

**Titre en français : Cochlée silicium biomimétique pour la détection acoustique par intelligence artificielle embarquée mixte analogique-digitale et ultra-low power.**

**Titre en anglais : Biomimetic cochlea for acoustic detection using mixed analog–digital and ultra low power artificial intelligence**

**Nom du directeur de thèse : Valentin GIES (30%)**

**Co-directeur : Wenceslas RAJAHANDRAIBE (30%)**

**Codirecteur : Matthieu GUERIN (40%)**

**Tel : 06 28 35 76 85**

**E-Mail : valentin.gies@im2np.fr**

**Laboratoire : IM2NP**

**Financement : demandé**

**Type de financement : Financement public**

**Résumé en français :**

Cette thèse de doctorat vise à implémenter dans le silicium une interface ou « front-end » analogique à très faible consommation pour la détection d'événements audio et la reconnaissance de formes acoustiques. L'architecture proposée s'inspire du système auditif humain (voir Figure 1). Sa cochlée artificielle est dotée d'un front-end analogique reconfigurable qui met en œuvre une analyse de fréquence à l'aide d'un banc de filtres passe-bande, similaire à la tonotopie de la cochlée utilisant un banc de filtres stéréocils. De plus, la cochlée artificielle comprend des mécanismes de réglage de la sensibilité, similaires à ceux mis en œuvre dans la cochlée humaine utilisant des cellules ciliées externes et internes. Cette cochlée sera suivie d'un réseau de neurones dont l'implémentation sur silicium n'entre pas dans le cadre de la thèse, mais a déjà été étudiée par l'équipe CCSI. Il sera interfacé avec la cochlée artificielle.

Cette architecture sera utilisée pour la détection et la caractérisation d'événements audio dans différentes applications allant des signaux sonores basse fréquence aux signaux ultrasoniques haute fréquence. La combinaison de la cochlée artificielle et du réseau neuronal permet d'affiner les paramètres analogiques de la cochlée et les paramètres neuronaux pendant l'apprentissage, comme les humains l'ont fait au cours de leur évolution à long terme, mais permet également d'ajuster les paramètres de la cochlée artificielle (c'est-à-dire le réglage de la sensibilité des fréquences de coupure des filtres) de manière dynamique en temps réel, comme c'est le cas dans les mécanismes de rétroaction de la cochlée humaine.

**Résumé en anglais :**

This PhD thesis aims to implement in silicon an ultra-low power analog front end for audio event detection and acoustic pattern recognition. The proposed architecture is inspired by the human auditory system (see Figure 1). Its artificial cochlea features an analog reconfigurable front-end that implements frequency analysis using a bandpass filter bench, similar to the cochlea tonotopy using stereocilia filter bench. Additionally, artificial cochlea includes sensitivity tuning mechanisms, similar to the ones implemented in human cochlea using outer and inner hair cells. This cochlea will be

followed by a neural network whose silicon implementation is not in the scope of the PhD, but has been already studied by CCSI team. It will be interfaced with the artificial cochlea. This architecture will be used for audio event detection and characterization in different applications ranging from low frequency audible signals to high frequency ultrasonic ones. Combining both artificial cochlea and neural network allows to fine-tune analog parameters of the cochlea and neural parameters altogether during learning as human have done during their long-term evolution, but also allows to adjust parameters of the artificial cochlea (i.e. sensitivity tuning filters cut-off frequencies) dynamically in real time as it is done in the human cochlea feedback mechanisms.

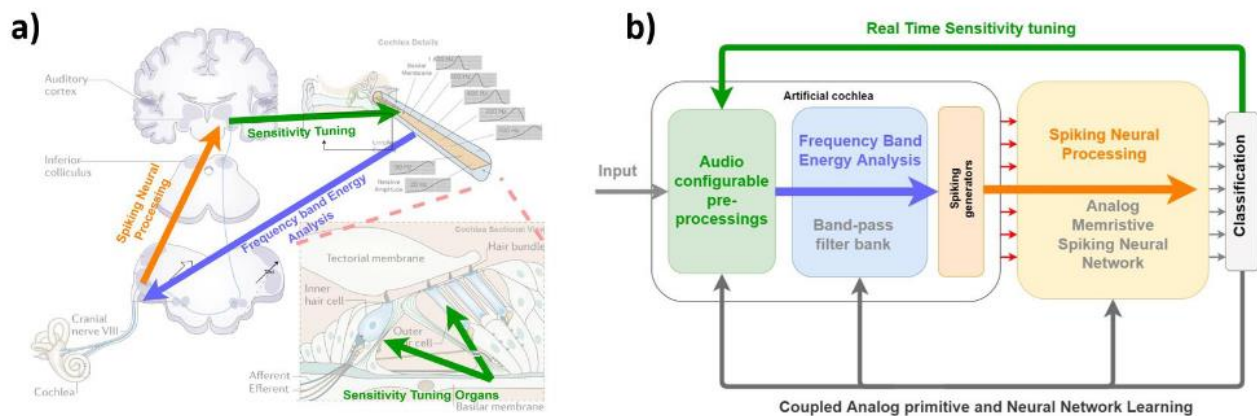


Figure 1: a) biological acoustic cochlear and neural mechanisms b) proposed cochlear and neural analog spiking memristive implementation

### Profil du candidat recherché :

Le candidat devra avoir un profil couplant conception de circuit électronique sur silicium et programmation orientée intelligence artificielle. Le profil pourra être à dominante électronique (connaissance de l'outil CAO Cadence ou de simulateur tel que H-Spice, Eldo, Spectre...), ou à dominante programmation (C et C#), mais des connaissances approfondies dans chacun des deux disciplines sont particulièrement souhaitables.

### Publications sur le sujet :

Comparing Analog and Digital Processing for Ultra Low-Power Embedded Artificial Intelligence  
 November 2022 - IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (IoT&IS)  
 DOI: 10.1109/IoT&IS56727.2022.9975931

A 30  $\mu$ W Embedded Real-Time Cetacean Smart Detector - March 2021 - Electronics 10(819)  
 DOI: 10.3390/electronics10070819

### Insertion professionnelle après thèse :

Recherche académique, dans une entreprise privée, ou création de start-up.