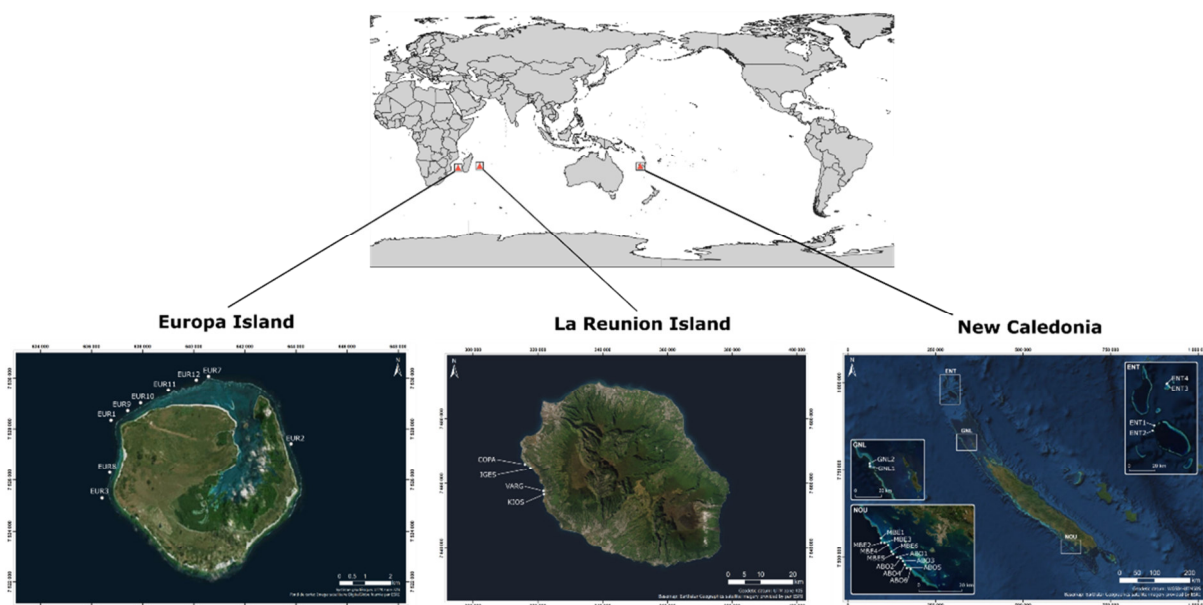


## **« Développement d'indices écoacoustiques pour caractériser et suivre l'état et le fonctionnement des écosystèmes coralliens » : les principaux résultats (S. ELISE, 2019)**

Les suivis par acoustique passive (Passive Acoustic Monitoring - PAM) ont longtemps été cantonnés au suivi d'espèces particulières. La première étude à leur donner une dimension écosystémique dans les récifs coralliens est celle de Kennedy et al. (2010), publiée dans le *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. En associant des caractéristiques des écosystèmes (diversité et abondance des poissons ou des coraux) à des caractéristiques des paysages sonores (son ambiant enregistré à l'aide d'hydrophones), ces auteurs donnent naissance aux premiers indices éco-acoustiques en milieu récifal. Parmi ces indices, on trouve par exemple l'amplitude du son (c'est à dire le volume sonore) dans les basses fréquences (< 1 kHz), qui est fortement corrélée à la diversité et à l'abondance des poissons. Près de 10 ans après, ces indices ont été confirmés et affinés, et leur intérêt a été démontré non-seulement pour l'évaluation ponctuelle et rapide de sites multiples, mais également pour le suivi dans le temps de ces sites.

Pouvant être mis en œuvre sans l'intervention de plongeurs, les suivis par acoustique passive présentent le double avantage de réduire considérablement les coûts et la logistique de terrain, tout en s'affranchissant du biais « observateur ». Ce biais, lié au fait que les données visuelles sont collectées par des observateurs différents autour du globe, limite fortement les possibilités de comparer les données à grande échelle spatiale. A contrario, l'enregistrement des paysages sonores à l'aide de matériels calibrés permet une comparaison des données collectées tout autour du globe, soit une certaine « objectivité » de la mesure.

