

Vers la quantification de la résilience des coraux massifs d'Haïti à partir des indicateurs sclérochronologiques

Moramade Blanc^{1,2,*}, Evens Emmanuel¹, Franck Lartaud²

¹Equipe de Recherche sur les Changements Climatiques ERC2, Université Quisqueya (UniQ), 218 Ave Jean-Paul II, 6110 Port au Prince, Haïti

²Laboratoire d'Écogéochimie des Environnements Benthiques (LECOB, UMR 8222), CNRS–Sorbonne Université, Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer, France

*Auteur correspondant : blamo82@yahoo.fr | [Moramade Blanc \(0000-0002-6017-477X\) - ORCID](https://orcid.org/0000-0002-6017-477X)

Résumé

Les récifs coralliens constituent des écosystèmes marins d'une importance capitale. Bien qu'ils ne couvrent que moins de 1 % de la surface des océans, ils abritent environ 25 % de la biodiversité marine mondiale et fournissent des services écosystémiques essentiels pour des millions de personnes. En Haïti, ces récifs jouent un rôle crucial pour la sécurité alimentaire, la protection côtière et l'économie locale des communautés littorales.

Aujourd'hui, ces écosystèmes fragiles sont soumis à des pressions multiples et croissantes : réchauffement des océans, acidification, pollution côtière, sédimentation liée à la déforestation, pratiques de pêche destructrices et absence de gestion intégrée. Face à cette accumulation de stress, la compréhension de la résilience des récifs coralliens devient une priorité scientifique et sociétale.

Ce travail de recherche vise à évaluer la résilience des récifs coralliens d'Haïti en analysant la croissance des coraux massifs sur plusieurs décennies. En mobilisant des approches de sclérochronologie et de densitométrie, l'étude permet de reconstituer l'historique des stress environnementaux et climatiques, d'identifier les phases de résistance et de récupération, et de quantifier la capacité adaptative des coraux face aux perturbations. Les résultats attendus fourniront des outils d'aide à la décision pour orienter les stratégies de conservation, de restauration et de gestion durable des récifs haïtiens dans un contexte de changements globaux.

Mots-clés : *Récifs coralliens, Résilience, Sclérochronologie, Haïti, Changements climatiques*

Introduction

Les récifs coralliens : des écosystèmes essentiels mais menacés

Les récifs coralliens figurent parmi les écosystèmes les plus riches et les plus productifs de la planète. Bien que couvrant moins de 1 % de la surface des océans, ils abritent près de 25 % de la biodiversité marine connue (Moberg & Folke, 1999 ; Spalding et al., 2001). Ils constituent également un pilier fondamental pour les sociétés humaines, en particulier dans les régions tropicales, en assurant la protection des côtes contre l'érosion et les tempêtes, en fournissant des ressources halieutiques essentielles, en générant des revenus touristiques et en portant une valeur culturelle importante (Jackson et al., 2014).

Cependant, ces écosystèmes exceptionnels figurent également parmi les plus menacés au monde. Depuis plusieurs décennies, les récifs coralliens subissent une accumulation de pressions liées aux activités humaines et aux changements climatiques globaux. Le

réchauffement des eaux de surface, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur marine, la pollution côtière, les apports terrigènes, la turbidité accrue et la surpêche fragilisent leur fonctionnement écologique et compromettent leur avenir (Hughes et al., 2017 ; Hoegh-Guldberg et al., 2018).

À l'échelle mondiale, les épisodes de blanchissement massif observés depuis la fin des années 1990 illustrent l'ampleur de la crise écologique en cours. Le premier événement de blanchissement global de 1997-1998 a marqué un tournant historique, révélant la vulnérabilité extrême des coraux à l'augmentation de la température de l'eau. Depuis lors, ces événements se sont multipliés et intensifiés dans l'ensemble des régions tropicales (Wilkinson, 2000 ; Jackson et al., 2014 ; Hughes et al., 2018).

La région des Caraïbes : une zone fortement impactée

La région des Caraïbes n'a pas été épargnée par cette dynamique mondiale de dégradation. Les événements de blanchissement de 2005 et 2010 ont entraîné des pertes considérables de coraux vivants. Dans certaines zones, plus de 50 % des colonies ont disparu, notamment dans les îles Vierges américaines, tandis que d'autres pays comme la Barbade ou la République dominicaine ont enregistré des mortalités significatives (Wilkinson & Souter, 2007 ; Jackson et al., 2014 ; Eakin et al., 2010).

