

Titre de la thèse	Mise en œuvre d'un analyseur acoustique basses et moyennes fréquences intégré sur silicium en vue de son interfaçage avec une Intelligence artificielle (IA) embarquée, application à la détection de signaux marins et terrestres.
-------------------	---

Ecole Doctorale	ED548
Laboratoire(s)	IM2NP- UMR-CNRS 7334
Discipline	Electronique, microélectronique, optique lasers, optoélectronique, microondes
Directeur(s) de thèse Encadrant(s)	Directeurs de thèse : Hervé Barthélemy (IM2NP) Co-Directeur de thèse : Valentin GIES (IM2NP) Co-encadrants : Mathieu GUERIN (MCF-AMU), Sébastien Marzetti (IM2NP, Docteur)

## Description du sujet de recherche (3 pages max)

### 1- Contexte scientifique

L'équipe de recherche *conception de circuits et systèmes intégrés (CCSI)* du Laboratoire IM2NP (UMR CNRS 73 37) est spécialisée dans l'intégration de système embarqués et de systèmes intégrés ultra-faible consommation (<https://www.im2np.fr/en/node/239>). Le sujet présenté concerne l'intégration de systèmes sous silicium CMOS. Il a pour base applicative la détection et l'analyse des sons issus des cétacés et/ou la détection de présence dû à des effets vibro-acoustique émis à basses (10-100Hz) ou moyennes fréquences (500Hz-10kHz). Cette thèse de doctorat vise à implémenter sur le silicium une interface ou « front-end » analogique à très faible consommation pour la détection d'événements audio et la reconnaissance de formes acoustiques. Il s'agit d'effectuer un spectre analogique de façon continue pour déterminer les fréquences et les énergies du signal dans la bande considérée [1]. La Fig.1 représente le synopsis du système proposé pour un nœud de capteur [2,3].

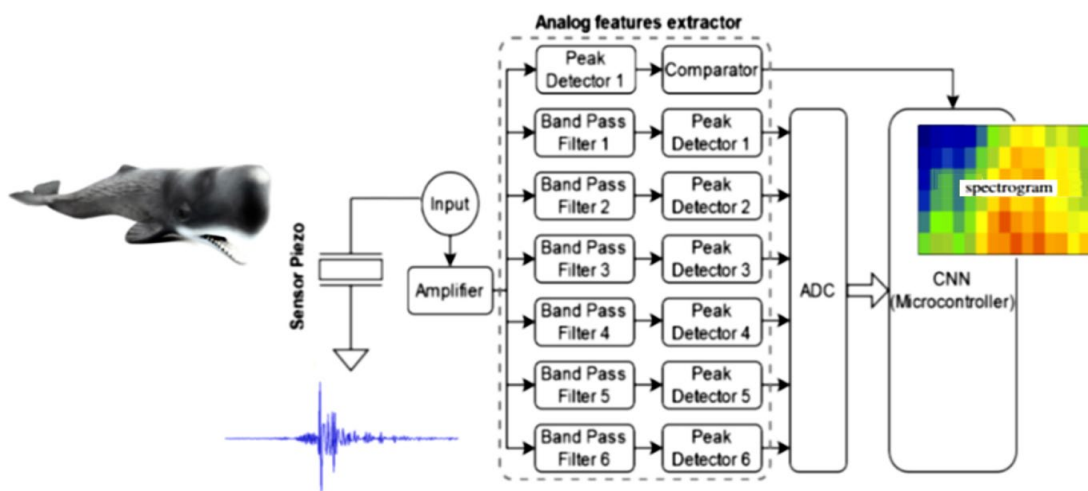


Fig.1. Contexte de l'étude : synopsis du système de détection pour un nœud de capteur [1,2].

La bande de fréquence d'analyse cible se situe entre 10Hz et 10KHz. Le tableau 1 donne quelques exemples des bandes de fréquences cibles pour le système proposé dans le cadre de cette thèse.

