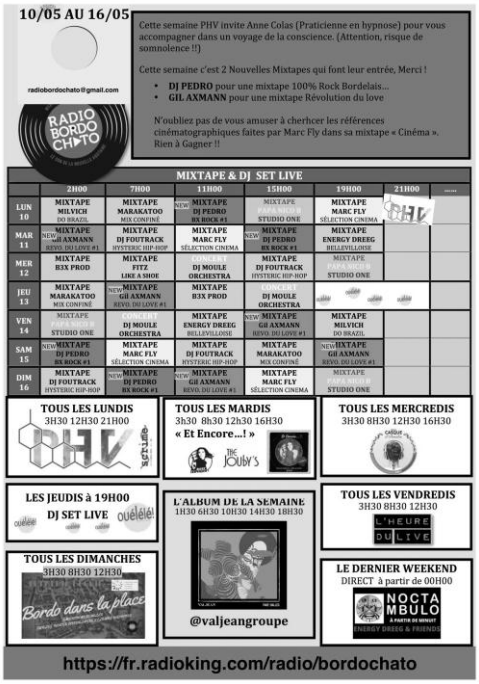

Figure 5. Programme Radio Bordo Chato

3.3.2. Emission PHV

Notre présence dès le départ du projet nous a permis de choisir une plage hebdomadaire d'une heure. Nous y animons une émission pour présenter nos productions musicales (pendant la majeure partie du temps), et pour parler de nos recherches dans le domaine musique/émotion (Figure 6).

La radio est en français et a une vocation locale dans le choix des artistes diffusés, mais elle utilise un prestataire internet qui propose des services mondialisés qui pourront accompagner un développement plus international (applications multilingues pour les smartphones et enceintes connectées, rediffusion à des heures correspondant aux habitudes des différentes parties du monde, suivi en temps réel des personnes connectées en affichant leur adresse IP sur une planisphère…)

Après leur diffusion en direct, les émissions sont encore accessibles sous forme de *podcast* :

https://soundcloud.com/radiobordochato/sets/phv

Figure 6. Emission PHV

A noter que l'intégration de notre projet dans le milieu musical plus « traditionnel » a été favorisée par la forte interaction avec l'émission « Ouélélé » de notre partenaire musical DJ Marakatoo. Celle-ci est consacrée aux « musiques du soleil » (cumbia de Colombie, gnawa du Maroc, musique créole, musique du Cap-Vert, musique mandingue de l'Afrique de l'Ouest, reggae…), et c'est aussi une ressource d'enregistrements particulièrement intéressante du point de vue musicologique, car les disques vinyles et les enregistrements audio ont été en grande partie collectés au cours des voyages personnels du DJ dans ces pays.

3.3.3. Détail de l'émission

Format de l'émission

- Concept :

Emission hebdomadaire d'une heure sur la musique, autour des pérégrinations psychomusicales et des compositions du saxophoniste-arrangeur Pierre-Henri Vulliard. Partage de productions musicales informatiques personnelles avec instruments en live (saxophone, guitare) et/ou mixage live par un DJ, + playlist à thèmes par les invités.

- Public ciblé :

Femmes et hommes, sans doute professionnels et éduqués, âgés entre 20 et 60 ans, curieux de nouveautés scientifiques dans le domaine musical mais amateurs de musique populaire et festive.

- Style :

Une émission au rythme léger et détendu où l'on présente l'information aux auditeurs de manière relax et sans pression, avec la plus grande place à la musique.

- Structure de l'émission :

L'émission est segmentée en quatre séries de pièces musicales, séparées par des interventions de quelques minutes sur des sujets récurrents (Figure 7).

En présence d'invités, les modules correspondant à leur expertise musicale sont remplacés par une playlist préparée avec eux avant l'émission.

:00	Introduction 1 min.			
:01 • BLOC 1	Chill	Identification d'émission	Chill	Chill
:13 • Rubrique 1	Intervention 3 min. Rubrique musicothérapie/new-age	Identification d'émission		
:16 • BLOC 2	Electro/World	Identification d'émission	Electro/World	Electro/World
:28 • Rubrique 2	Intervention 3 min. Rubrique ethnomusicologie /musique du monde	*Haïku sonore du jour (1 min.)*	Identification d'émission	
:32 • BLOC 3	Reggae	Dub	Identification d'émission	Funky-House-Hip-Hop
:44 • Rubrique 3	Intervention 3 min. Rubrique M.A.O./Computer music	Identification d'émission		
:47 • BLOC 4	Nouveauté hebdo Techno ou Electro	Identification d'émission	Psytrance	Psydub/Techno
:59	Conclusion 1 min.	Identification d'émission		

Figure 7. Structure type de l'émission

Sujets traités

- Styles de musique :

Afrobeat, Reggae/Ragga/Dub, Afro vintage, Jazz-Funky, Electro (Chill, Hip-hop, Trance, Techno), musique expérimentale.

