

# Human in the deep: Converting research activities pressures into ecological impact assessment.

Riwan Leroux\*    Jozée Sarrazin<sup>+</sup>    Marjolaine Matabos<sup>~</sup>

## Résumé

Les écosystèmes hydrothermaux profonds abritent une biodiversité unique mais sont de plus en plus exposés aux activités anthropiques et suscitent un intérêt croissant pour leurs ressources minérales. Le champ hydrothermal Lucky Strike (LS) est localisé le long de la dorsale médio-Atlantique au cœur de l'aire marine protégée (AMP) des Açores. Découvert en 1993, LS est une des zones hydrothermales la plus étudiée au monde avec des campagnes annuelles de maintenance de l'observatoire EMSO-Açores depuis 2010. Alors que le gouvernement des Açores revoit la législation de l'AMP, ce projet a pour objectif de caractériser les activités de recherche, évaluer les pressions associées et déterminer leur impact. Pour cela nous avons construit une base de données spatio-temporelle sur R compilant toutes les activités de recherche (trajectoires des submersibles, échantillonnages, mouillages ou déchets) des 31 dernières années. La cartographie de ces activités a été faite avec les packages Leaflet et Terra pour fournir un catalogue interactif de cartes facile à utiliser pour les décideurs politiques responsables de l'AMP de LS. Ensuite, la mise en œuvre de la méthode Delphi pour l'élicitation d'experts a permis de pondérer les différentes activités et construire des cartes intégrées de pressions. Il en résulte une série de cartes décrivant l'évolution temporelle des pressions exercées par les activités de recherche au cours des dernières décennies. Une classification par clustering a permis d'analyser les variations spatio-temporelles des pressions exercées afin de grouper les sites en fonction de l'indice de pression. La prochaine étape consiste à utiliser les données historiques et nouvelles de communauté issues de l'échantillonnage et de l'imagerie pour évaluer l'impact potentiel de ces pressions. Des défis découlent des effets confondant aléatoires tels que la variabilité inter et intra-site ou la présence de domaines chimiques et devront être pris en compte pour les analyses multivariées.

**Mots-clefs (3 à 5) :** Statistique – Ecologie – Statistique Spatiale – Environnements profonds

## Développement

Découverts en 1977, les écosystèmes hydrothermaux profonds sont de plus en plus ciblés pour leurs ressources minérales. Des années d'exploration sont encore nécessaires pour mieux comprendre leur fonctionnement et évaluer leur résilience. Ces connaissances sont essentielles pour comprendre et prévoir comment les activités anthropiques peuvent altérer ces écosystèmes. A ce jour, la seule pression directe d'origine humaine sur les champs hydrothermaux profonds provient des activités de recherches scientifiques. Le projet PROTECT vise à caractériser ces pressions de recherches sur le champ hydrothermal Lucky Strike (LS), étudié depuis 30 ans. Une fois ces pressions caractérisées, il sera possible d'estimer pour la première fois leur impact sur les écosystèmes et leur fonctionnement.

Premièrement, je vais montrer comment avec R il est possible de construire une base de données complexe et explicite dans le temps et l'espace. En récupérant les métadonnées des activités de recherches des 30 dernières années à LS, on a obtenu plusieurs bases de données pour chaque type d'activité. Par exemple, les coordonnées spatiales, dates et natures des échantillonnages ou les trajectoires des submersibles utilisés. Les carnets de bords qui décrivent les opérations scientifiques

à chaque plongée, minute par minute, ont été analysés sur R pour extraire toutes les mentions de déchets laissés au fond par les scientifiques. Grâce aux packages Leaflet et Terra (raster), on a compilé toutes ces données sur une seule carte interactive où l'on peut afficher ou non les différentes activités et autres caractéristiques topographiques du site d'étude (voir Annexe 1).

Une fois ce travail d'archive fait et que l'Atlas est disponible, nous avons cherché à intégrer toutes les pressions de natures différentes en un seul indice pondéré par l'impact des différentes activités, la lumière d'un submersible étant à priori moins dommageable pour l'écosystème qu'un prélèvement important de faune. Pour éviter une pondération arbitraire, nous avons utilisé la méthode Delphi (Mukherjee et al., 2015 ; Grime & Wright 2016) pour prédire les impacts des différentes activités de recherche. Un questionnaire (<https://forms.ifremer.fr/eep-protect/delphi/>) a été envoyé à l'international à des chercheurs en écologie des environnements profonds pour qu'ils attribuent un niveau d'impact à chaque activité. Leurs réponses ont été analysées sur R (moyenne, écart-type, distribution) et un deuxième questionnaire a été renvoyé pour demander aux participants de renoter les différentes activités à la vue des réponses pour tenter de s'approcher d'un consensus et ainsi renforcer la précision de la prédiction des impacts associés aux activités de recherche. Les notes issues du deuxième questionnaire ont été utilisées pour construire notre indice intégré : le Integrated Research Pressure Index (IRPI). Pour chaque pixel (x,y) de la carte de LS, l'IRPI est la somme des pressions, avec l'intensité de chaque pression ( $A_i$ ) normalisée par son maximum ( $A_{max}$ ) puis pondérée par la note Delphi associée ( $P_{A_i}$ ) :

$$IRPI_{x,y} = \sum_i \frac{A_{x,y,i}}{A_{max,i}} \times P_{A_i}$$

Cet indice unique nous a permis ensuite de définir un gradient de pression. En le calculant année après année, on a pu caractériser le niveau de pression pixel par pixel au cours du temps. Une analyse de clustering spatial qui prend en compte les variations temporelles de l'IRPI définit les sites fortement pressurisés, modérément pressurisés et préservés (voir Annexe 2). Ce résultat a été transmis au gouvernement des Açores qui gère l'aire marine protégée dans laquelle se situe LS et qui est sujette à une actualisation de sa législation.

Finalement, ce travail de recherche d'archive, de cartographie et d'analyse permet l'élaboration d'un plan d'échantillonnage pour évaluer l'impact de ces pressions sur l'écosystème et son fonctionnement. D'abord, un échantillonnage sera effectué le long du gradient de pressions défini pour analyser les variations des communautés. En parallèle, des analyses d'images compareront les communautés présentes dans les années 90 avec celles que l'on retrouve dans les années 2020.

En conclusion, ce projet est un cas d'étude soulignant la versatilité de R. De la création de base de données, la cartographie, la communication, le conseil aux décideurs politiques, les analyses statistiques ; R est un outil qui permet de construire tout un projet dans le même environnement de travail. A cela s'ajoute le pouvoir reproductible avec les documents R markdown qui standardisent le workflow et facilitent la communication. Par exemple, la transmission des résultats du Delphi au panel d'experts via le markdown a permis un ajustement rapide et efficace des analyses et questionnaires (voir Annexe 3).

## Références

**Grime, M. M., & Wright, G. (2016).** Delphi method. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online, 1, 16.  
**Mukherjee, N., Huges, J., Sutherland, W. J., McNeill, J., Van Opstal, M., Dahdouh-Guebas, F., & Koedam, N. (2015).** The Delphi technique in ecology and biological conservation: applications and guidelines. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(9), 1097-1109.

\* IFREMER, [Riwan.Leroux@ifremer.fr](mailto:Riwan.Leroux@ifremer.fr)

+ IFREMER, [Jozee.Sarrazin@ifremer.fr](mailto:Jozee.Sarrazin@ifremer.fr)

~ IFREMER, [Marjolaine.Matabos@ifremer.fr](mailto:Marjolaine.Matabos@ifremer.fr)