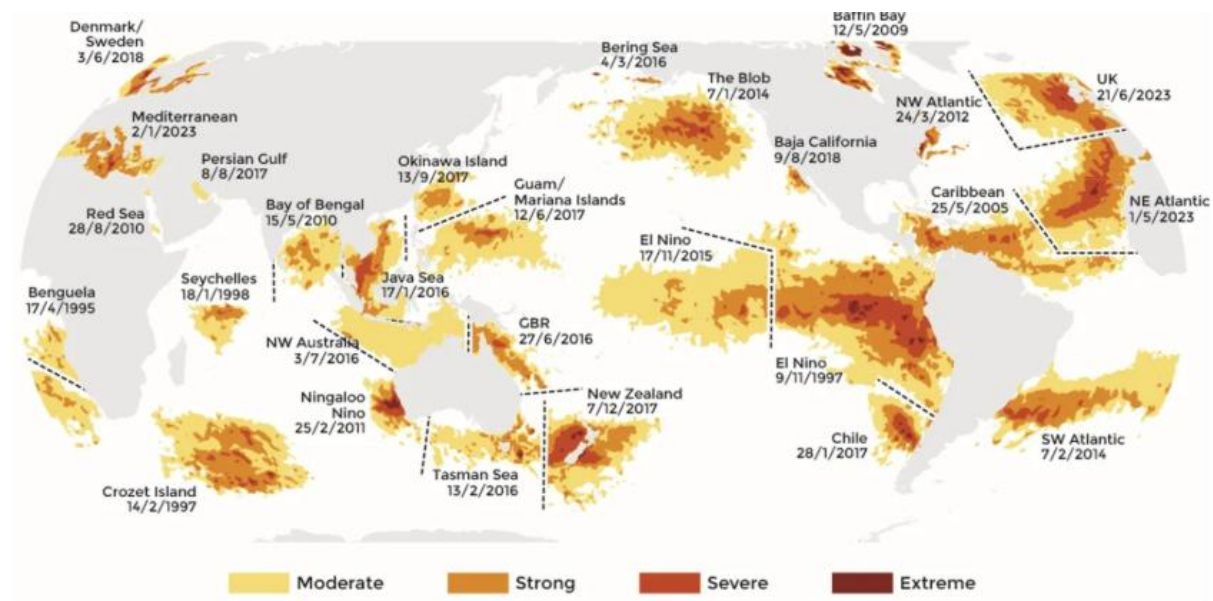


Fig.1. Carte mondiale des principales vagues de chaleur marine survenues depuis 1995. L'échelle d'intensité de chaque extrême (de modéré à extrême) représente les conditions correspondant à la date du pic de l'événement. Adapté de Smith et al. 2021

Ces pertes ne résultent pas uniquement du réchauffement climatique. Elles sont le produit de la combinaison de stress globaux, tels que l'augmentation des températures océaniques et les anomalies climatiques, et de pressions locales comme la pollution, la sédimentation, la dégradation des habitats et la surexploitation des ressources marines. Cette interaction entre facteurs globaux et locaux affaiblit la capacité des récifs à résister aux perturbations et à se rétablir après les épisodes de stress (Burke et al., 2011 ; Hughes et al., 2017 ; McClanahan et al., 2019).

Les récifs coralliens d'Haïti : un cas critique encore mal connu

En Haïti, la situation est particulièrement préoccupante. Les récifs coralliens sont soumis à un réchauffement rapide des eaux de surface, mais également à des pressions côtières intenses : pollution domestique et industrielle, apports terrigènes liés à la déforestation massive, turbidité élevée, pratiques de pêche destructrices et absence de gestion intégrée des zones côtières.

Malgré cette vulnérabilité apparente, les connaissances scientifiques sur les récifs haïtiens demeurent limitées. On connaît encore mal les seuils de tolérance des coraux locaux, leur sensibilité aux stress climatiques et environnementaux, ainsi que leur capacité réelle de résistance et de récupération. Cette lacune scientifique constitue un obstacle majeur à la mise en place de stratégies efficaces de conservation et de gestion durable.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette recherche doctorale, qui vise à mieux comprendre la résilience des récifs coralliens d'Haïti à travers l'étude des coraux massifs, véritables archives naturelles du climat et de l'environnement.

Cadre théorique et méthodologique

Les coraux massifs : des archives naturelles à haute résolution

Les coraux massifs, tels que *Diploria*, *Orbicella* ou *Siderastrea*, construisent leur squelette calcaire par couches successives annuelles, à la manière des cernes de croissance des arbres. Chaque année, ils enregistrent dans leur squelette des informations précieuses sur les conditions environnementales qu'ils ont traversées : température de l'eau, disponibilité des nutriments, turbidité, stress thermiques ou épisodes extrêmes.

Grâce à des techniques comme la sclérochronologie (étude des bandes de croissance) et la densitométrie (mesure de la densité squelettique), il est possible de reconstituer l'histoire de la croissance des coraux sur plusieurs décennies, voire plusieurs siècles. Ces archives naturelles offrent une vision unique et à haute résolution temporelle de la réponse des coraux aux changements environnementaux et climatiques.

Le concept de résilience : une approche multidimensionnelle

La résilience d'un récif corallien ne se limite pas à sa capacité à survivre à un stress ponctuel. Elle repose sur plusieurs dimensions complémentaires qui permettent d'appréhender la dynamique de réponse des coraux face aux perturbations (Elmqvist et al., 2003) :

- **La résistance** : correspond à la capacité du corail à maintenir ses performances physiologiques malgré le stress.
- **La récupération** : mesure la capacité du corail à retrouver ses performances initiales après la perturbation.
- **La résilience** : intègre à la fois la résistance et la récupération, offrant une vision globale de la capacité adaptative.

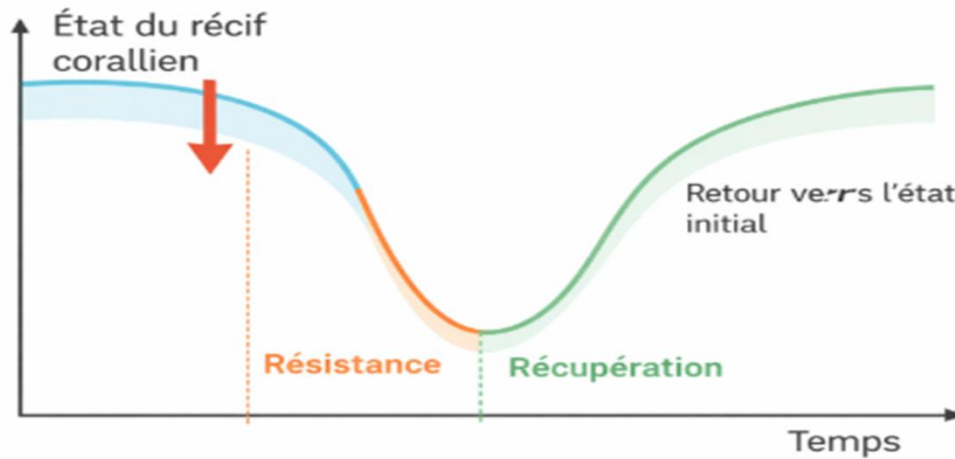


Fig.2. Illustration de la résilience corallienne à partir de la résistance et la récupération

Dans cette recherche, ces concepts sont quantifiés à partir de trois paramètres clés de la croissance corallienne : l'extension linéaire (croissance en longueur), la densité squelettique et la calcification (combinaison de l'extension et de la densité).

