
RÉSUMÉ EXECUTIF

JEREMY JACKSON

“L’aspect sans doute le plus frappant de la vie végétale sur un récif corallien en est son absence. Il semble anormal, même à l’observateur non-initié, que les récifs tropicaux, remarquables par leur profusion éblouissante de vie animale, soient ostensiblement dépourvus de plantes.”

Sylvia Earle, 1972

INTRODUCTION

Les remarques initiales de Sylvia Earle sur les récifs coralliens des Caraïbes témoignent d’un monde maintenant oublié. Les récifs coralliens des Caraïbes ont vu leur nombre décliner massivement depuis le début des années 1980 en raison d’un large éventail d’impacts d’origine anthropique tels que l’explosion de la croissance des populations côtières, la surpêche, la pollution côtière, le réchauffement climatique et les espèces envahissantes. Les conséquences de ces impacts incluent l’effondrement généralisé des populations de coraux au profit de macroalgues qui prospèrent, l’essor d’événements de blanchissement ou de maladies des coraux, et l’incapacité des coraux à se remettre de perturbations naturelles telles que les cyclones.

La sonnette d’alarme a été tirée en 2003, lorsqu’un article paru dans la revue *Science* annonça que le recouvrement de coraux vivants avait décliné de d’une moyenne de 50% dans les années 1970 à seulement 10% de nos jours. Ce déclin spectaculaire fut suivi de près par des événements de blanchissement sévères et généralisés en 2005, suivis à leur tour par une mortalité en masse de coraux due à des maladies affectant de nombreux récifs dans la région. Des coraux en bonne santé sont un tableau de plus en plus rare dans les récifs intensément étudiés des Keys de Floride, des Iles Vierges et de la Jamaïque. En outre, deux des espèces coralliennes autrefois

abondantes, le corail corne d’élan *Acropora palmata* et le corail corne de cerf *Acorpora cervicornis* ont été ajoutées à la Liste des Espèces Menacées des Etats-Unis. Les préoccupations ont été telles que de nombreuses ONG ont décidé d’abandonner leurs efforts pour préserver les récifs des Caraïbes et de les déplacer ailleurs.

C’est dans ce contexte peu encourageant que cette étude a été conduite, dans le but d’évaluer de façon rigoureuse l’étendue des dommages subis par les écosystèmes récifaux dans la Grande Région Caraïbe et d’en déterminer les facteurs responsables. Divers rapports ont suggéré que les récifs de la partie sud des Caraïbes sont en meilleure condition écologique qu’ailleurs, tant par leur couverture corallienne que par le nombre de poissons qui y résident. Si cela est vrai, comprendre pourquoi certains récifs sont en meilleure condition que d’autres pourrait être le premier pas décisif d’une gestion plus efficace, permettant d’améliorer la condition des récifs coralliens dans toute la région Caraïbe.

STRATEGIE ET PORTÉE DU PRÉSENT RAPPORT

Les évaluations caribéennes précédentes avaient analysé les différentes données conjointement, indépendamment de critères les différenciant tels que leur emplacement géographique, l’environnement récifal, la profondeur, les conditions

océanographiques etc. Les données provenant de stations lagunaires peu profondes avaient été combinées avec des données provenant de stations de pente externe et d'atolls profonds. La couverture géographique de ces données était inégale, représentant avant tout les sites les plus étudiés, aux données facilement accessibles. Seul le recouvrement corallien total avait été pris en compte, sans tenter de discerner les différences entre espèces de coraux. Aucune tentative n'avait été faite non plus d'intégrer les données existantes sur les macroalgues, les oursins de mer et les poissons, dont l'importance des interactions écologiques avec les coraux est pourtant bien connue.

Nous avons tenté de remédier à ces problèmes de méthode en analysant de façon détaillée l'état et les tendances des communautés récifales sur des sites distincts de toute la Grande Région Caraïbe. Nous avons également compilé des métadonnées essentielles sur la nature de l'environnement récifal, sa profondeur, ainsi que sur l'histoire de la croissance de la population humaine, la pêche, les cyclones, les événements de blanchissement, et les maladies coralliennes pour chaque site. La qualité des informations biologiques varie en fonction des sites, mais des données ont été obtenues dans la mesure du possible sur le recouvrement corallien et de macroalgues, ainsi que sur l'abondance des oursins *Diadema antillarum* (dont le rôle de régulation des communautés algales est déterminant) et la biomasse de poissons, dont le plus important est le poisson-perroquet herbivore.