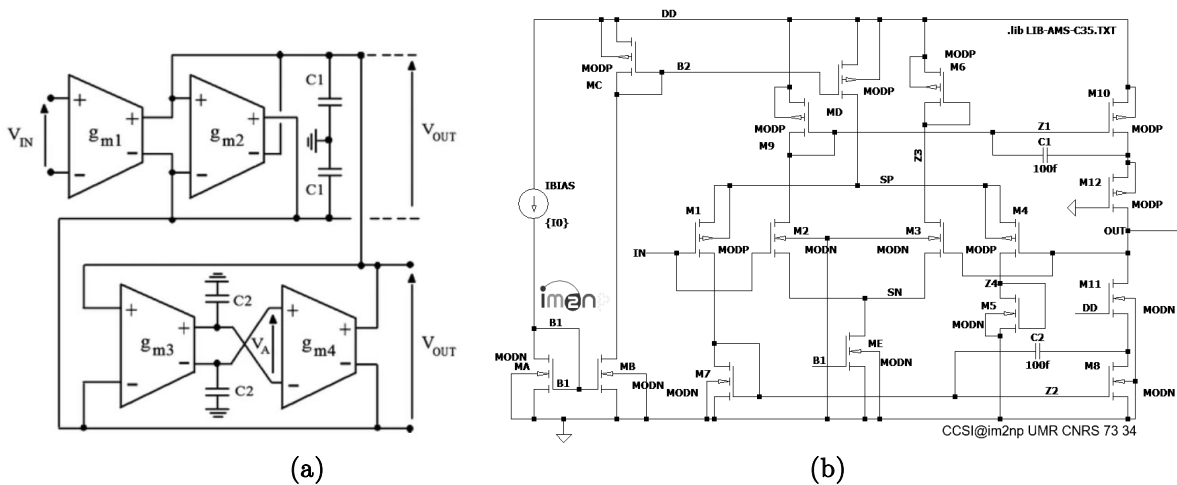
Tab.1. Exemple de caractéristiques d'émissions sonores.

Types	Domaine de fréquences	
	Low (Hz)	High (kHz)
Rorqual commun (mugissement)	30	0.75
Mégaptère (chant)	30	8
Grand dauphin (clics)	110	130
Vibro-acoustique des coques	10-30	10k
Humain	31	19

Les travaux devront démontrer les capacités et les avantages du traitement analogique ultra-low-power (*filtrage et détection*) en regard des analyses actuelles principalement effectuées par traitement numériques et nécessitant des convertisseurs et des temps de calculs très énergivores.

## 2-Description

Une des principales difficultés dans l'intégration du système (Fig.1) concernera la bande 10Hz-300Hz. Effectivement la mise en œuvre de filtres analogiques à ces fréquences basses est très délicate [4-8]. Dans cette bande de fréquence il est nécessaire de concevoir des amplificateurs opérationnels de transconductance ou des résistances contrôlées de très fortes valeurs (plusieurs Giga Ohms) [4-8]. Une autre contrainte concerne la calibration des fréquences analysées sur la base d'une analyse discrète sur un ensemble de fréquences cibles. La Fig.1 résume l'analyse proposée (*hors calibration*). Les contraintes en terme de développement ou de verrou technologique se situe dans la bande 10Hz-100Hz.



**Fig.2.** Filtre passe bande (PB) pour l'analyse spectrale : (a) ex. de conf. sur silicium du filtre PB (type Gyrator Gm-C) [9] (b) Amplificateur de transconductance CMOS rail-to-rail faible consommation éligible (*ou bon candidat*) pour la réalisation de circuit à faible transconductance (single ended) [10].