L'objectif de la thèse était de produire des lignes directrices pour l'utilisation de l'acoustique passive comme outil opérationnel et innovant de diagnostic écologique et de suivi des écosystèmes coralliens. Les méthodes employées jusqu'alors se basent sur des relevés *in situ* réalisés par des plongeurs et se révèlent déjà largement insuffisantes face à l'augmentation rapide des effets des changements climatiques. En effet, les diagnostics et suivis doivent aujourd'hui être standardisés, et mis en œuvre à des pas de temps resserrés et à des échelles spatiales élargies (voir Obura et al. 2019), afin de réajuster en permanence les stratégies de conservation de ces écosystèmes. Parmi les méthodes alternatives issues d'avancées technologiques récentes, l'acoustique passive est en plein essor (e.g. Kaplan et al. 2015, Bertucci et al. 2016, Freeman & Freeman 2016, Staaterman et al. 2017, Lindseth & Lobel 2018). Les résultats obtenus durant la thèse ont permis d'affiner sa mise en œuvre sur les récifs coralliens. Des enregistrements des paysages sonores et des relevés visuels (assemblages de poissons et habitat) ont été réalisés sur 31 récifs de pente externe autour de trois îles de l'Indo-pacifique : Europa, La Réunion et la Nouvelle-Calédonie.



**Figure 1.** Localisation des 31 sites étudiés

## **1 – L'état écologique d'un récif corallien peut être caractérisé en enregistrant son paysage sonore durant quatre heures (Elise et al. 2019a)**

Le premier objectif de la thèse était de proposer un protocole d'échantillonnage optimal. En effet les études précédentes s'étaient basées sur des échantillons acoustiques de durée variable (de 5 s à 5 min), enregistrés à des moments différents de la journée ou du cycle lunaire. En outre, ces études avaient mis en œuvre des efforts d'échantillonnage variés (i.e. nombre d'échantillons), et les types de mesures acoustiques (i.e. indices) et bandes de fréquences considérés variaient également largement d'une étude à l'autre. Il était fondamental de s'interroger sur l'influence de ces facteurs de variation sur la qualité de l'information produite.

Un protocole optimal a été défini en sélectionnant les indices acoustiques produisant un classement stable des paysages sonores de différents sites, même enregistrés durant des jours ou des phases lunaires différentes. D'un point de vue opérationnel, cette stabilité temporelle permet de comparer les paysages sonores de sites échantillonnés sur des périodes pouvant aller jusqu'à plusieurs semaines, condition primordiale en cas de très nombreux sites à évaluer ou de mauvaises conditions météorologiques. L'élaboration de ce protocole a aussi mis en évidence que la caractérisation des paysages sonores « basses fréquences » (< 1 kHz) nécessitait de considérer des échantillons de durée relativement longue (5 min) collectés sur des temps d'enregistrement longs (entre 200 et 250 min). A contrario, des échantillons courts (5 sec) collectés sur des temps d'enregistrement courts (< 20 min) suffisent pour caractériser les paysages sonores « hautes fréquences » (> 2 kHz). Par ailleurs, les temps d'enregistrements minimaux se sont révélés systématiquement plus courts la nuit que le jour. Quatre heures d'enregistrement fournissent ainsi une caractérisation représentative de l'ensemble du paysage sonore d'un récif corallien. Cette durée a ensuite été réduite à deux heures dans des conditions météorologiques calmes et pour diagnostiquer des différences entre sites plus marquées.

## **2- Le même protocole d'échantillonnage peut être utilisé dans différents contextes géographiques (Elise et al. 2019a)**