La majeure partie des données quantitatives des récifs caribéens est inédite ou enfouie dans la littérature grise et les rapports gouvernementaux. Afin d'obtenir ces données, nous avons contacté des centaines de personnes dans tous les pays des Caraïbes par le biais de milliers de courriels, de demandes de données publiées sur des sites internet et de présentations et d'entretiens lors de conférences internationales. Nous avons également correspondu avec les gestionnaires de grands programmes de surveillance de la région. Au final, nous avons réussi à obtenir des données sur les coraux, les macroalgues, les oursins et les poissons provenant de plus de 35000 études quantitatives de 1969 à 2012. Ceci constitue la plus grande quantité de données quantitatives

coralliennes jamais compilée, surpassant plusieurs fois celles utilisées auparavant pour ce genre d'étude.

Les données sont réparties sur 90 sites récifaux dans 34 pays (Fig. 1). La majeure partie de ces données provient d'environnements de pente externe et de pâtés coralliens, à des profondeurs allant de 1 à 20 mètres : ils font donc l'objet principal de cette étude. Les données historiques sont rares jusqu'à la mortalité massive de l'oursin autrefois ubiquiste, *Diadema antillarum*, en 1983-84, qui marqua le début de plusieurs programmes de suivi. Les données coralliennes sont prépondérantes, allant de 1970 à aujourd'hui. Les données *Diadema* sont plus limitées car très peu ont été collectées avant que leur mortalité en masse ne réduise leur abondance à néant et que les scientifiques ne réalisent qu'ils étaient perdus. Les données pour les macroalgues sont les plus problématiques du fait du côté aléatoire de leur suivi et taxonomie, et de ce fait, le plus gros des données a dû être retiré de notre analyse. Les données quantitatives pour la taille et l'abondance des poissons coralliens, nécessaires à l'estimation de la biomasse de poissons, n'ont pas pu être obtenues avant 1989 ; mais elles sont riches par la suite.

Les plus longues séries temporelles pour un même récif proviennent de larges quadrats photographiques de 1973 à nos jours pour des stations fixes à Curaçao et Bonaire, avec des séries temporelles plus récentes sur les mêmes îles à partir des années 1990. Des séries temporelles comparables, remontant du début des années 1970 au début des années 1980, sont disponibles pour les Keys de Floride du nord, la Jamaïque, St John et St Croix dans les îles vierges américaines, et Panama. Toutefois, ces données ont été relevées par différents individus à des périodes différentes, et ne sont ainsi pas aussi cohérentes ou parachevées que les données des Caraïbes néerlandaises.

L'intensité de l'échantillonnage varie fortement en termes de temps et d'espace. Nous avons donc segmenté les données en trois intervalles temporels de 12-14 ans, chacun reflétant les événements écologiques majeurs qu'a vécus la région Caraïbe dans cet espace de temps. Ils sont les suivants:

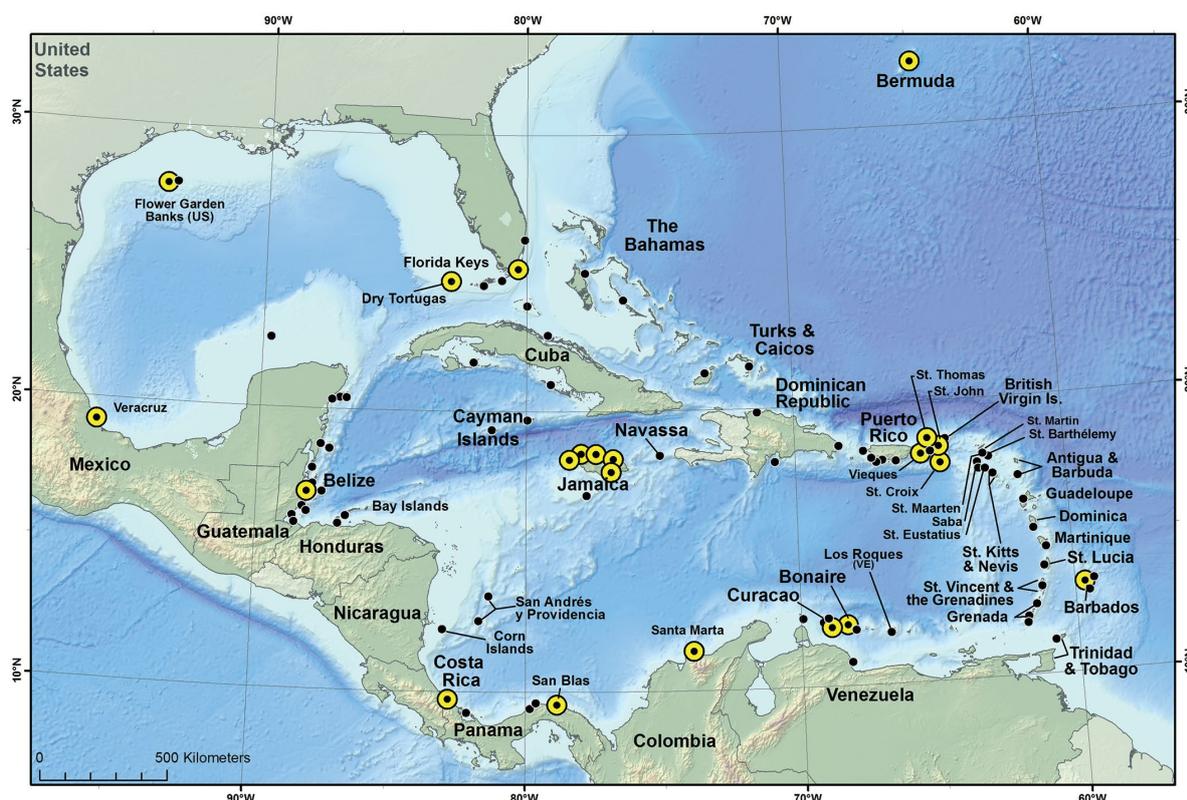


FIGURE 1. Répartition des 90 sites récifaux analysés pour cette étude. Les cercles jaunes indiquent les 21 sites ayant les plus longues séries temporelles pour l'analyse des tendances à long terme de la couverture corallienne.

1. 1970-1983: Intervalle allant des données les plus anciennes jusqu'à la mortalité en masse des oursins autrefois abondants *Diadema antillarum* en 1983 (inclue), comprenant les premiers signalements de maladie de la bande blanche du milieu des années 1970 au début des années 1980.
2. 1984-1998: Depuis juste après l'expiration des *Diadema* jusqu'aux événements de réchauffement extrêmes de 1998.
3. 1999-2011: L'ère moderne de récifs coralliens sévèrement dégradés.

GRANDES LIGNES DE CHANGEMENT DE 1970 À 2012

La couverture corallienne moyenne pour la Grande Région Caraïbe, si on se fonde sur les données les plus récentes des sites surveillés, est de 16.8% (allant de 2.8 à 53.1%). Prendre en compte la grande variation entre les sites et les fichiers de données réduit cependant cette estimation à 14.3% (+2.0, -1.8). Même cette moyenne établie de façon plus rigoureuse est 43% plus

élevée que l'estimation régionale de 2003 de 10% de recouvrement. Néanmoins, la couverture corallienne a décliné dans les trois quarts des sites, avec les plus grandes pertes enregistrées sur les sites surveillés depuis le plus longtemps.

La couverture corallienne moyenne pour les 88 sites pour lesquels nous avons des données a décliné de 34.8%, à 19.1%, à 16.3% lors des trois intervalles, avec une grande disparité entre les sites. A l'opposé, la couverture de macroalgues a augmenté de 7% à 23.6% entre 1984 et 1998, restant stable avec une disparité encore plus grande entre les sites depuis 1984. Les évolutions ont été similaires pour les 21 sites pour lesquels nous avons des données pour les trois intervalles de temps, encerclés dans la Fig. 1. Ces tendances opposées de couvertures coralliennes et macroalgales constituent une permutation importante et persistante de communautés dominées par les coraux à des communautés dominées par des macroalgues, et ce depuis maintenant 25 ans (Figs.2 et 3). Cette propension est réitérée par les analyses d'ordination de composition de communautés benthiques.