Méthodologie intégrée

Pour analyser la résilience des coraux massifs d'Haïti, cette étude adopte une approche intégrée combinant :

- Une revue spatiale à différentes échelles géographiques ;
- L'analyse des principaux indices climatiques (ENSO, NAO, AMO et anomalies de température de surface de la mer) ;
- Des techniques de sclérochronologie et de densitométrie permettant de quantifier l'extension, la densité et la calcification coralliennes ;
- Le croisement de ces données avec des variables environnementales locales telles que la turbidité, la visibilité sous-marine et la nébulosité.

Les séries temporelles ainsi obtenues permettent d'identifier les phases de stress, de résistance et de récupération, ainsi que la dynamique de croissance des coraux à court et long terme.

Site d'Echantillonnage et échantillonnage

Quatre échantillons de coraux massifs ont été analysés dans cette étude, provenant de trois sites côtiers distincts d'Haïti : Belloc-Léogâne, AP3B-Caracol et le Parc National Naturel du Lagon des Huîtres (PNN-LdH) à Belle-Anse. Deux échantillons appartiennent au genre *Siderastrea* et ont été prélevés à Belloc-Léogâne (B10 et B82), tandis que deux échantillons du genre *Diploria* proviennent respectivement des sites AP3B-Caracol (NE2) et PNN-LdH-Belle-Anse (SE1).



Fig.3. Localisation des sites d'échantillonnage des coraux au niveau d'Haiti

Les longueurs des échantillons varient de 16,6 à 45,4 cm et leurs épaisseurs de 0,8 à 1,5 cm, fournissant un matériel adéquat pour la réalisation d'analyses sclérochronologiques et densitométriques comparatives (voir tableau ci-dessous).

Table 1. Identification des échantillons de coraux

Ech	Espèces	Longueur (cm)	Epaisseur (cm)	Coordonnées	Dâte de collecte	Sites
B10	Siderastrea siderea	45.4	1.2	18° 28' 42.24" N 72° 40' 2.28" W	Mars 2010	Leogane
B82	Siderastrea sidera	36.6	0.9	18° 28' 42.24" N 72° 40' 2.28" W	Mars 2010	Leogane
NE2	Diploria labyrinthiformis	16.6	1.5	19°45'56.20"N 72° 3'11.00"W	Aout 2021	Caracol
SE1	Diploria labyrinthiformis	23.3	0.8	18° 12' 34.10''N 72° 1' 14.20''W	Décembre 2024	Belle-Anse

Analyse sclérochronologique et densitométrique

Pour examiner les structures internes du corail, les tranches de Diploria et Siderastrea ont été analysées par radiographie. L'imagerie a été réalisée au service d'IRM et d'imagerie de l'hôpital Hôpital Jean Verdier, en utilisant des paramètres d'exposition de 140 kV (kilovolts) et 2 mAs (milliampères-secondes). Ces réglages ont permis d'obtenir une image radiographique avec une résolution suffisante pour observer les fines structures squelettiques du corail.

Sur l'image radiographique ci desous (Fig.4), la tranche de corail présente des zones de densité variable, représentées par une gamme de niveaux de gris. Les zones les plus denses du squelette corallien, correspondant aux crêtes de croissance et aux parois entre les vallées des polypes, apparaissent plus claires (zones blanchâtres) en raison de leur plus grande capacité d'absorption des rayons X (Gonzalez & Wood, 2010).

À l'inverse, les régions moins denses, souvent situées dans les vallées entre les crêtes, apparaissent plus sombres (zones grisâtres) sur l'image radiographique. Ces zones traduisent

des périodes de croissance plus rapide, durant lesquelles le corail a probablement déposé du carbonate de calcium plus rapidement, possiblement sous des conditions environnementales optimales telles que des températures de surface modérées et une disponibilité adéquate en lumière et en nutriments (Anton & Rorres, 2010). Le logiciel ImageJ servira à quantifier les niveaux de gris, lesquels refléteront la densité apparente du squelette corallien.

Cette formule sera utilisée à défaut pour le calcul de l'extension linéaire : **Extension linéaire** : $D = \sqrt{(Y_2 - Y_1)^2 + (X_2 - X_1)^2}$ représentant les coordonnées de 2 points entre une bande sombre et une claire par : A (X_1, Y_1) et B (X_2, Y_2) (Anton & Rorres, 2010).

A partir de l'étalon de densité utilisé lors de la radiographie, une courbe d'étalonnage sera établie ($D_{\text{corail}} = a \cdot I + b$) afin de convertir les valeurs optiques (I) en densité physique réelle (g/cm^3) Carricart-Ganivet Juan P. & Barnes David J. (2007), Chalker Bruce E. & Barnes David J. (1990).

L'étalonnage des images radiographiques a été réalisé à l'aide de **cales d'aluminium** de référence, choisies pour leurs propriétés d'absorption des rayons X bien caractérisées. Quatre cales d'épaisseurs connues (0,0345 ; 0,0575 ; 0,092 et 0,115 cm) ont été radiographiées simultanément avec les échantillons de corail, dans des conditions identiques d'acquisition (140 kV, 2 mAs), afin de garantir la comparabilité des mesures (Carricart-Ganivet Juan P. & Barnes David J. (2007), Chalker Bruce E. & Barnes David J. (1990).