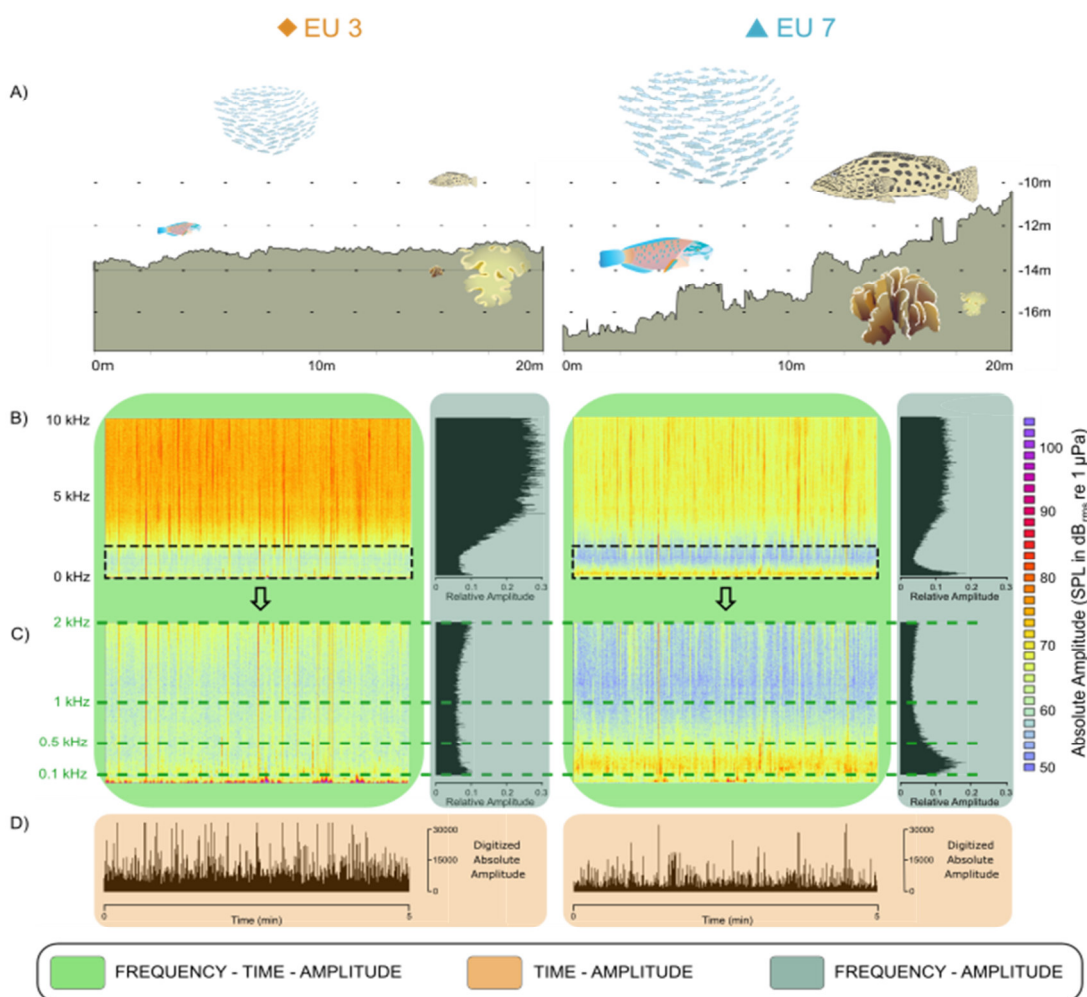
Le protocole décrit ci-dessus a été élaboré sur les récifs coralliens de l'île de La Réunion, dans l'océan Indien. Il a ensuite été testé avec succès sur les récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie, à

plus de 10 000 km de là dans l'océan Pacifique. En effet, appliqué aux paysages sonores de différents sites de Nouvelle-Calédonie, ce protocole a permis d'obtenir exactement la même classification de ces sites que celle obtenue sur des critères écologiques. Ce protocole a également été appliqué avec succès sur les récifs coralliens de l'île Europa dans le canal du Mozambique.

### 3- Certaines caractéristiques des paysages sonores sont intimement liées aux compartiments clé qui assurent le fonctionnement des écosystèmes coralliens (Elise et al. 2019b)

Une fois le protocole validé, le deuxième grand objectif de la thèse a été d'affiner les indices éco-acoustiques utilisés jusqu'alors (i.e. liens établis entre caractéristiques écologiques et caractéristiques des paysages sonores). En particulier, l'enjeu ici a été d'élaborer des indices éco-acoustiques plus en adéquation avec les besoins actuels de gestion, à savoir la conservation des services que les récifs coralliens fournissent aux populations qui en sont riveraines. Ces services reposent en grande partie sur des fonctions clé telles que la complexité de l'habitat, l'abondance de prédateurs, ou encore celle de poissons herbivores comme les poissons perroquets.

Dans le contexte non-perturbé du sanctuaire de l'île Europa (îles Eparses - TAAF), des corrélations fortes ont été mises en évidence entre des caractéristiques des paysages sonores et des fonctions clé (e.g. lien fort entre la complexité de l'habitat et l'amplitude du son dans les basses fréquences – figure 2). Ces résultats ont mis au jour le potentiel important de l'acoustique passive pour évaluer le fonctionnement des écosystèmes coralliens. Alors que les espèces récifales sont très diverses autour du monde (poissons, coraux, invertébrés, ...), les mêmes types de fonctions se rencontrent partout. L'extension de ces résultats à des échelles spatiales élargies est donc extrêmement prometteuse.



**Figure 2.** Fonctions écosystémiques clés et paysages sonores associés sur deux sites contrastés autour de l'île Europa (EU3 et EU7). A) Profil de complexité de l'habitat et importance de 5 autres

fonctions clés. La taille des icônes est proportionnelle à leur représentation sur chaque site (couverture en corail encroûtant, couverture en coraux lumineux/foliacés/en forme de casque, biomasse des planctonophages, biomasse des herbivores brouteurs, abondance des prédateurs) ; B) Spectrogramme et spectre en fréquences correspondant sur la bande 0-10 kHz ; C) Spectrogramme et spectre en fréquences correspondant sur la bande 0-2 kHz ; D) Enveloppe d'amplitude. Les icons sont utilisés avec la permission de Joanna Woerner, Dieter Tracey, Kim Kraeer, Lucy Van Essen-Fishman, et Tracey Saxby (Integration and Application Network of the University of Maryland Center for Environmental Science, <http://ian.umces.edu/imagelibrary/>).

