LIÈGE université Library

https://lib.uliege.be

https://matheo.uliege.be

Use of Distributed Acoustic Sensing for the quantification of underwater volcanic gas flux (en ce compris une introduction à la méthodologie de la recherche)

Auteur : Mathieu, Hélène
Promoteur(s) : Nguyen, Frédéric
Faculté : Faculté des Sciences appliquées
Diplôme : Master en ingénieur civil des mines et géologue, à finalité spécialisée en géologie de l'ingénieur et de l'environnement
Année académique : 2025-2026
URI/URL : http://hdl.handle.net/2268.2/26170

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Use of Distributed Acoustic Sensing for the quantification of underwater volcanic gas flux

Author: MATHIEU Hélène

Supervisors: NGUYEN Frédéric and CAUDRON Corentin

Master in Mining and Geological Engineering professional focus in environmental and geological engineering - Université de Liège

Academic year: 2025 – 2026.

Volcanic degassing is a key indicator of magmatic activity, even if its continuous quantitative monitoring in subaqueous environments remains technically challenging. Passive hydroacoustics inversion, called the spectral method, offers a physically grounded approach to quantifying underwater gas flux from bubble acoustic emissions using hydrophones, with only provide single-point measurements. Distributed Acoustic Sensing (DAS), which converts a fibre optic cable into a dense vibration sensor array, represents a potential means of extending spatial coverage, even if its quantitative calibration against hydrophones for volcanic degassing signals had not previously been addressed.

This thesis investigates the feasibility of applying the spectral method to DAS recordings through an empirical frequency-dependent calibration, using a 24-hour dataset from Laacher See, Germany, acquired on 23rd October 2025. Among all DAS channels, channel 51 consistently matches the hydrophone spectral content, thanks to a cable bend that enable an axial component of the acoustic waves to reach the DAS cable before being attenuated too much for being detectable. A frequency-dependent correction factor calibrates the DAS signal against the co-located hydrophone. Its median-based estimation systematically outperforms mean-based estimation, as transient noise (anthropogenic or natural) inflates mean power spectral densities at low frequencies, corresponding to large bubbles and so to significant amounts of gas. The 1-hour median calibration yields the closest agreement with hydrophone-derived flux, while the 6-hour window offers a robust operational compromise. DAS-derived flux broadly tracks hydrophone dynamics, though artefactual DAS-specific peaks are identifiable. The uncertainties were quantified for three selected sources, identifying the DAS-to-hydrophone calibration as the dominant error source, followed by the uncertainty related to the parameters of the forward model. Sobol analysis shows that 90% of parameter-related variance come from the estimation of the receiver-to-seep range. In contrast, the uncertainty related to the power spectral density estimation do not affect the reliability of the gas flux estimates.

This study therefore serves as a proof of feasibility for spectral inversion of underwater volcanic emissions using a DAS system and identifies the conditions and improvements required for its operational validation.

Utilisation de la détection acoustique distribuée pour la quantification de flux de gaz volcaniques subaquatiques

Auteur: MATHIEU Hélène

Superviseurs: NGUYEN Frédéric et CAUDRON Corentin

Master en ingénieur civil des mines et géologue, à finalité spécialisée en géologie de l'ingénieur et de l'environnement – Université de Liège

Année académique : 2025 – 2026.

Le dégazage volcanique est un indicateur clé de l'activité magmatique, même si sa surveillance quantitative continue en milieu subaquatique reste techniquement difficile. L'inversion hydroacoustique passive, appelée méthode spectrale, offre une approche physiquement fondée pour quantifier le flux de gaz subaquatique à partir des émissions acoustiques de bulles enregistrées par des hydrophones, qui ne fournissent que des mesures en un seul point. La détection acoustique distribuée (DAS en anglais), qui convertit un câble à fibre optique en un réseau dense de capteurs de vibration, représente un moyen potentiel d'étendre la couverture spatiale, même si sa calibration quantitative par rapport aux hydrophones pour les signaux de dégazage volcanique n'avait encore jamais été réalisée.

Ce mémoire étudie la faisabilité d'appliquer la méthode spectrale aux enregistrements DAS par le biais d'une calibration empirique dépendante de la fréquence, en utilisant un jeu de données de 24 heures provenant du Laacher See, en Allemagne, acquis le 23 octobre 2025. Parmi tous les canaux DAS, le canal 51 correspond systématiquement au contenu spectral de l'hydrophone, grâce à une courbure du câble qui permet à une composante axiale des ondes acoustiques d'atteindre le câble DAS avant d'être atténuée trop fortement pour être détectable. Un facteur de correction dépendant de la fréquence permet de calibrer le signal DAS par rapport à l'hydrophone colocalisé. Son estimateur médian surpasse systématiquement l'estimateur moyen, car le bruit transitoire (d'origine anthropique ou naturelle) gonfle les densités spectrales de puissance moyennes aux basses fréquences, correspondant aux grandes bulles et donc à des quantités significatives de gaz. La calibration médiane sur 1 heure offre l'accord le plus proche avec le flux dérivé de l'hydrophone, tandis que la fenêtre de 6 heures constitue un compromis opérationnel robuste. Le flux dérivé du DAS suit globalement la dynamique de l'hydrophone, bien que des pics artificiels spécifiques au DAS soient identifiables. Les incertitudes ont été quantifiées pour trois sources sélectionnées, identifiant la calibration DAS-hydrophone comme la source d'erreur dominante, suivi de l'incertitude liée aux paramètres du modèle direct. L'analyse de Sobol montre que 90% de la variance liée aux paramètres provient de l'estimation de la distance récepteur-source de gaz. En revanche, l'incertitude liée à l'estimation de la densité spectrale de puissance n'affecte pas la fiabilité des estimations de flux de gaz.

Cette étude constitue donc une preuve de faisabilité pour l'inversion spectrale des émissions volcaniques subaquatiques à l'aide d'un système DAS et identifie les conditions et améliorations nécessaires à sa validation opérationnelle.