



**HAL**  
open science

## Détection et localisation de séismes par Deep-Learning (PhaseNet)

Benoît Derode, Sébastien Benahmed, Marie Calvet, Sébastien Chevrot,  
Alisson Gounon, Franck Grimaud, Jean Letort, Hélène Pauchet, G. Sénéchal,  
Matthieu Sylvander

► **To cite this version:**

Benoît Derode, Sébastien Benahmed, Marie Calvet, Sébastien Chevrot, Alisson Gounon, et al.. Détection et localisation de séismes par Deep-Learning (PhaseNet). 2021, pp.6-7. hal-03662227

**HAL Id: hal-03662227**

**<https://hal.science/hal-03662227v1>**

Submitted on 12 May 2022

**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.

## Détection et localisation de séismes par Deep-Learning (PhaseNet)

### Etude des essaims sismiques Pyrénéens

Les procédures de détection, de localisation et de caractérisation des événements sismiques reposent jusqu'à présent essentiellement sur des critères d'analyse automatique du signal bas niveau (détection de variations d'amplitudes du signal) et sur le travail d'analystes inspectant visuellement les signaux, et effectuant « à l'œil » la caractérisation des sources sismiques (tir de carrière, séisme, explosion, etc). Cependant, avec l'augmentation massive des données à traiter depuis la densifica-

tion du réseau RLBP /RAP, ces procédures doivent être repensées et un fort intérêt émerge pour le développement de méthodes de détection automatique robustes, prenant en compte toute la complexité du signal sismologique. Les techniques de type Deep-Learning (DL) appartiennent à cette catégorie d'algorithmes.

Au-delà de Résif, l'explosion du nombre de capteurs à bas coûts (ex. RaspberryShake) et le déploiement de réseaux denses incitent là aussi à ce développement de méthodes automatiques.

A l'OMP (Observatoire Midi-Pyrénées), nous évaluons la capacité d'un tel algorithme de pointe automatique (PhaseNet, un algorithme de deep-learning supervisé développé par Zhu & Beroza, 2019, à Stanford) à permettre le suivi quotidien de la sismicité sur les stations Résif du Sud-Ouest de la France. Nous investiguons aussi son apport pour l'étude de clusters de sismicité d'intérêt (Figures 1 & 2) pour lesquels des réseaux temporaires ont été déployés depuis 2020. Trois sites Pyrénéens en particuliers ont été instrumentés et étudiés par les personnels de l'OMP pour leur intérêt scientifique : la zone d'Arette à la frontière Pyrénéenne du Béarn, la région de Campan dans les Hautes-Pyrénées et la zone des gisements de gaz de Lacq dans le bassin aquitain.

### Arette, Pyrénées-Atlantiques

La région d'Arette est soumise à une sismicité régulière clusterisée et quasi permanente, comme le rappellent les travaux de Sylvander et al. (2021) basés sur le récent catalogue Sihex-BCSF. Pour discriminer spatialement ces nids de sismicité et tenter d'en comprendre les origines, un réseau de 7 stations disposées en étoile sur une surface d'environ 100 km<sup>2</sup> a été installé dans la région depuis près de 2 ans. Associé aux 3 stations permanentes RLBP / RAP ainsi qu'à 9 RaspberryShake (géophones 3D à bas coût) de l'Université de Pau, et grâce aux méthodes de deep-learning utilisées et développées à l'OMP pour détecter et pointer les événements, ce réseau a permis de localiser dans la région plusieurs milliers de séismes de faible magnitude, améliorant grandement l'exhaustivité du catalogue existant (Figure 2). Un projet d'installation temporaire d'un réseau dense (100 stations espacées d'1 km sur une surface de 10\*10km<sup>2</sup>) dans la

zone est en cours (printemps 2022). Les développements de méthodes de deep-learning pour l'analyse de la donnée sismologique réalisés au sein de l'OMP sont dimensionnés pour le traitement massif de la grande quantité de données produites par ce type d'installation.

### Gripp, Hautes-Pyrénées

En juin 2020, une augmentation majeure du taux de sismicité dans une zone de 400 km<sup>2</sup> au sud-est de Lourdes est observée, et semble corrélée à l'ouverture soudaine d'une cavité [Barréjot, 2020] dans laquelle l'Adour de Payolle (affluent de l'Adour) s'est engouffré. Quatre stations temporaires sont alors installées aux abords de l'essai sismique nouvellement observé pour en assurer le suivi. Traitées en utilisant PhaseNet, les données découlant de cette instrumentation ont permis de détecter près de 2000 séismes sur l'année, et les relocalisations automatiques indiquent la présence de deux essaims distincts, activés de manière asynchrone, à quelques kilomètres du « trou de l'Adour ». La présence et la migration de fluides en profondeur est actuellement étudiée et privilégiée pour expliquer l'occurrence de ces essaims.