Pour chaque cale, les niveaux de gris correspondants ont été extraits, montrant une augmentation progressive de l'intensité en fonction de l'épaisseur, traduisant une absorption croissante des rayons X. Suivant les données préliminaires, Une régression linéaire a ensuite été établie entre l'épaisseur des cales et les niveaux de gris, aboutissant à l'équation d'étalonnage $Y = 224X + 5.96$ avec un coefficient de détermination élevé $R^2 = 0.99$ indiquant une excellente corrélation. Cette relation permet de convertir les niveaux de gris des radiographies en valeurs quantitatives, utilisées comme proxy de la densité du squelette corallien, et constitue ainsi une étape essentielle pour l'analyse densitométrique des bandes de croissance. Carricart-Ganivet Juan P. & Barnes David J. (2007), Chalker Bruce E. & Barnes David J. (1990).

Les niveaux de gris mesurés sur les bandes de croissance des coraux sont ensuite convertis en épaisseur équivalente d'aluminium à l'aide de cette relation de calibration. La densité squelettique du corail est finalement calculée en rapportant cette épaisseur équivalente à l'épaisseur réelle de l'échantillon, selon la relation (Carricart-Ganivet Juan P. & Barnes David J. (2007), :

$\rho_{\text{corail}} = \frac{(\rho_{\text{Al}} \times X_{\text{Al}})}{e_{\text{corail}}}$. Cette approche permet de transformer les informations radiographiques en mesures quantitatives de densité squelettique corallienne où :

- ρ_{corail} : densité physique du squelette du corail ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).
- ρ_{Al} : densité de référence de l'aluminium utilisé comme étalon ($\approx 2,70 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$).
- X_{Al} : épaisseur équivalente d'aluminium (cm) correspondant au niveau de gris mesuré sur l'image radiographique du corail, obtenue grâce à la relation de calibration entre niveaux de gris et aluminium.
- e_{corail} : épaisseur réelle de l'échantillon de corail (cm) mesurée physiquement avec une règle graduée.

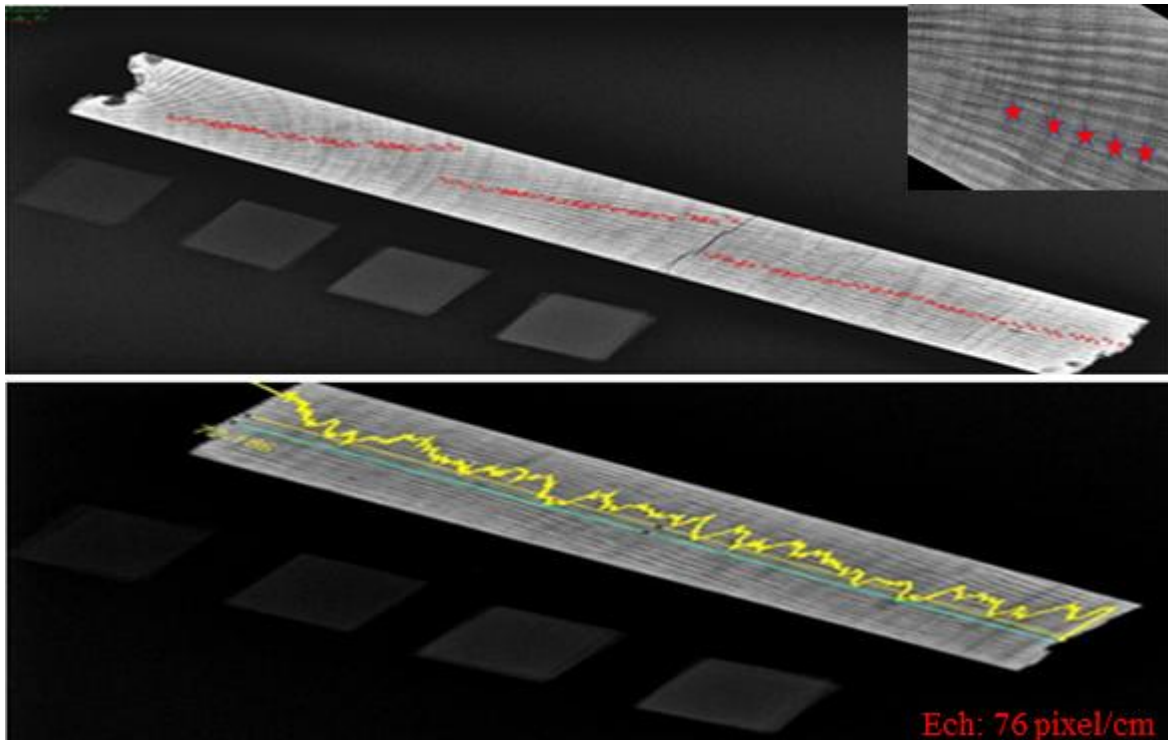


Fig.4. Analyse densitométrique d'une tranche de corail par radiographie(Rx) : extraction d'un transect le long de l'axe de croissance (bas → haut), profil des niveaux de gris (courbe jaune) et identification des bandes de densité, avec une résolution de 76 pixels/cm.

Quantification de la résilience

La résistance : capacité à maintenir les performances durant le stress

La résistance décrit la capacité d'un corail à maintenir ses fonctions physiologiques face à une perturbation sans s'effondrer. Concrètement, elle indique si le corail parvient à maintenir sa croissance (en longueur, en densité ou en calcification) pendant une période difficile, par exemple lors d'un réchauffement anormal de l'eau ou d'un cyclone. À l'inverse, un corail peu résistant verra rapidement ses performances chuter dès les premières perturbations.