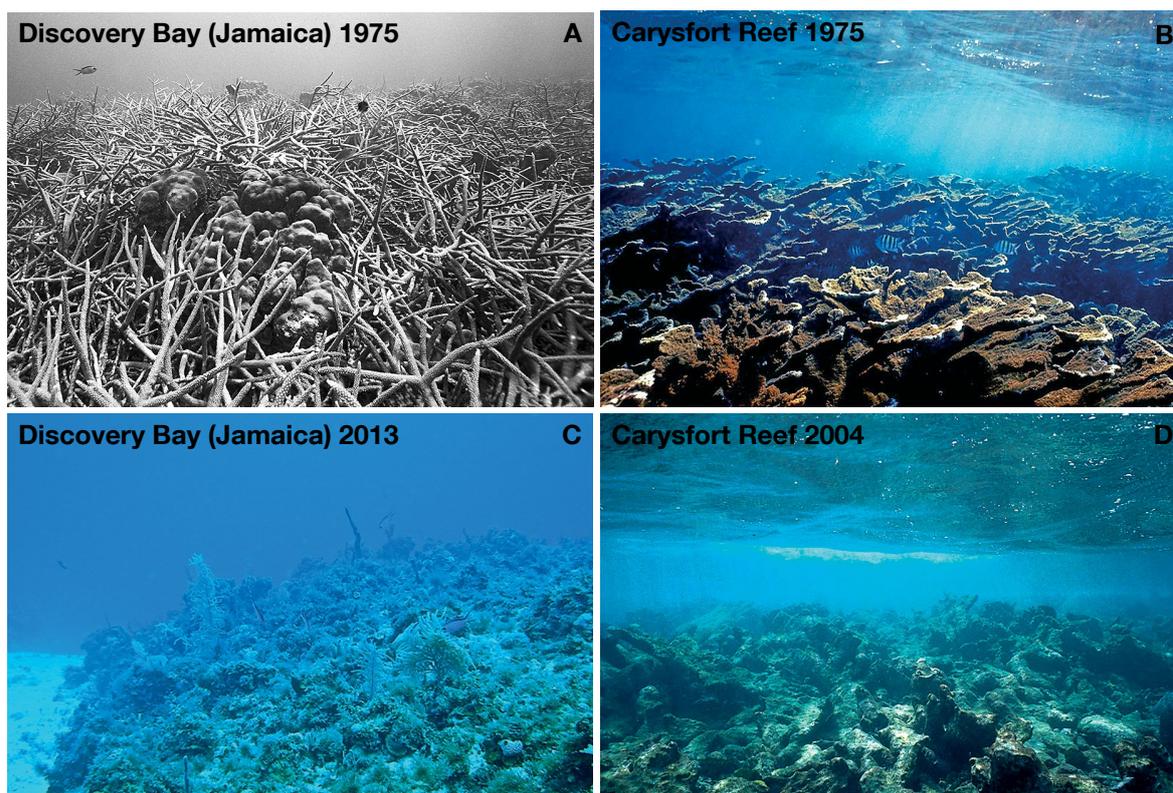


FIGURE 2. Permutation d'une dominance corallienne à une dominance macroalgale sur les récifs de pente externe peu profonds des Keys de Floride du nord et de la côte nord de la Jamaïque. (A) Discovery Bay, Jamaïque en 1975 et (C) au même endroit en 2013. (B) Récif de Carysfort, au sein du Sanctuaire National Marin des Keys de Floride en 1975 et (D) en 2004 (Photos : Phillip Dustan).

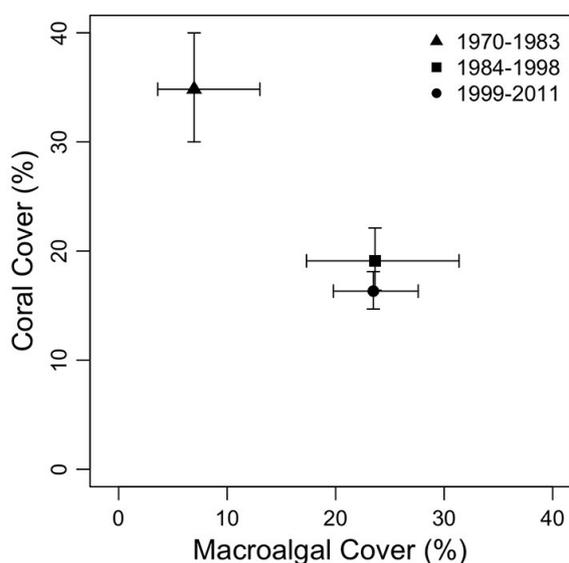


FIGURE 3. Permutations à grande échelle de communautés dominées par les coraux à des communautés dominées par des macroalgues depuis le début des années 1970. Les symboles et les intervalles de confiance représentent les moyennes et écarts-types des trois intervalles de temps, selon un cadre de modélisation mixte prenant en compte la variabilité inhérente aux différents lieux et fichiers de données obtenus.