### Sislacq2021, la sismicité induite de Lacq

La région de Lacq (Figure 1) est régulièrement secouée par des séismes de faibles magnitudes, les plus importants atteignant des magnitudes autour de 4. Depuis janvier 2021, en collaboration avec le GFZ et l'UPPA, nous y avons déployé un réseau de 10 stations (courtes-périodes) pour une durée de 2 ans. 5 RaspberryShake viendront bientôt compléter ce réseau. L'objectif est de mieux caractériser la sismicité induite par les injections d'eau usée actuellement en cours, et par la déplétion long terme du réservoir suite à son exploitation passée. Dans ce contexte industrialisé, en milieu urbain, les capteurs enregistrent une sismicité constante mais aussi une part importante de « bruits » (résonances de tuyaux, trains, usines, etc) qui perturbent l'analyse des séismes. Lacq est donc un site test intéressant

pour développer et adapter ces méthodes à la présence de bruit fort, afin qu'elles puissent être ensuite réutilisées pour des études en milieu urbain, en contexte anthropique.

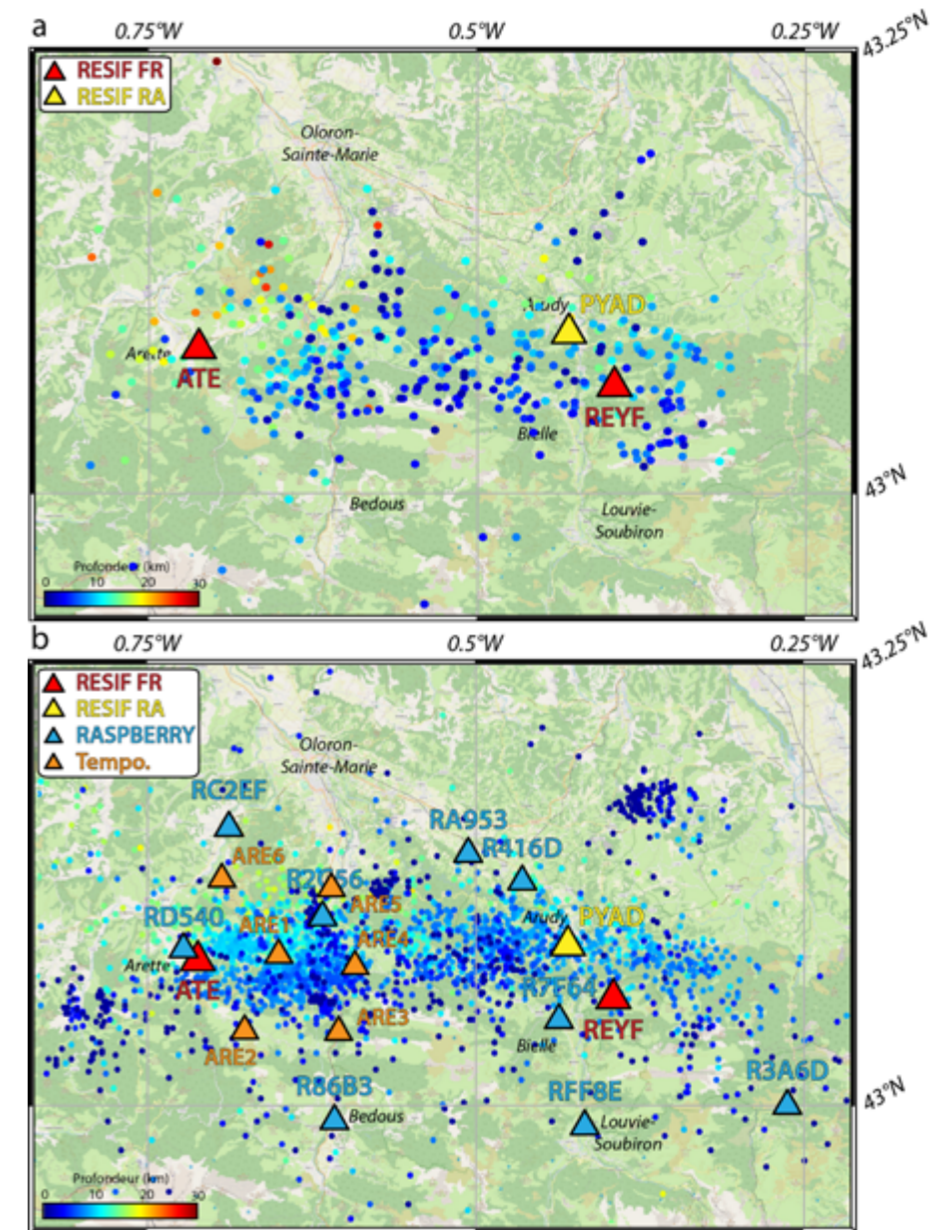
Benoit Derode et le groupe « observations sismologiques » de l'OMP : Sébastien Benahmed, Marie Calvet, Sébastien Chevrot, Alisson Gounon, Frank Grimaud, Jean Letort, Hélène Pauchet, Guy Sénéchal (UPPA), Matthieu Sylvander.

