



**HAL**  
open science

## Création d'une musique neuronale

Timothée Levi, Romain Beaubois, Melissa Hutsebaut, David Molla, Yoshiho Ikeuchi, Guilhem Larrieu

► **To cite this version:**

Timothée Levi, Romain Beaubois, Melissa Hutsebaut, David Molla, Yoshiho Ikeuchi, et al.. Création d'une musique neuronale. CNRIUT 2023 Saint Pierre - La Réunion, Jun 2023, Saint Pierre (La Réunion), France. hal-04364115

**HAL Id: hal-04364115**

**<https://hal.science/hal-04364115v1>**

Submitted on 26 Dec 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

## Création d'une musique neuronale

---

Timothée Levi<sup>1</sup>

[Timothee.levi@u-bordeaux.fr](mailto:Timothee.levi@u-bordeaux.fr)

Romain Beaubois<sup>1</sup>

[romain.beaubois@u-bordeaux.fr](mailto:romain.beaubois@u-bordeaux.fr)

Melissa Hutsebaut<sup>1</sup>

[melissa.hutsebaut@etu.u-bordeaux.fr](mailto:melissa.hutsebaut@etu.u-bordeaux.fr)

David Molla<sup>1</sup>

[david.molla@etu.u-bordeaux.fr](mailto:david.molla@etu.u-bordeaux.fr)

Yoshiho Ikeuchi<sup>2</sup>

[yikeuchi@iis.u-tokyo.ac.jp](mailto:yikeuchi@iis.u-tokyo.ac.jp)

Guilhem Larrieu<sup>3</sup>

[glarrieu@laas.fr](mailto:glarrieu@laas.fr)

<sup>1</sup> IUT, Université Bordeaux  
Laboratoire IMS, UMR 5218

<sup>2</sup> IIS, Université de Tokyo

<sup>3</sup> CNRS, Université de Toulouse  
LAAS, UPR 8001

**Thèmes** – *Biologie - Santé - Électronique*

**Résumé** – *L'objectif est de créer une mélodie à partir de l'activité électrique de culture neuronale in vitro. Cette création musicale a un double objectif de performance artistique et usage de diagnostic. Les variations de la musique permettent aux chercheurs d'identifier les différences entre les activités des cultures neuronales et les activités des cultures affectées par des troubles neurologiques. À partir d'enregistrements d'activités neuronales réalisée à l'Université de Tokyo, les étudiants de l'IUT de Bordeaux ont classé et trié les différentes activités en groupes d'amplitudes associées aux notes de la gamme pentatonique mineure.*

**Mots-Clés** – *Activité neuronale, enregistrement, musique, art et science.*

## 1 Introduction

Ce travail est un projet collaboratif entre l'Université de Tokyo et l'IUT de Bordeaux. Des étudiants de l'IUT Bordeaux ont travaillé en collaboration avec des chercheurs de l'Université de Tokyo (Japon). Ce projet s'est déroulé sur six mois à partir d'octobre. Les étudiants ont eu la possibilité de poursuivre leur travail dans le cadre d'un stage de trois mois à l'Université de Tokyo à partir de début avril. L'encadrement était assuré par deux professeurs de l'IUT de Bordeaux conseillant les étudiants et jouant le rôle d'intermédiaire entre les deux pays. Le but de ce projet est la création d'une mélodie à partir de l'activité électrique d'une culture neuronale in vitro. Cette création musicale avait un double objectif de performance artistique et de diagnostics. Les variations de la musique pourraient aider les chercheurs à identifier les différences entre l'activité saine des cultures neuronales et l'activité des cultures affectées par des troubles neurologiques.

Les maladies et lésions du système nerveux affectent plus d'un milliard de personnes dans le monde. Ils constituent environ 6,3 % de la charge mondiale de morbidité, avec une tendance évidente à s'aggraver dans les prochaines années en raison du vieillissement de la population et, par conséquent, avec un impact énorme sur la société et l'économie. Pour vaincre les troubles neurologiques, des technologies innovantes sont développées. Parmi elles, la création de systèmes « biohybrides » basés sur l'interaction fonctionnelle entre des systèmes biologiques (par exemple neuronaux) et des dispositifs artificiels [1]. Le concept de technologie biohybride a été récemment exploité pour le développement des interfaces neurales, où le système nerveux humain des patients handicapés est capable de communiquer avec des dispositifs électroniques et/ou robotiques afin de restaurer les fonctions sensorielles, motrices et cognitives [2]. Ces systèmes biohybrides sont ici utilisés pour cette création de musique neuronale.