Les plus grandes mutations dans la couverture corallienne et macroalgale se sont produites entre 1984 et 1998, après quoi il y a eu peu de changement sur la grande majorité des sites, à l'exception de localités particulièrement affectées par les événements de réchauffement extrêmes de 2005 et 2010. Ceci s'applique également aux *Acropora* corne d'élan et corne de cerf, autrefois abondants, qui ont commencé à décliner dans les années 1960 ; à la mortalité en masse des oursins *Diadema antillarum* en 1983-84 ; et à la surpêche de larges poissons-perroquets dans la plupart des sites du début à la moitié du XX^{ème} siècle. Ainsi, les changements les plus importants et préjudiciables des récifs caribéens se sont-ils produits bien avant que la plupart des experts scientifiques et gestionnaires aient commencé à travailler sur les récifs : un exemple classique du syndrome du changement de référence (*shifting baseline syndrome* en anglais) et un implacable rappel que les problèmes d'aujourd'hui sont seulement le chapitre le plus récent d'une histoire de déclin qui remonte à bien plus longtemps.

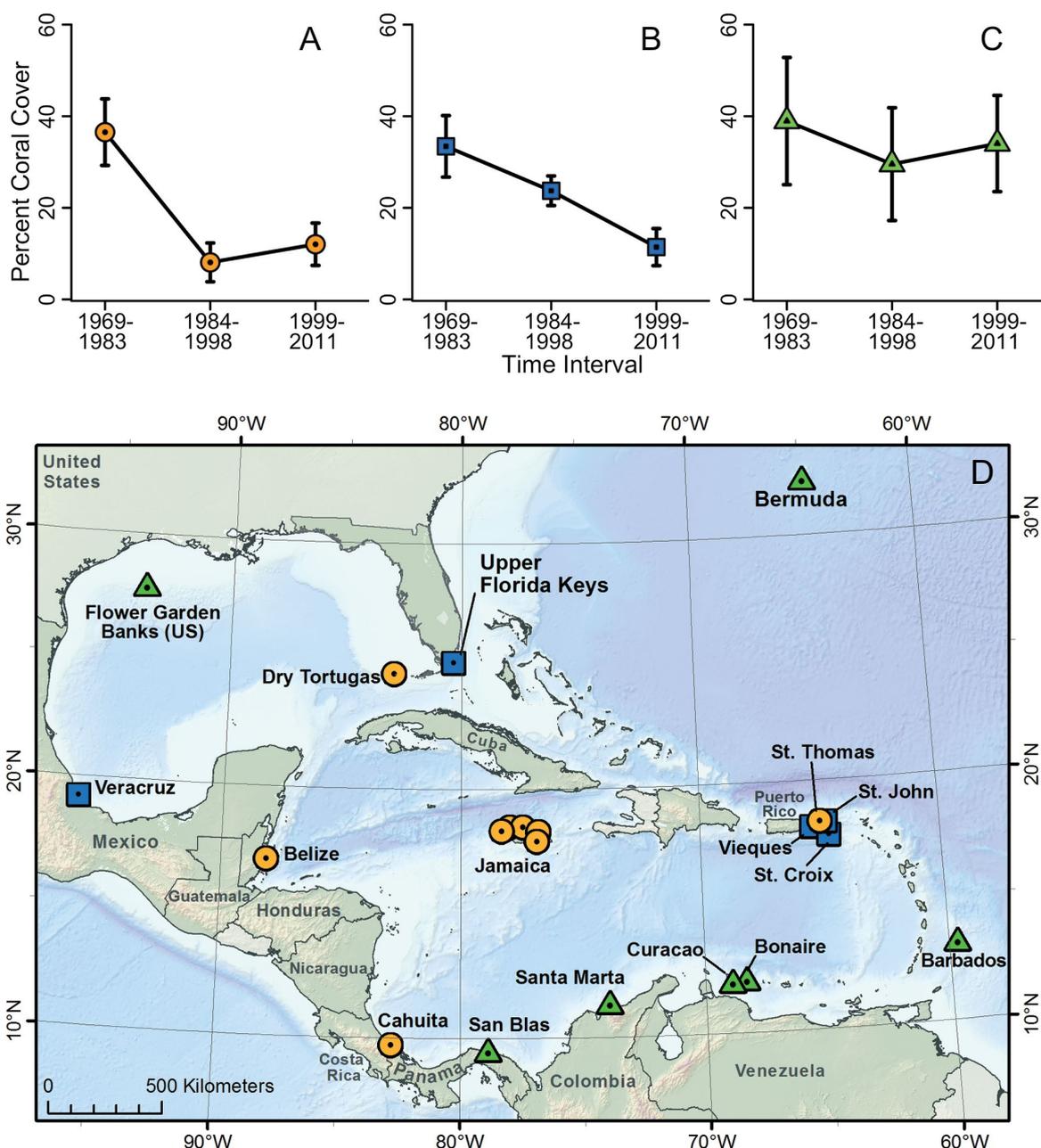


FIGURE 4. Trajets de changement de la couverture corallienne sur les 21 sites cartographiés, regroupés en fonction de la quantité totale de changement sur les trois intervalles de temps et du rythme de changement. (A) Trajectoire en ‘batte de hockey’ avec un déclin abrupt entre les deux premiers intervalles, suivi de peu ou d’aucun changement. (B) Déclin plus ou moins en continu au cours des trois intervalles. (C) Relative stabilité, avec des changements nets de couverture corallienne beaucoup plus limités.

Au-delà de ce tableau d’ensemble, cependant, les tendances à long terme dans les 21 sites mis en avant dans la Fig. 1 présentent trois trajets étonnamment divergents de changement de la couverture corallienne (Fig. 4). Les trajectoires pour neuf de ces sites se présentent en ‘batte de hockey’ avec des déclin abrupts de 58-95% entre l’intervalle 1 et l’intervalle 2, pour ensuite

