



**HAL**  
open science

## **Simulation d'un réseau de neurones artificiels pour la détection de motifs biologiques en temps réel**

Landry Bailly, Agnès Tixier-Méta, Timothée Levi

► **To cite this version:**

Landry Bailly, Agnès Tixier-Méta, Timothée Levi. Simulation d'un réseau de neurones artificiels pour la détection de motifs biologiques en temps réel. CNRIUT 2025 Bayonne - Pays Basque, IUT de Bayonne Pays Basque, Mar 2025, Bayonne, France. <hal-05093384>

**HAL Id: hal-05093384**

**<https://hal.science/hal-05093384v1>**

Submitted on 2 Jun 2025

**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.



HAL Authorization

# Simulation d'un réseau de neurones artificiels pour la détection de motifs biologiques en temps réel

---

Landry Bailly<sup>1,2,\*</sup> Agnès Tixier-Méta<sup>2</sup> Timothée Lévi<sup>1</sup>

landry.bailly@hotmail.fr agnes@iis.u-tokyo.ac.jp timothee.levi@u-bordeaux.fr

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

<sup>2</sup> IIS, Université de Tokyo

*Le/les auteur(s) avec la marque \* sont auteur(s) correspondant(s).*

**THÈMES** – *Biologie - Santé - Informatique - Robotique - Électronique*

**RÉSUMÉ** – *Les neurosciences ne cessent de faire des progrès grâce au développement de capteurs toujours plus performants et à l'avènement de l'intelligence artificielle. De plus en plus de chercheurs se tournent vers la conception d'un système bio-hybride en boucle fermée pour un apprentissage en temps réel entre des neurones biologiques et des neurones artificiels. Les intérêts d'un tel système sont multiples : en médecine pour la création de neuroprothèses, ou encore en intelligence artificielle pour réduire la consommation énergétique des apprentissages par l'utilisation directe de neurones biologiques. Une étape importante vers la conception d'un système bio-hybride est l'interprétation des signaux biologiques. L'étude se concentre sur un algorithme non supervisé de détection de motifs à partir des événements des neurones biologiques détectés à l'aide d'une matrice d'électrodes. Ce réseau peut détecter les motifs cachés dans les événements grâce à la propriété de plasticité des synapses biomimétiques.*

**MOTS-CLÉS** – *Réseaux de neurones biomimétiques, intelligence artificielle, systèmes bio-hybrides, interfaces cerveau-machine*

**SECTION(S) CNU POUR CET ARTICLE** – *Génie électrique, électronique, photonique et systèmes (63)*

**ARTICLE PRÉSENTÉ À L'ORAL PAR UN(E) DOCTORANT(E)** – *OUI*

# 1 Introduction

Depuis quelques décennies, de nombreux chercheurs travaillent dans le domaine de l'ingénierie neuromorphique afin de développer des technologies innovantes pour les neurosciences et l'intelligence artificielle. Ceci est l'axe principale de recherche de l'équipe bioélectronique du Laboratoire d'intégration du matériau au système (IMS) de Bordeaux et de l'Institut des sciences industrielles (IIS) de l'Université de Tokyo (UTokyo). L'IMS à Bordeaux a établi un partenariat solide avec l'IIS, Tokyo et le Laboratoire IRL CNRS pour l'intégration des systèmes Micro-Mécatroniques (LIMMS). Plus précisément, une équipe projet internationale nommé BioMEG (Bordeaux IIS bio-Morphic Engineering Group) entre l'Université de Bordeaux, le LIMMS et l'IIS a été créée. Dans le cadre de ce partenariat, nous travaillons ainsi sur le développement d'un système de boucle fermée entre la biologie et l'électronique. Cela pourrait être utile dans deux domaines principaux : la médecine notamment avec l'électroceutique (équivalent de la pharmacologie mais qui délivre des microstimulations électriques plutôt que des composants chimiques) et l'intelligence artificielle. En effet, des approches bioélectroniques sont souvent utilisées pour la conception de stimulateurs cardiaques ou d'implants neuronaux. L'objectif est de combler une déficience neuronale via un circuit électronique, puis de stimuler les muscles et neurones concernés [1]. Dans le cadre de l'intelligence artificielle, une approche neuromorphique aurait pour but de répondre au besoin croissant de puissance de calcul tout en réduisant le coût en énergie. En effet, nous pourrions tirer parti de l'intelligence biologique, de sa plasticité et de sa formidable efficacité énergétique (environ 20 W pour un cerveau comptant des milliards de neurones), en utilisant des neurones biologiques pour résoudre des problèmes de classification, de régression, etc. La boucle fermée permettrait alors d'avoir un retour pour l'apprentissage des neurones.