Résistance = $\frac{P1}{P_0}$ (Hodgson et al. (2015) ; Lloret et al. 2011; Julia Schwarz, 2020).

où :

- **P0** : est la valeur du paramètre avant la perturbation, utilisée comme référence, considéré pour une période moyenne de 3 ans dans cette étude
- **P1** : est la valeur la plus basse atteinte pendant ou juste après la perturbation

La résistance constitue donc un indicateur clé de la vulnérabilité immédiate des coraux face aux stress environnementaux et climatiques.

La récupération : capacité à retrouver les performances initiales

La récupération correspond à la capacité du corail à retrouver ses performances normales après la fin du stress. Un corail peut avoir été fortement affecté pendant une période difficile, mais montrer ensuite une remarquable aptitude à se rétablir. Elle est traduite par la formule suivante :

Récupération = $\frac{P2}{P1}$ (Hodgson et al. (2015) ; Lloret et al. 2011; Julia Schwarz, 2020) où :

- **P1**: est la valeur la plus basse atteinte pendant ou juste après la perturbation

- **P2**: est la valeur du paramètre après la phase de récupération, mesurée à un temps t après le stress, considéré pour une période moyenne de 3 ans dans cette étude.

Chez les coraux, une bonne récupération se traduit par une reprise de la croissance, de la densité du squelette et de la calcification, signe que l'organisme a surmonté l'épisode de stress.

La résilience : un équilibre entre résistance et récupération

La résilience d'un paramètre de croissance (extension, densité ou calcification) combine ces deux dimensions essentielles : la capacité à résister et la capacité à récupérer. Elle se calcule par la formule suivante :

Résilience d'un paramètre (Extension linéaire (E) ou Calcification (G) ou Densité (D)) :

Res = Résistance x Récupération

La résilience globale : une vision intégrée de la santé du corail

La résilience globale du corail intègre l'ensemble de ses performances de croissance : la vitesse à laquelle il grandit (extension), la solidité de son squelette (densité) et sa capacité à produire du carbonate de calcium (calcification). Cette approche globale offre une lecture synthétique de l'état de santé du corail et de sa capacité à faire face aux changements climatiques et environnementaux. Elle est calculée par la formule ci-dessous :

$$\mathbf{IRc} = \frac{Res_E + Res_D + Res_G}{3} \quad (\text{Hodgson et al. (2015) ; Lloret et al. 2011; Julia Schwarz, 2020})$$

Où :

Res_E : résilience du taux d'extension

Res_D : résilience de la densité

Res_G : résilience du taux de calcification

Un corail à forte résilience globale est un corail qui résiste mieux aux stress, se rétablit plus rapidement et contribue durablement au maintien de la structure et des fonctions du récif.

Methodes alternatives pour étendre le calcul de la resiliance des coraux

Pour enrichir l'évaluation de la résilience des coraux au-delà des indicateurs classiques, il est pertinent d'intégrer des approches alternatives centrées sur la dynamique de croissance et de récupération. La réduction ou perte de croissance peut être quantifiée à partir des anomalies de densité et de calcification (issues de la sclérochronologie), en identifiant des phases de stress où les taux d'accroissement linéaire diminuent significativement. En parallèle, le taux de récupération constitue un indicateur clé : il mesure la capacité du corail à retrouver ses niveaux de croissance initiaux après une perturbation.(Schwarz,2020). Ces éléments seront calculés suivant les formules suivantes :

$$\text{Reduction moyenne de la croissance} = \frac{\text{Reduction totale de croissance}}{\text{temps de recuperation}}$$

$$\text{Taux de recuperation moyenne} = \frac{1 - \text{resistance}}{\text{temps de recuperation}}$$

Interprétation des indices de résilience

Les classes de résilience ont été définies à partir des quartiles de la distribution des indices de résilience globale afin de refléter la variabilité réelle des données.

Table 2 : Seuil statistique de classification de la résilience corallienne basé sur les quartiles de distribution

Élément d'analyse	Indication statistique	Classe de résilience	Interprétation écologique
Distribution des valeurs	Intervalle compris entre la valeur minimale et la valeur maximale observées	—	Représente l'amplitude totale de variation de la résilience dans l'étude
Minimum	Valeur la plus faible de la distribution	—	Correspond au niveau de résilience le plus faible observé
Quartile (Q1)	Seuil correspondant au premier quart de la distribution	Classe 1	Résilience faible – forte vulnérabilité aux perturbations environnementales
Médiane (Q2)	Valeur centrale de la distribution	Classe 2	Résilience modérée – stabilité écologique fragile
Quartile (Q3)	Seuil correspondant aux trois quarts de la distribution	Classe 3	Résilience élevée – bonne capacité d'adaptation
Maximum	Valeur la plus élevée de la distribution	Classe 4	Résilience très élevée – forte résistance et récupération

Importance des indices de résilience pour Haïti

Dans le contexte haïtien, où les récifs subissent à la fois des pressions climatiques globales et des impacts locaux intenses, ces indices constituent de véritables outils d'aide à la décision. Ils permettent d'identifier :

- Les récifs les plus robustes à protéger en priorité ;
- Ceux nécessitant des actions de restauration écologique ;
- Les zones où la réduction des pressions anthropiques est la plus urgente.

Quantifier la résilience des coraux haïtiens permet donc de mieux comprendre leurs limites biologiques, mais aussi de révéler leur potentiel de survie face aux défis climatiques du XXI^e siècle. Ces indices permettent également de comparer les performances temporelles des coraux et entre différentes zones récifales, et d'identifier les colonies ou les récifs les plus résilients.

Implications pour la gestion durable

Les résultats attendus de cette recherche vont bien au-delà de la compréhension scientifique. Ils fournissent des outils concrets pour :

- Identifier les récifs ou espèces les plus résistants aux stress environnementaux ;
- Détecter les seuils critiques de vulnérabilité ;
- Orienter les actions de restauration et de conservation ;
- Appuyer la mise en place de stratégies de gestion durable adaptées au contexte haïtien.