rester au même niveau (Fig. 4A). A l’opposé, cinq autres sites présentent un déclin global comparable mais réparti de façon à peu près égale entre intervalles 1 et 2 et intervalles 2 et 3 (Fig. 4B). Le troisième groupe de sept sites présente une beaucoup plus grande stabilité avec des changements globaux (augmentation ou diminution) de seulement 4-35% (Fig. 4C).

FACTEURS DE CHANGEMENT

Les facteurs de la dégradation écologique des récifs caraïbens doivent être compris dans le contexte de la situation tout à fait unique des Caraïbes par rapport aux autres mers tropicales. La Mer des Caraïbes pourrait être perçue comme une mer Méditerranée tropicale la plus isolée au monde, géographiquement et océanographiquement parlant. Cette isolement remonte à des dizaines de millions d'années, lors de l'éclatement progressif du paléo-océan Téthys, de l'élargissement de l'Océan Atlantique, suivie de l'isolement de celui-ci du Pacifique Est avec la fermeture de l'isthme de Panama il y a 5.4 à 3.5 millions d'années de cela.

Par conséquent, les biotes récifaux des Caraïbes sont tout à fait singuliers. Les études sur la génétique moléculaire ont ainsi démontré qu'un certain nombre de genres de coraux, une fois combinés avec des taxons du Pacifique, appartiennent à des lignées évolutives exclusivement Atlantiques. En outre, les acroporidés qui représentent plus d'un tiers de la diversité corallienne Indopacifique ne sont représentés que par deux espèces dans les Caraïbes. La diversité taxonomique et la redondance écologique sont minces, et le potentiel de renouvellement par le biais d'autres régions est quasi nul. Les espèces caraïbennes n'ont pas non plus d'expérience évolutive de résistance aux espèces envahissantes et aux maladies apparues avec les hommes.