## 2 Interpréter des signaux biologiques

### 2.1 Présentation

Une boucle fermée (fig. 1) dans un système bio-hybride contient au minimum un algorithme de détection de motifs afin de pouvoir interpréter les signaux biologiques mesurés. La stimulation dépendra ensuite de nos besoins. La mesure des signaux biologiques se fait à l'aide de matrices d'électrodes. Celles-ci détectent l'activité des neurones en retournant un signal électronique. Les matrices d'électrodes que nous utilisons retournent 64 signaux en parallèle (il en existe avec 1024 électrodes). Afin de pouvoir utiliser des algorithmes de détection de motifs, nous devons conserver uniquement les événements, représentés par un changement de l'amplitude qui indique l'activité d'un neurone (fig. 2).

Les signaux sont d'abord amplifiés, filtrés et numérisés.

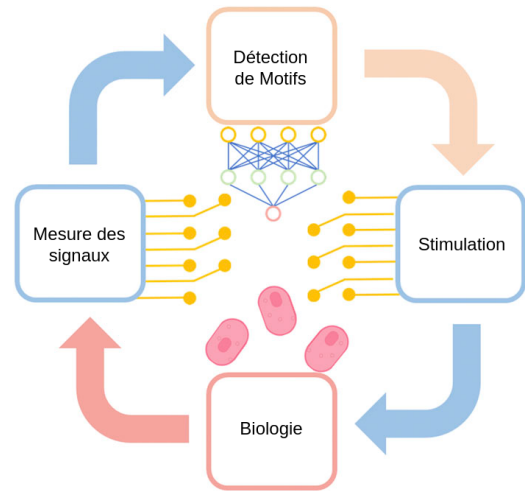


FIGURE 1 – Un système bio-hybride en boucle fermée pour une application de soins de santé [1]

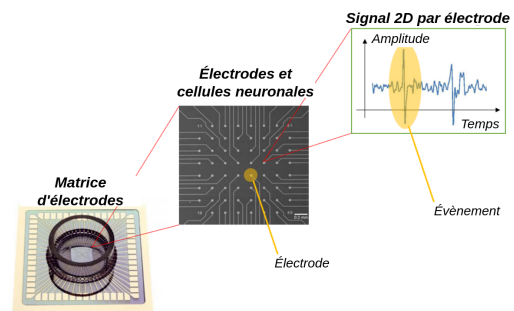


FIGURE 2 – Les matrices d'électrodes permettent l'observation du potentiel extracellulaire de populations de neurones, reflet de leur activité. Chaque électrode enregistre un signal sur lequel les événements d'un ou plusieurs neurones adjacents peuvent apparaître.

Nous allons ensuite appliquer au minimum un algorithme de détection d'événements qui retourne des données binaires (1 = événement, 0 = rien). Cela permet d'enlever la majorité du bruit. Il est possible d'avoir en plus un algorithme de tri, car une électrode peut détecter plusieurs neurones positionnés à des endroits différents par rapport à l'électrode. Cet algorithme peut théoriquement différencier les neurones par la forme du signal sur l'électrode au moment de l'événement [2]. Nous aurions donc plus de signaux binaires en entrée de la détection de motifs (fig. 3).

### 2.2 Détection de Motif

Afin de détecter les motifs, nous avons utilisé le réseau de neurones développé par l'équipe de Timothée Masquelier [3]. Aussi appelé SNN pour "Spiking Neural Network",

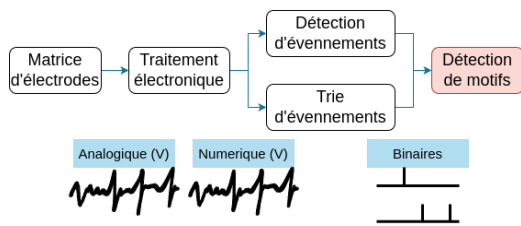


FIGURE 3 – Schéma bloc décrivant le système partant des signaux biologiques à la détection de motifs

ce réseau est composé d'une seule couche de neurones artificiels entièrement connectés aux signaux d'entrée (soit les 64 signaux numérisés puis binarisés). Nous utilisons le modèle mathématique Leak Integrate and Fire (LIF) pour le comportement de ces neurones artificiels. Ce modèle consiste à retourner un événement lorsque le potentiel du neurone dépasse un certain seuil. Ce potentiel évolue en fonction des différentes stimulations qu'il reçoit :