Dans un pays où les récifs jouent un rôle fondamental pour la sécurité alimentaire, la protection côtière et les moyens de subsistance des communautés littorales, comprendre la résilience des coraux constitue une étape essentielle pour anticiper les impacts du changement climatique et renforcer l'adaptation des socio-écosystèmes côtiers.

Etats actuels des récifs coralliens Haïtiens

Les récifs coralliens d'Haïti présentent aujourd'hui une couverture corallienne relativement faible, reflétant un état de santé dégradé par rapport à d'autres régions des Caraïbes. Sur la majorité des sites étudiés, la proportion de corail vivant se situe entre 5 % et 15 %, bien en dessous de la moyenne caribéenne (~25 %). Certaines zones isolées peuvent atteindre jusqu'à 70 %, mais elles restent rares et localisées. Cette faible couverture corallienne est le résultat combiné de pressions anthropiques et environnementales, notamment la surpêche, la pollution côtière et les apports sédimentaires, qui réduisent la résilience naturelle des récifs. (Underwater Earth, 2020).

Le taux de dégradation des récifs haïtiens est également préoccupant. La surpêche des poissons herbivores, la pollution et l'érosion terrestre favorisent l'expansion des algues qui concurrencent le corail, tandis que les épisodes récents de blanchissement liés au réchauffement climatique aggravent le stress corallien. Globalement, ces facteurs combinés entraînent une perte progressive mais continue de corail vivant, avec des récifs qui peinent à se régénérer naturellement. Comparés aux récifs caribéens, ceux d'Haïti sont parmi les plus dégradés, nécessitant des mesures de conservation et de gestion durable urgentes. (Haiti Ocean Project, 2023).

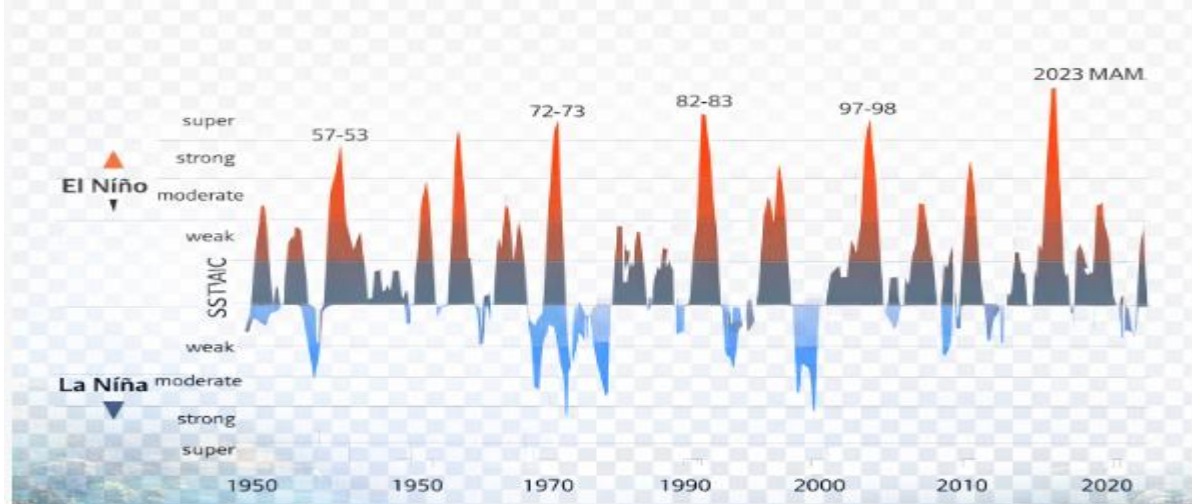
Evolution des SST autour d'Haïti

Selon le Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN, 2025), les températures de surface de la mer (SST) autour d'Haïti montrent une tendance au réchauffement continu depuis les années 1980. Les relevés historiques indiquent que la SST moyenne annuelle était d'environ 28,18 °C en 1985 et a augmenté pour atteindre environ 29,1 °C en 2024, soit une augmentation totale d'environ 0,92 °C sur 40 ans. Cette hausse correspond à un taux moyen de réchauffement d'environ 0,024 °C par an, ou 0,24 °C par décennie, ce qui est cohérent avec la tendance générale observée dans les eaux tropicales de la Caraïbe. La variation saisonnière reste importante, avec des SST plus basses en hiver (~25–26 °C) et des pics estivaux autour de 29–30 °C. Ces conditions augmentent la probabilité d'épisodes de stress thermique et de blanchissement pour les coraux, en particulier durant les vagues de chaleur marine.

Variabilité climatique et indices d'ENSO influençant les écosystèmes coralliens d'Haïti

La série des indices ENSO depuis 1950 met en évidence une alternance marquée de phases **El Niño** (valeurs positives) et **La Niña** (valeurs négatives), entrecoupées de périodes neutres, traduisant une forte variabilité interannuelle du système climatique (Fig. 5). Les oscillations se produisent généralement tous les 2 à 7 ans, avec des amplitudes variables allant d'événements faibles à des épisodes extrêmes. Plusieurs événements El Niño intenses sont observés, notamment en 1957–1958, 1972–1973, 1982–1983, 1997–1998, ainsi que le récent épisode de 2023, tandis que des phases La Niña marquées apparaissent autour des années 1973–1975, 1988–1989, 1999–2000, 2007–2008 et 2010–2011. La série révèle également des transitions rapides entre phases opposées, illustrant la variabilité intra-annuelle du phénomène. Certaines périodes présentent des conditions neutres prolongées, caractérisées par des indices proches de zéro. Dans l'ensemble, cette série souligne le rôle majeur de l'ENSO comme moteur de la variabilité climatique globale, influençant fortement les températures de surface de la mer, les

régimes de précipitations et les écosystèmes marins



Fi.5. Graphique montrant l'évolution historique des événements **El Niño (rouge)** et **La Niña (bleu)** depuis 1950, en indiquant leur intensité (faible, modérée, forte, super) à partir des anomalies de température de surface de la mer (<https://www.cyclonextreme.com/meteorologieelnino.htm>)