L'ensemble du système interfaçant les neurones biologiques avec les dispositifs électroniques ainsi que la méthodologie suivie pour créer la mélodie à partir des données acquises est présenté dans la section 2. Un processus basé sur l'amplitude pour la génération de mélodie est présenté comme exemple dans la section 3. La conclusion ainsi que les perspectives d'avenir sont soulignées dans la section 4.

## 2 Méthodologie

### 2.1 Description de l'ensemble du système

Les systèmes biohybrides sont caractérisés par des cultures in vitro de neurones généralement couplés à des réseaux de micro-électrodes et constituent un modèle expérimental simple mais puissant qui peut être

facilement contrôlé et enregistré. Ces systèmes sont décomposés en plusieurs blocs présentés sur la Figure 1. A partir d'un réseau de neurones biologiques (BNN) cultivé sur des électrodes, l'activité électrique est filtrée, amplifiée et convertie en données numériques lors de l'acquisition frontale. Ensuite, la détection de l'activité neuronale est calculée grâce à des algorithmes de traitement du signal. Dans certains systèmes biohybrides complexes, un dispositif en boucle fermée est utilisé. Pour fermer la boucle des enregistrements de données, un réseau de neurones artificiels (RNA) génère des stimulations adaptatives envoyées à la partie biologique [3].

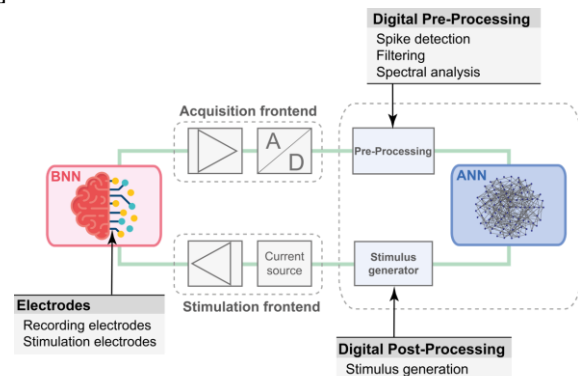


Figure 1 – Description d'un système biohybride

### 2.2 Culture et enregistrements de réseaux de neurones

La partie BNN est composée de cultures neuronales 3D appelées sphéroïdes. Ils sont créés à partir de cellules iPS humaines avec un récipient de culture peu adhésif qui se différencie en neurones cérébraux sur 25 jours [4]. Des Nano Electrode Array (NEA) sont utilisés pour enregistrer l'activité électrique. Ces nano-sondes à base de nanofils fournissent un rapport signal sur bruit élevé au niveau d'un seul neurone. Le réseau est composé de 64 nano-électrodes (Figure 2).

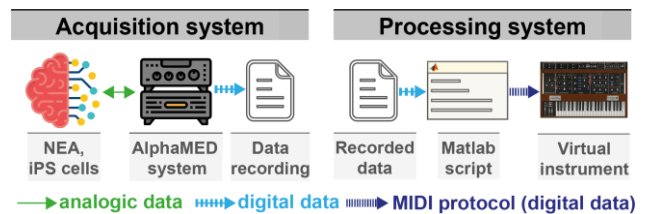


Figure 2 – Méthodologie de création de musique neuronale

Le frontal d'acquisition est assuré par un système AlphaMED effectuant le filtrage et la numérisation de l'activité électrique des électrodes. Des étudiants de l'Université de Bordeaux ont utilisé les données obtenues à partir de ce système. Les données de ce système sont stockées sous forme de fichiers binaires codant la valeur de toutes les électrodes à chaque étape d'échantillonnage.

### 2.3 Prétraitement

Les enregistrements au format de fichier binaire sont à lire sur Matlab pour ensuite extraire l'activité des pics à l'aide d'un script Matlab fourni par des chercheurs de l'Université de Tokyo. La mélodie est ensuite générée à partir de l'activité neuronale prétraitée.

## 3 Création des mélodies

### 3.1 Stratégies pour la création de mélodies

Les étudiants ont réfléchi à différentes stratégies pour créer la mélodie à partir de l'activité neuronale. Pour les stratégies générant la note (hauteur), deux catégories principales ont émergé : basée sur la fréquence ou basée sur l'amplitude. La première, plutôt logique puisque les neurones sont connus pour coder les informations en fréquence, reposait sur la fréquence d'activité pour chaque électrode. La deuxième, associait l'amplitude de l'activité à une note. La méthodologie par l'amplitude a été choisie afin de dissocier les activités par électrode et de faciliter l'implémentation en temps réel. Suivant les mêmes critères et comme point de départ, le rythme a été fixé comme constant.