Nous nous sommes concentrés sur les potentiels facteurs de déclin anthropiques pour lesquels les données disponibles nous permettaient d'opérer des comparaisons sérieuses. Chaque facteur a été traité séparément afin de faciliter l'analyse et la discussion, mais ces facteurs sont en réalité inextricablement liés. La maladie corallienne en particulier est un symptôme complexe et peu compris de plusieurs formes de perturbations humaines, et non un facteur direct de changement. C'est pourquoi nous avons traité la maladie en la mettant en relation directe avec différents facteurs, dont l'introduction d'espèces envahissantes, le réchauffement des océans, la pollution côtière, et la surpêche notamment. Globalement, les résultats les plus significatifs (car ayant le plus de données) ont été obtenus pour les effets de l'augmentation de la population humaine, la surpêche, et le réchauffement des océans ; et dans

une moindre mesure pour la pollution côtière et les espèces envahissantes.

Une population trop élevée

Le tourisme est le pain quotidien de beaucoup de pays des Caraïbes (Fig.5). Cependant, notre étude démontre que des densités extrêmement élevées de résidents et de touristes sont préjudiciables aux récifs, à moins que les mesures de protection environnementales soient exhaustives et respectées. Malheureusement, c'est rarement le cas. Le nombre de visiteurs par km² par an s'échelonne de 110 dans les Bahamas à un ahurissant 25,000 à St Thomas (Îles Vierges). Tous les sites accueillant plus de la valeur médiane de 1,500 visiteurs par km² par an ont moins de la valeur médiane de 14% de couverture corallienne, exception faite des Bermudes avec 39% de couverture et l'île de Grand Cayman avec 31% de couverture. La situation exceptionnelle des Bermudes est sans doute le fruit des régulations environnementales progressives qui ont été mises en place depuis le début des années 1990, et à la



FIGURE 5. Surpopulation: le tourisme de masse dans les Caraïbes. (A) De larges navires de croisière arrivent chaque jour à St Thomas dans les îles vierges (source : Calyponte, Wikipedia). (b) De grands hôtels s'érigent le long de la cote à Cancún au Mexique (source : Foto Propia, Photo de Mauro I. Barea G., Wikipedia). (C) Touristes à South Beach à Miami, Floride (Source: Photo de Marc Averette, Wikipedia).

présence d'infrastructures nécessaires à leur bon fonctionnement. Hormis cette exception, les coûts environnementaux néfastes d'un tourisme galopant semblent inévitables.

Surpêche

La pêche artisanale de subsistance joue un rôle capital dans la plupart des économies caribéennes, mais les conséquences de celle-ci sur les récifs coralliens ont été catastrophiques. La surpêche a mené à un déclin précipité du nombre de poissons herbivores, particulièrement les grands poissons-perroquets, qui sont les brouteurs les plus efficaces des récifs des Caraïbes mais vulnérables à tous les types de techniques de pêche hormis la pêche à la ligne et à l'hameçon.

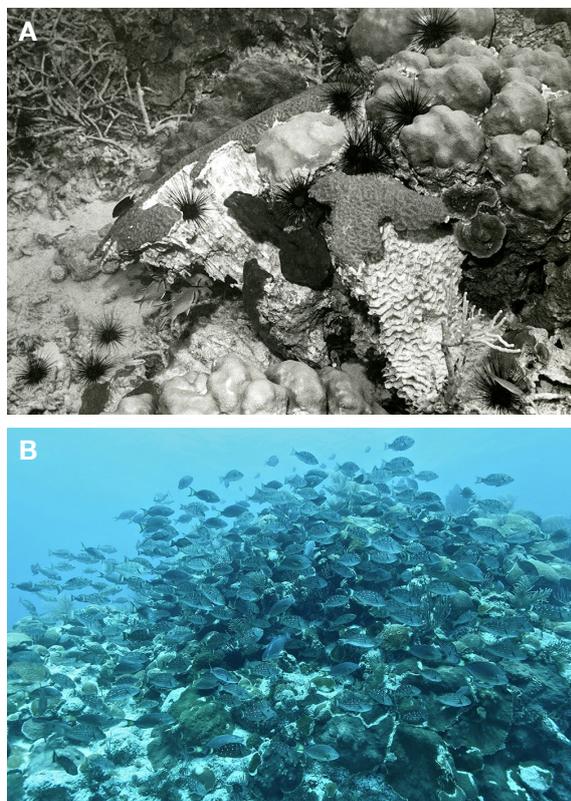


FIGURE 6. La surpêche a décimé la biomasse et la diversité des poissons dans les Caraïbes. (A – C) Déclin de la composition et de la taille des poissons -trophées dans les Keys de Floride depuis les années 1950 (adapté de McClenachan 2008). (D – F) Les poissons-perroquets furent les brouteurs les plus importants des récifs coralliens des Caraïbes : (D) Poisson perroquet de feu tricolore (*Sparisoma viride*) pris dans un filet maillant. (E) Récolte d'une journée typique de chasse sous-marine au large du sud-est de Curaçao. (F) Bateaux de pêche à Coco Point, Barbade (Photos : Ayana Elizabeth Johnson).