#### **4- Les indices éco-acoustiques apportent des informations supplémentaires à celles obtenues avec d'autres méthodes pour prédire la structure des assemblages de poissons récifaux (Elise et al. soumis)**

En comparant les apports des données collectées par acoustique passive et de données environnementales pouvant être collectées par télédétection (comparaison des  $R^2$  ajustés de modèles linéaires), la plus-value de l'utilisation d'indices éco-acoustiques pour prédire la structure des assemblages de poissons récifaux a été identifiée et quantifiée. Cette plus-value est particulièrement notable pour la prédiction de la distribution en abondances des fonctions assurées par les poissons. Par ailleurs, ces résultats ont révélé que les indices éco-acoustiques pouvaient suppléer d'autres méthodes pour la prédiction de nombreuses caractéristiques de la structure des assemblages de poissons.

#### **5- L'application de l'ensemble de ces résultats apporte à la gestion d'un site isolé d'importance mondiale (Projet CORCOPA - <https://www.youtube.com/watch?v=2c-S13h-AtE>)**

Le troisième objectif de la thèse était d'évaluer les apports de l'éco-acoustique au suivi en continu d'un site isolé, où d'autres méthodes de suivis sont pour l'instant impossibles ou extrêmement coûteuses. Le protocole de suivi et les indices éco-acoustique de fonctionnement du récif ont été appliqués sur 10 mois de données enregistrées en continu sur le récif de l'île Europa. Ces données ont révélé les dynamiques journalière, lunaire et saisonnière de ce récif, fournissant au gestionnaire une prise de pouls « en temps réel ». Par ce dispositif, la survenue de perturbations et les mécanismes de réponse du récif peuvent être enregistrés et analysés pour mieux orienter les décisions de gestion à venir, et adapter les usages à la conservation de ce sanctuaire de biodiversité parmi les mieux préservés au monde ».

#### **Références**

- Bertucci, F., Parmentier, E., Lecellier, G., Hawkins, A.D., Lecchini, D., Costanza, R., ... & Simonis, C. (2016). Acoustic indices provide information on the status of coral reefs: an example from Moorea Island in the South Pacific. *Scientific Reports*, 6, 33326. <https://doi.org/10.1038/srep33326>
- Elise, S., Bailly, A., Urbina-Barreto, I., Mou-Tham, G., Chiroleu, F., Vigliola, L., ... & Bruggemann, J.H. (2019a). An optimised passive acoustic sampling scheme to discriminate among coral reefs' ecological states. *Ecological Indicators*, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105627>
- Elise, S., Urbina-Barreto, I., Pinel, R., Mahamadaly, V., Bureau, S., Penin, L., ... & Bruggemann, J.H. (2019b). Assessing key ecosystem functions through soundscapes: a new perspective from coral reefs. *Ecological Indicators*, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105623>

- Elise, S., Guilhaumon, F., Mou-Tham, G., Urbina-Barreto, I., Vigliola, L., Kulbicki, M., Bruggemann, J.H. The added value of ecoacoustic indices in predicting the structure of reef fish assemblages. (soumis à *Biology Letters*)
- Freeman, L.A., & Freeman, S.E. (2016). Rapidly obtained ecosystem indicators from coral reef soundscapes. *Marine Ecology Progress Series*, 561, 69–82. <https://doi.org/10.3354/meps11938>
- Kaplan, M.B., Mooney, T.A., Partan, J., & Solow, A.R. (2015). Coral reef species assemblages are associated with ambient soundscapes. *Marine Ecology Progress Series*, 533, 93–107. <https://doi.org/10.3354/meps11382>
- Lindseth, A., & Lobel, P. (2018). Underwater Soundscape Monitoring and Fish Bioacoustics: A Review. *Fishes*, 3(3), 36. <https://doi.org/10.3390/fishes3030036>
- Obura, D., Appeltans, W., Amorntammarong, N., Aeby, G., Bax, N.J., Bishop, J., ... & Gramer, L. (2019) Coral Reef Monitoring, Reef Assessment Technologies, and Ecosystem-Based Management. *Frontiers in Marine Science*, 6, 580. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00580>
- Staaterman, E., Ogburn, M.B., Altieri, A.H., Brandl, S.J., Seemann, J., Goodison, M., & Duffy, J.E. (2017). Bioacoustic measurements complement visual biodiversity surveys: preliminary evidence from four shallow marine habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 575, 207–215. <https://doi.org/10.3354/meps12188>