La mélodie est alors créée à partir de l'amplitude de chaque potentiel d'action observée sur l'ensemble des 64 électrodes. Les amplitudes sont regroupées en 5 plages de valeurs associées aux notes de la gamme pentatonique mineure pour assurer un rendu non dissonant. Chaque pointe déclenche une note d'une durée de 250 millisecondes qui correspondrait à des noires à un tempo de 240 BPM.

Les notes traitées ont été envoyées à un instrument virtuel (synthétiseur) via un protocole MIDI encodé avec Matlab créant ainsi la musique.

### 3.2 Définition de l'amplitude de la gamme

La stratégie consistait à classer les activités de chaque électrode dans différents groupes d'amplitudes. Chaque groupe correspond à une note spécifique de la gamme pentatonique mineure.

Pour chaque électrode, et sur une durée de 45 secondes, une classification de l'activité est effectuée en fonction de son amplitude. En valeur absolue, les plages d'amplitudes de pointe (mV) suivantes ont été créées [0,0 ; 0,3] ; [0,3 ; 0,8] ; [0,8 ; 2,0] ; [2,0 ; 3,0] ; [3,0 ; 5,0]. Les notes sont ensuite encodées via le protocole MIDI.

### 3.3 Algorithme de génération de mélodie

Le protocole MIDI encodé par Matlab permet de générer un message pour communiquer avec un instrument virtuel (ici, un synthétiseur) avec les paramètres suivants :

- Activation ou désactivation de la note,
- Canal MIDI, canal sur lequel la note est jouée,

- Numéro de note, caractérisant la hauteur
- La vélocité, caractérisant l'intensité,
- Horodatage, caractérisant le rythme (démarrage et arrêt).

L'algorithme exécuté avec le script Matlab qui traite les données de la détection de l'activité neuronale au codage du protocole MIDI est illustré à la Figure 3.

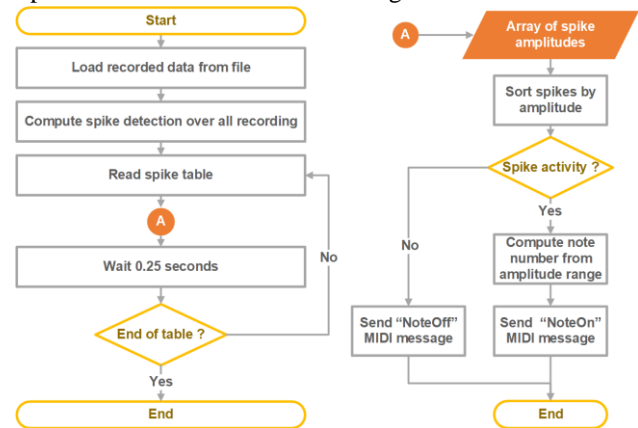


Figure 3 – Algorithme de traitement de l'activité neuronale

### 3.4 Exemple de mélodie

Une mélodie neuronale créée grâce à cette méthodologie a été téléchargée sur YouTube au lien suivant: [https://www.youtube.com/watch?v=Z6dvLjr\\_C6I](https://www.youtube.com/watch?v=Z6dvLjr_C6I)

## 4 Conclusions

Nous avons obtenu un enregistrement des activités neuronales et traité les données à l'aide du logiciel Matlab. Après avoir traité les activités, nous avons développé une stratégie pour créer une mélodie agréable jouée sur un synthétiseur utilisant le protocole MIDI.

La perspective d'avenir est de créer la mélodie en temps réel pour une application à usage de diagnostic. Le programme Matlab sera implémenté dans un système numérique comme un FPGA pour permettre la génération en temps réel de la musique. Un autre axe de développement consiste à ajouter la localisation spatiale des neurones en tant qu'entrées pour créer une mélodie répartie sur plusieurs octaves.

## Références

- [1] Panuccio, G. et al., (2018). Progress in Neuroengineering for brain repair: New challenges and open issues. *Brain and neuroscience advances*, 2, 2398212818776475.
- [2] George, R. et al., (2020). Plasticity and adaptation in neuromorphic biohybrid systems. *IScience*, 23(10), 101589
- [3] Buccelli, S. et al., (2019). A neuromorphic prosthesis to restore communication in neuronal networks. *IScience*, 19, 402-414
- [4] Kirihaara, T. et al., (2019). A human induced pluripotent stem cell-derived tissue model of a cerebral tract connecting two cortical regions. *IScience*, 14, 301-311