- Stimulation d'entrée : Tous les neurones artificiels sont connectés aux signaux biologiques binarisés (fig. 4) avec un modèle de synapse STDP [4].
- Stimulation latérale : ces stimulations réduisent le potentiel de tous les autres neurones lorsqu'un d'eux émet un événement afin d'éviter que deux neurones apprennent le même motif en même temps.
- Autostimulation : cette autostimulation a pour objectif de donner une forme biomimétique au potentiel du neurone lors d'un événement.

Les potentiels des neurones évoluent à chaque événement en entrée. Durant les premières secondes de simulation (environ 5 s), les neurones émettent des événements en sortie de manière aléatoire. Puis, la propriété de plasticité des synapses STDP [4] va permettre aux neurones d'apprendre les motifs qui se répètent en ajustant le poids des connexions.

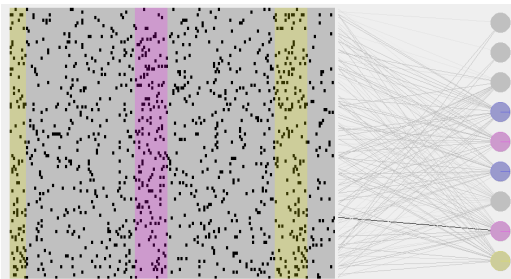


FIGURE 4 – Expérience avec 100 entrées, 3 motifs, 9 neurones artificiels. Les couleurs bleus roses et jaunes représentent l'apprentissage des motifs par les neurones.

### 3 Simulations

Afin de pouvoir réaliser des expériences, nous avons développé un générateur de signaux binaires biomimétiques en utilisant les formules de [3]. Ce dernier crée des motifs noyés dans du bruit. La méthode pour quantifier le succès d'une expérience est la suivante :

- Lancer des simulations sur 40 s avec un échantillonnage (dt) à la milliseconde et des motifs de 50 ms.
- Calculer la relation entre les événements des neurones et la table de vérité des motifs.
- Calculer les scores de précision par neurone LIF et les scores de rappel par motif (fig. 5).

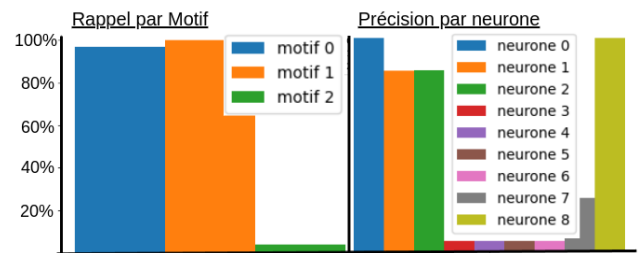


FIGURE 5 – Résultats avec 3 motifs, 9 neurones. 2 motifs sur 3 ont été appris par 4 neurones

### 4 Conclusions

L'algorithme neuromorphique offre de bons résultats pour détecter les motifs. Il est rapide, ne possède qu'une seule couche de neurones et apprend à chaque échantillonnage sans connaître la table de vérité, contrairement à un algorithme de classification classique d'apprentissage supervisé. Grâce à ces propriétés, nous pourrions l'implémenter sur un système hardware numérique et ainsi créer un circuit d'apprentissage en temps réel connecté aux électrodes.

### Références

- [1] Selberg, J., Jafari, M., Bradley, C., Gomez, M., & Rolandi, M. (2020). *Expanding biological control to bioelectronics with machine learning*. APL Materials, 8(12).
- [2] Cheslet, J., Bernert, M., Beaubois, R., Yvert, B., & Lévi, T. (2024, June). *Real-Time spike sorting using an optimized STDP Spiking Neural Network on FPGA*. In 2024 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) (pp. 1-7). IEEE.
- [3] Masquelier, T., Guyonneau, R., & Thorpe, S. J. (2009). *Competitive STDP-based spike pattern learning*. Neural computation, 21(5), 1259-1276.
- [4] Sjöström, J., & Gerstner, W. (2010). *Spike-timing dependent plasticity*. Scholarpedia, 5(2), 1362.