### En savoir plus :

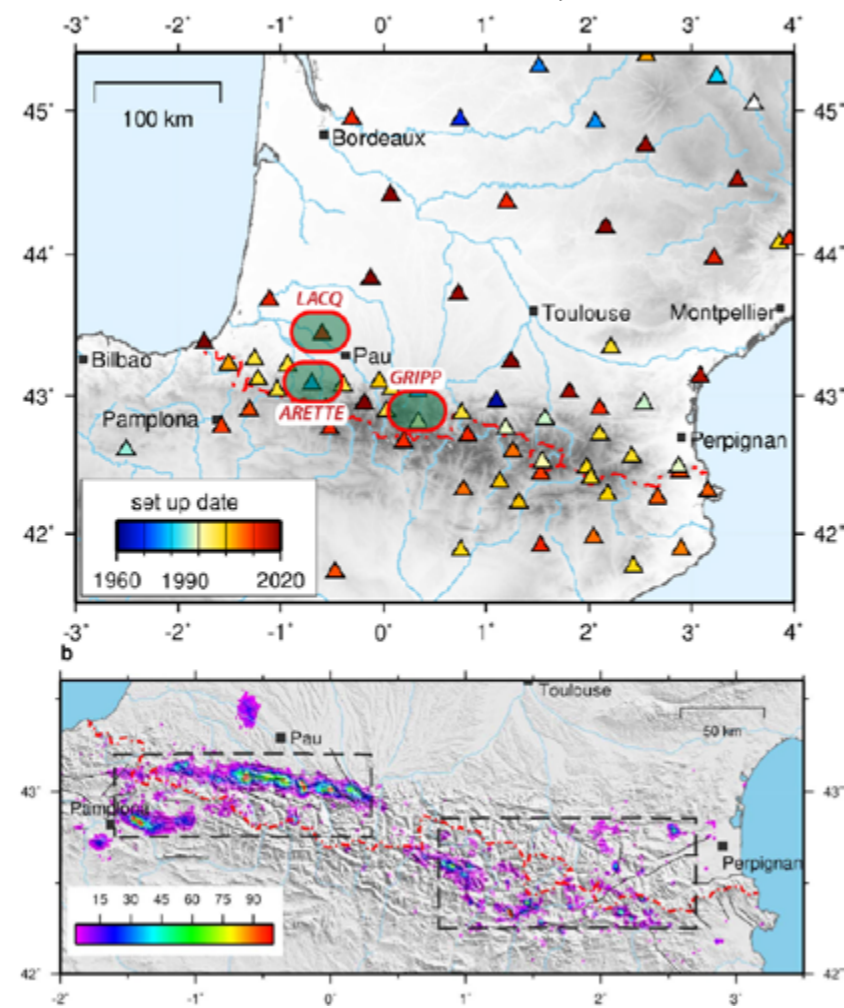
Sismicité de Gripp : [rssp.irap.omp.eu/Actualites/ProjetCampan.php](http://rssp.irap.omp.eu/Actualites/ProjetCampan.php)

### Références

- Sylvander et al. 2021. [doi.org/10.5802/crgeos.60](https://doi.org/10.5802/crgeos.60)
- Zhu et Beroza 2019. [doi.org/10.1093/gji/ggy423](https://doi.org/10.1093/gji/ggy423)
- Derode et al. 2021. [hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/hal-03463696](https://hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/hal-03463696)
- Gounon et al. 2021. [hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/hal-03448099](https://hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/hal-03448099)
- Letort et al. ; présentation journées Résif, 15 -18 nov. 2021; [rst-resif-2021.sciences-conf.org](https://rst-resif-2021.sciences-conf.org)
- Barréjot A. 2020. [lc.cx/tN8iwM](https://doi.org/10.1002/lc.1418)



2 - Région d'ARETTE : a) Sismicité instrumentale, catalogue RENASS, 2020. b) Idem, obtenu par détection/pointé automatique en intégrant divers réseaux temporaires et permanents. D'après Derode et al. 2021.



1 - a) Réseau instrumental permanent dans le sud-ouest de la France en 2021. Les essais instrumentés et étudiés apparaissent en encadrés rouges. b) Densité sismique dans les Pyrénées, catalogue de l'OMP, 1989-2019. D'après Sylvander et al. 2021.