Blanchissement massif lié aux vagues de chaleurs marines

Depuis début 1993, une série de vague de chaleur marine a commencée à blanchir les coraux dont la plus récente en 2023 a exceptionnellement provoqué un quatrième épisode de blanchissement corallien à l'échelle mondiale, le plus intense jamais enregistré : environ 84 % des récifs coralliens mondiaux ont été exposés à un stress thermique suffisant pour provoquer un blanchissement entre 2023 et 2025. Cet épisode touche aussi les eaux tropicales de la Caraïbe, dont celles entourant Haïti, même si les données locales précises sont rares. Ce phénomène est directement lié à des températures de surface de la mer (SST) exceptionnellement élevées attribuées au réchauffement climatique (NOAA CORIS, 2025).



Fig.6. Cartographie mondiale du blanchissement des coraux et niveaux de stress thermique depuis 1993 reefbase.org (NOAA, 2024).

Des études menées sur les récifs du nord de la Caraïbe (incluant Haïti) ont documenté des épisodes de blanchissement liés à des températures anormalement élevées lors d'un été très

chaud (par exemple, 2005). Les résultats montrent que les coraux de la région sont sensibles à des stress thermiques prolongés, bien que l'impact exact varie d'un site à l'autre (NOAA CORIS, 2005).

Estimation du nombre de personnes dépendantes des récifs

En Haïti, les ressources côtières notamment les récifs coralliens constituent une source primaire de revenus alimentaires et économiques pour les communautés littorales. On estime qu'environ 67 000 pêcheurs haïtiens et leurs familles tirent directement leur subsistance de la pêche dans les zones côtières, avec une grande partie de ces activités liée aux récifs coralliens (pêche de poissons et invertébrés associés aux récifs) ; ces communautés dépendent donc directement des services écosystémiques fournis par les récifs pour leur sécurité alimentaire et leurs moyens de subsistance dans un contexte où les autres formes de pêche ou d'aquaculture sont limitées (David G. et al., 2021).

Valeur économique estimée des services écosystémiques des récifs coralliens en Haïti

Une évaluation publiée d'après Wiener, J. (2013) a estimé la valeur totale des services écosystémiques fournis par certains sites combinés de récifs coralliens et mangroves en Haïti à environ 9 572 460 000 USD par an. Cette estimation inclut notamment les services de pêche, la protection côtière, l'habitat pour la biodiversité et d'autres avantages indirects pour les moyens de subsistance locaux dans les zones évaluées des récifs haïtiens. Ce chiffre d'environ 9,6 milliards USD/an représente la valeur monétaire combinée des services rendus par les récifs et mangroves dans ces sites spécifiques, ce qui met en évidence l'importance économique substantielle de ces écosystèmes pour la société haïtienne et les économies locales littorales.

Impacts socio-économiques de la dégradation des récifs coralliens

Impact sur la pêche artisanale et la sécurité alimentaire

La dégradation des récifs coralliens entraîne une diminution de la biodiversité et de l'abondance des poissons, ce qui affecte directement les pêcheurs artisanaux et leurs familles. En Haïti, la pêche côtière dépend fortement des récifs pour la capture d'espèces commerciales comme les mérours, les labres et les poissons-perroquets. La perte de couverture corallienne et la dégradation des habitats réduisent les captures, diminuant les revenus des pêcheurs et compromettant la sécurité alimentaire locale, particulièrement dans les communautés qui dépendent presque exclusivement de la pêche pour leur subsistance.

Réduction des bénéfices liés au tourisme côtier

Les récifs coralliens attirent les touristes pour la plongée, le snorkeling et l'écotourisme marin. La dégradation des récifs, visible par le blanchissement ou la disparition des coraux, diminue l'attrait touristique des zones côtières. En Haïti, certaines destinations comme la baie de Jacmel ou les sites autour de Labadee ont connu des pertes potentielles de revenus touristiques liés à la détérioration des récifs. Cela impacte non seulement les opérateurs touristiques directs, mais également les hôtels, restaurants et artisans locaux, qui tirent une part significative de leur revenu du tourisme lié aux récifs.

Augmentation de la vulnérabilité côtière et des coûts liés à la protection des infrastructures

Les récifs coralliens jouent un rôle crucial dans la protection des côtes contre l'érosion, les vagues et les tempêtes. Leur dégradation réduit cette capacité tampon naturelle, augmentant la vulnérabilité des villages côtiers, des ports et des routes côtières. En Haïti, où les communautés littorales sont souvent densément peuplées et les infrastructures précaires, la perte de récifs peut entraîner des coûts économiques directs accrus pour la réparation ou le renforcement des

infrastructures, ainsi que des pertes agricoles et résidentielles lors de fortes tempêtes ou ouragans.

Conclusion

Face aux changements climatiques et aux pressions locales croissantes, les récifs coralliens d'Haïti se trouvent à un tournant critique. Cette recherche contribuera à combler un vide scientifique important en apportant une compréhension approfondie des mécanismes de sensibilité, de résistance, de récupération et de résilience des coraux massifs.