- Technologie :

Casque EEG (Casques Emotiv), saxophone augmenté (station de travail audionumérique Ableton, synthétiseurs), procédés sonores thérapeutiques (battement binaural, sons isochrones, mindmachines, musique et hypnose, aura/photographie Kirlian, alternophonie).

- M.A.O :

Théorie (I.A, mastering, math et musique, palindrome, 4D), Djing (Ableton, M4L-Max/MSP, Serato DJ, Interfaces tangibles, Roue de Camelot - harmonie, musique orientale et arabo andalouse -, ambisonie).

- Web 3.0 :

IoT, Node-RED, enceintes connectées.

- Sciences :

Sciences cognitives, Psychologie, musicothérapie.

1.1.1. Radio et Internet des Objets

Pour mettre en évidence le développement du Web 3.0 et celui de l'intégration des nouveaux médias dans cet environnement, nous avons été à l'initiative de la mise en place par la radio à laquelle nous participons, des applications vocales à intégrer aux enceintes connectées "Google" et "Amazon".

Pour rappel, une enceinte connectée (ou haut-parleur intelligent) est un type de haut-parleur sans fil à commande vocale, associé à un assistant personnel intelligent intégré, qui propose des actions interactives et des commandes mains-libres à l'aide d'un ou plusieurs mots-clefs.

L'intégration des différentes actions accessibles par mots-clefs se présente sous la forme d'applications comme celles pour smartphone, appelées « Skill Alexa» pour les enceintes Amazon, et « Action Google » pour le matériel Google Home. Une fois l'application téléchargée et installée depuis le « *store* », on peut lancer la radio en disant simplement à l'enceinte « Alexa, joue Radio Bordo Chato », ou « Ok Google, demande à Radio Bordo Chato de lire la radio » selon le modèle (Figure 8).

Figure 8. Commandes pour enceintes connectées

Dans une des émission, nous essayons de montrer que l'intérêt de cette fonction pour notre projet, bien au-delà de l'aspect gadget, est d'intégrer l'environnement domotique, et ainsi de pouvoir bénéficier du nombre rapidement croissant d'outils de communication et d'intelligence artificielle disponibles dans ce nouvel univers.

1.1.2. Perspectives Radiophoniques

A la rentrée prochaine, nous proposerons à des étudiants de réaliser un prototype de radio interactive recourant à l'utilisation de casques EEG, et à d'autres appareils de mesure de la physiologie fournissant des informations sur les émotions de l'auditeur (par exemple les montres connectées), pour contrôler le flux musical de l'émission de radio.

4. PARTENAIRES

4.1. Pour la recherché

- SCRIME
- Projet transdisciplinaire - étudiants ENSC

4.2. Pour la diffusion

- Partenariat avec « Radio Bordo Chato »

4.3. En spectacle

Pour concert en trio :

- DJ Marakatoo (Philippe Meynié),
- Robi Gobbi, guitariste

5. BIBLIOGRAPHIE

1. Vulliard, P. H., Larralde, J., & Desainte-Catherine, M. (2012). Rétroaction musique-physiologie : une une approche selon le paradigme des émotions. In *Journées d'Informatique Musicale*.

2. MIRANDA, Eduardo Reck et CASTET, Julien (ed.). *Guide to brain-computer music interfacing*. Springer, 2014.

3. Vulliard, P. H. MUSIC FROM AURA: Music generation using eeg and Kirlian photography for temporal 6difference learning. *JIM 2018*, 131.

4. CELERIER, Jean-Michaël, DESAINTE-CATHERINE, Myriam, et COUTURIER, Jean-Michel. Rethinking the audio workstation: tree-based sequencing with i-score and the LibAudioStream. In : *Sound and Music Computing Conference*. 2016.

5. BRIOT, Jean-Pierre, HADJERES, Gaëtan, et PACHET, François. Deep learning techniques for music generation. Springer, 2020.