Ainsi, les verrous technologiques concernent principalement la calibration des filtres (mise en œuvre de circuits reconfigurables) et mise en œuvre de circuits très faible consommation (quelques  $\mu$ Watts) ; les travaux comprendront :

- La recherche, l'étude et la mise en œuvres de topologies CMOS ultra-low power et éligibles.
- La réalisation et la caractérisation de source de courant nanométrique de type PTAT (*proportionnel to absolute temperature*).
- L'analyse et la réduction des effets dus aux variations du procédé technologique.
- La mise en œuvre de méthode de réduction du bruit en  $1/f$ .

- La mise en œuvre et le séquençement de la calibration (intégration et séquençement ( $\mu$ controller) de convertisseurs Numérique-Analogique mode courant).

### 3- Retombés attendues

- Collaboration internationale ex. mission UTLN en Explorations Bioacoustiques & Anthropophonie Marines.
- Collaboration avec Naval-Group et Ifremer.

### 4- Moyens à disposition

- Outil d'aide à la conception de circuits intégrés CADENCE.
- Prototypage AMS CMOS 0.35 $\mu$ m.
- Plateforme de mesure sous pointes et analyseurs associés.
- Laboratoire de mesure basses-fréquences de l'Institut.

### 5- Collaborations

- Université Aix-Marseille, IM2NP Marseille.
- Laboratoire LIS, Toulon (UTLN).
- Projet ANR/Fraunhofer de l'équipe.

### References.

1. S. Marzetti, V. Gies, V. Barchasz, H. Barthélemy and H. Glotin, "Comparing Analog and Digital Processing for Ultra Low-Power Embedded Artificial Intelligence," 2022 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (IoTaIS), BALI, Indonesia, 2022, pp. 112-116, doi: 10.1109/IoTaIS56727.2022.9975931.
2. S. Marzetti, V. Gies, V. Barchasz, H. Barthélemy, H. Glotin : 'Analog Features Extractor for Ultra-Low Power Embedded AI Listening and Keyword Spotting', IEEE aicas2024.
3. Marzetti S, Gies V, Best P, Barchasz V, Paris S, Barthélemy H, Glotin H. A 30  $\mu$ W Embedded Real-Time Cetacean Smart Detector. *Electronics*. 2021; 10(7):819. <https://doi.org/10.3390/electronics10070819>
4. N. Neshatvar : "Designing low frequency i.c filter using pseudo resistor for biopotential measurements", Thesis in electrical engineering, master of science in electrical engineering, faculty of the American University of Sharjah, United Arab Emirates, Dec 2023.
5. A. Bonfanti *et al.*, "A low-power integrated circuit for analog spike detection and sorting in neural prosthesis systems," 2008 *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference*, Baltimore, MD, USA, 2008, pp. 257-260, doi: 10.1109/BIOCAS.2008.4696923.
6. S. Wang, T. J. Koickal, A. Hamilton, R. Cheung and L. S. Smith, "A Bio-Realistic Analog CMOS Cochlea Filter With High Tunability and Ultra-Steep Roll-Off," in *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 297-311, June 2015, doi: 10.1109/TBCAS.2014.2328321.
7. Qian, X., Xu, Y.P. & Li, X. A CMOS Continuous-Time Low-Pass Notch Filter for EEG Systems. *Analog Integr Circ Sig Process* 44, 231–238 (2005). <https://doi.org/10.1007/s10470-005-3007-x>
8. A. Bonfanti *et al.*, "A low-power integrated circuit for analog spike detection and sorting in neural prosthesis systems," 2008 *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference*, Baltimore, MD, USA, 2008, pp. 257-260, doi: 10.1109/BIOCAS.2008.4696923.
9. Barthélemy, H., Meillère, S., Gaubert, J. et al. OTA based on CMOS inverters and application in the design of tunable bandpass filter. *Analog Integr Circ Sig Process* 57, 169–178 (2008). <https://doi.org/10.1007/s10470-008-9167-8>
10. H. Barthélemy, S. Meillère, S. Bourdel : 'Single ended rail-to-rail CMOS OTA based variable-frequency ring-oscillator', Proceedings of the 2004 International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS '04), vol. 4, pp. 537-540, May 2004.