Même si les causes du blanchissement échappent en grande partie au contrôle local, les gestionnaires de récifs peuvent renforcer la résilience des coraux en anticipant et en réagissant aux épisodes de stress thermique. Les résultats de notre étude soulignent que des interventions ciblées et des mesures de gestion adaptées peuvent limiter la gravité du blanchissement et soutenir le rétablissement des colonies. Un plan d'intervention structuré, fondé sur des indicateurs de vulnérabilité et de résilience, constitue ainsi un outil clé pour orienter ces actions et améliorer la capacité des récifs à résister aux perturbations climatiques. Dans un contexte de changement global, l'élaboration de tels plans de gestion nécessite également l'intégration de projections climatiques afin d'anticiper l'évolution des conditions environnementales futures. En fournissant des données sur la résilience des coraux, notamment leur capacité de croissance essentielle à la création et à l'agrandissement des habitats coralliens, cette étude apporte des éléments opérationnels pour appuyer la planification et la mise en œuvre de stratégies de gestion adaptative.

En révélant comment les coraux haïtiens réagissent aux stress environnementaux et climatiques, cette étude ouvre la voie à des actions de gestion plus ciblées, fondées sur des données scientifiques robustes et adaptées aux réalités locales. L'analyse de la croissance et de la densité squelettique constitue, à cet égard, un apport essentiel, car ces paramètres intègrent directement les conditions environnementales passées et reflètent la capacité des coraux à construire et maintenir leurs structures récifales. Contrairement à d'autres indicateurs ponctuels, ils agissent comme de véritables archives biologiques, enregistrant dans le temps les événements climatiques (stress thermique, anomalies environnementales) et leurs impacts sur les organismes. Cette mémoire intégrée permet non seulement de reconstituer l'histoire des perturbations, mais aussi d'évaluer la résilience et le potentiel de récupération des récifs. Préserver la résilience des récifs, c'est donc aussi préserver leur capacité de croissance et de construction d'habitats, essentielle au maintien des écosystèmes marins et à l'avenir des communautés côtières, tout en protégeant la richesse naturelle exceptionnelle d'Haïti.

Références bibliographiques

- Burke, L., Reytar, K., Spalding, M., & Perry, A. (2011). *Reefs at risk revisited*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Carricart-Ganivet, J. P., & Barnes, D. J. (2007). Densitometry from digitized images of X-radiographs: Methodology for measurement of coral skeletal density. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 344(1), 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.12.020>
- Chalker, B. E., & Barnes, D. J. (1990). Gamma densitometry for the measurement of coral skeletal density. *Coral Reefs*, 9(1), 11–23. <https://doi.org/10.1007/BF00686717>

- David, G., et al. (2021). *La pêche artisanale en Haïti / Small-scale fisheries in Haiti*. IRD Éditions.
- Eakin, C. M., Morgan, J. A., Heron, S. F., Smith, T. B., Liu, G., Alvarez-Filip, L., ... Quinn, N. (2010). Caribbean corals in crisis: Record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005. *PLoS ONE*, 5(11), e13969. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013969>
- Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(9), 488–494.
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., ... Zhou, G. (2018). Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. In *Global warming of 1.5°C (IPCC Special Report)*.
- Hughes, T. P., Kerry, J. T., Álvarez-Noriega, M., Álvarez-Romero, J. G., Anderson, K. D., Baird, A. H., ... Wilson, S. K. (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543, 373–377. <https://doi.org/10.1038/nature21707>
- Hughes, T. P., Anderson, K. D., Connolly, S. R., Heron, S. F., Kerry, J. T., Lough, J. M., ... Torda, G. (2018). Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science*, 359, 80–83. <https://doi.org/10.1126/science.aan8048>
- Jackson, J. B. C., Donovan, M. K., Cramer, K. L., & Lam, V. V. (2014). *Status and trends of Caribbean coral reefs: 1970–2012*. Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN), IUCN.
- McClanahan, T. R., Maina, J., & Ateweberhan, M. (2015). Relationships between bleaching severity and coral mortality: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 21(8), 286–304.
- McClanahan, T. R., Darling, E. S., Maina, J. M., Muthiga, N. A., D'Agata, S., Leblond, J., ... Jupiter, S. D. (2019). Reef trait responses to recent warming are predicting future climate change impacts. *Nature Climate Change*, 9, 617–624. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0506-8>
- Moberg, F., & Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29, 215–233.
- NOAA Coral Reef Information System (CORIS). (2025). *Coral reef environmental data and monitoring products*. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://coris.noaa.gov/>
- Pisapia, C., Pratchett, M. S., & Anderson, K. D. (2019). Intraspecific variation in physiological and reproductive resilience to bleaching in corals. *Coral Reefs*, 38(5), 1085–1097.
- Schwarz, P. A. (2020). Tree growth resilience to climate stress inferred from radial growth patterns. *Global Change Biology*, 26(5), 2890–2902.
- Spalding, M. D., Ravilious, C., & Green, E. P. (2001). *World atlas of coral reefs*. University of California Press.
- Wicquart, J., Mathon, L., Petit, A., Rivera-Sosa, A., & McField, M. (Eds.). (2025). *Status and trends of Caribbean coral reefs: 1970–2024*. Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN) & International Coral Reef Initiative (ICRI). <https://doi.org/10.59387/BDHF9180>
- Wiener, J. (2013). *Toward the development of Haiti's system of marine protected areas (MPAs): An ecosystem services assessment*.

Wilkinson, C. (2000). *Status of coral reefs of the world: 2000*. Australian Institute of Marine Science.

Wilkinson, C., & Souter, D. (2007). *Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005*. Global Coral Reef Monitoring Network.

Wilkinson, C., & Souter, D. (2008). *Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005*. Global Coral Reef Monitoring Network & Reef and Rainforest Research Centre.

Citation :

Moramade Blanc, Evens Emmanuel et Franck Lartaud (2026). Vers la quantification de la résilience des coraux massifs d'Haïti à partir des indicateurs sclérochronologiques. InfosNation-Espace Sciences et Société le 16 avril 2026. <https://infosnation.com/vers-la-quantification-de-la-resilience-des-coraux-massifs-dhaiti-a-partir-des-indicateurs-sclerochronologiques/>