

## 1 Titre du TIPE

Détection et multilatération de séismes en temps réel.

## 2 Ancrage au thème de l'année

(50 mots maximum)

Ce TIPE s'inscrit dans le thème « boucles et cycles » à travers l'analyse de signaux par décomposition en signaux **périodiques** afin d'en optimiser le calcul, et des algorithmes itératifs de multilatération basés sur des **boucles** de convergence numérique.

## 3 Motivation du choix du sujet

(50 mots maximum)

Les technologies sur lesquelles reposent les systèmes ayant pour but la protection de la population en cas d'urgence ainsi que le traitement de signaux sont des sujets qui m'intéressent.

## 4 Positionnements thématiques et mots-clés

### 4.1 Positionnements thématiques

MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique)

### 4.2 Mots-clés (français)

- Traitement du signal digital (DSP)
- Ondes sismiques (ondes P et S)
- Corrélation croisée
- Transformée de Fourier rapide (FFT)
- Multilatération sismique

### 4.3 Keywords (English)

- Digital signal processing (DSP)
- Seismic waves (P and S waves)
- Cross-correlation
- Fast Fourier Transform (FFT)
- Seismic multilateration

## 5 Bibliographie commentée

(650 mots maximum)

Les ondes sismiques proviennent de différentes formes d'activité géologique de la croûte terrestre [1] relativement imprévisibles. Mais elles peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur la vie et l'activité humaine (effets des ondes sismiques, effets de tsunamis...). Ainsi, est-il crucial d'avoir des systèmes d'alerte sismiques capable de signaler la réalisation d'un événement sismique à une population pour qu'elle puisse se préparer à ses effets. En utilisant des sismographes libres d'accès

[2], il est possible de détecter de tels événements en comparant les signaux reçus à des signaux de référence (corrélation croisée) [3] [4]. Le calcul naïf de telles opérations étant coûteux, il est possible de passer par une transformée de Fourier discrète [5] en utilisant l'algorithme de FFT [6] pour en réduire le coût. Les temps de détections peuvent ensuite être exploités en utilisant des données sur la durée de propagation des différents types d'ondes sismiques dans la croûte terrestre [7],[8] ainsi que des techniques de recherche d'optima [9] afin d'en réaliser la multilatération et l'attribution d'une magnitude [10].

## 6 Problématique retenue

(50 mots maximum)

Comment déterminer de manière fiable une source d'ondes sismiques ainsi que sa position à partir de signaux bruités enregistrés par plusieurs stations, en exploitant les temps d'arrivée des ondes P et S et les outils du traitement du signal (corrélation, FFT) ?

## 7 Objectifs du TIPE

(100 mots maximum)

Créer un algorithme de détection d'événements sismiques.

Accéder au temps d'arrivée des ondes P et S.

Créer un algorithme de multilatération de ces événements sismiques à partir de modèles de propagation de la croûte terrestre.

## 8 Liste des références bibliographiques

(2 à 10 références)

[1] R. J. Mitchell. *Earthquake Sources*. Lecture notes, Western Washington University. [https://www.geol.wvu.edu/rjmitch/L4\\_EQsources.pdf](https://www.geol.wvu.edu/rjmitch/L4_EQsources.pdf)

[2] Yacine Boussoufa. *Earthquake Data Centers*. GitHub repository, 2023. <https://github.com/YacineBoussoufa/EarthquakeDataCenters>

[3] School of Informatics, University of Edinburgh. *Computational Foundations of Cognitive Science: Lecture 15 (Convolutions and Kernels)*. [https://www.inf.ed.ac.uk/teaching/courses/cfcs1/lectures/cfcs\\_15.pdf](https://www.inf.ed.ac.uk/teaching/courses/cfcs1/lectures/cfcs_15.pdf)

[4] Penn State Eberly College of Science. *STAT 510: Lesson 8.2 – Cross Correlation Functions and Lagged Regressions*. Online course material, 2023. <https://online.stat.psu.edu/stat510/lesson/8/8.2>

[5] Elias M. Stein & Rami Shakarchi. *Fourier Analysis: An Introduction*. 2003. [https://kryakin.site/am2/Stein-Shakarchi-1-Fourier\\_Analysis.pdf](https://kryakin.site/am2/Stein-Shakarchi-1-Fourier_Analysis.pdf)

[6] Charles Van Loan. *The FFT Via Matrix Factorizations*. Lecture notes, 2010. <https://www.cs.cornell.edu/~bindel/class/cs5220-s10/slides/FFT.pdf>

[7] Peter Bormann. *Global 1-D Earth Models (IASP91 Tables)*. GFZ German Research Centre for Geosciences, 2010. [https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item\\_4031/component/file\\_4032/content](https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_4031/component/file_4032/content)

[8] Moritz Beyreuther, Robert Barsch, Lion Krischer, Tobias Megies, Yannik Behr, Joachim Wassermann. *ObsPy: A Python Toolbox for Seismology*. *Seismological Research Letters*, 81(3), 530–533, 2010. doi:10.1785/gssrl.81.3.530

[9] Jason Cantarella. *Nelder–Mead Method*. Lecture notes, 2023. <https://jasoncantarella.com/downloads/NelderMeadProof.pdf>

[10] Tatsuhiko Hara. *Determination of Broadband Moment Magnitude*. IISEE / BRI, 2007. [https://iisee.kenken.go.jp/lna/download.php?f=2011082925678c01.pdf&n=T0-100-2007\\_Mwp-2-new.pdf&cid=T0-100-2007](https://iisee.kenken.go.jp/lna/download.php?f=2011082925678c01.pdf&n=T0-100-2007_Mwp-2-new.pdf&cid=T0-100-2007)