Néanmoins, les conséquences de la surpêche des poissons-perroquets pour la survie des coraux ont été mal comprises avant l'effondrement

de l'oursin *Diadema antillarum*, devenu alors le macro-herbivore le plus important et ubiquiste des récifs caribéens, qui fut décimé par une maladie non-identifiée en 1983-84. Le *Diadema* et la poisson-perroquet sont en forte concurrence alimentaire, et les variations dans leur abondance ont été inversement proportionnelles jusqu'en 1983. Cette relation antinomique nous procure une méthode de comparaison rigoureuse nous permettant d'évaluer les conséquences de la surpêche historique du poisson-perroquet sur la couverture corallienne, en l'absence de données quantitatives sur la biomasse du poisson-perroquet avant 1989.



FIGURE 7. Herbivores autrefois abondants dans les récifs des Caraïbes. (A) Agrégation d'oursins *Diadema antillarum* sur les stations de pente externe de Discovery Bay, Jamaïque à environ 10 mètres de profondeur, un an avant la mortalité de masse de 1983/84 (Photo : Jeremy Jackson). (B) Large banc de poissons-perroquets feu *Sparisoma viride* au large de la rive sud des Bermudes, où la pêche de ces poissons est interdite (Photo : Philipp Rouja). De telles scènes sont rares, voire absentes dans la grande majorité des récifs des Caraïbes de nos jours.

Notre analyse sur la surpêche provient majoritairement de 16 des 21 récifs encadrés en jaune sur la Fig. 1, pour lesquels nous avons pu obtenir des données quantitatives sur l'abondance des *Diadema* avant leur mortalité en masse en 1983/84, en plus de données sur la couverture corallienne pour les trois intervalles de temps de la Fig. 3. Neuf de ces récifs ont été classifiés comme surexploités (pour les poissons-perroquets) avant 1983, avec des densités de *Diadema* s'échelonnant de 6.9 à 12.4 par m², tandis que les sept autres récifs ont été classifiés comme moins exploités avec des densités de seulement 0.5 à 3.8 par m². Ce classement rejoint la littérature qualitative sur le sujet. Les récifs dont les poissons-perroquets étaient surexploités avant 1984

ont souffert par la suite d'un déclin de couverture corallienne et d'une augmentation de macroalgues plus élevés que les récifs dont la population de poissons-perroquets était à peu près intacte. Les couvertures coralliennes et macroalgales étaient indépendantes des densités de *Diadema* avant 1984, car le nombre de macroalgues était maintenu à un niveau très bas que ce soit par l'oursin ou par le poisson-perroquet. Tout cela a changé après la disparition du *Diadema* : la couverture corallienne a alors décliné de façon proportionnelle à l'abondance historique de *Diadema*, une tendance qui s'est poursuivie jusqu'à aujourd'hui.

Il existe également de solides preuves expérimentales et de terrain d'effets indirects néfastes de l'augmentation de macroalgues sur la bonne santé des coraux, affectant notamment le recrutement de larves, la survie des coraux juvéniles, et l'incidence de maladies coralliennes. Le recrutement larvaire a décliné rapidement après 1984, du fait au moins partiellement d'une baisse du stock de géniteurs – mais de preuves solides pointent également du doigt une interférence active des macroalgues.

Le recrutement larvaire sur des panneaux expérimentaux à Curaçao a en effet décliné d'un facteur cinq lors d'expériences identiques conduites en 1979-1981 et 1998-2004. Lors des expériences antérieures, les algues calcaires encroûtantes (substrat préféré des larves) couvraient l'ensemble des surfaces supérieures des panneaux tandis que les macroalgues en étaient absentes. Les expériences plus récentes ont vu au contraire les panneaux se recouvrir entièrement de macroalgues.

D'autres expériences montrent que les larves coralliennes évitent activement les substrats où des macroalgues sont présentes, et que les recrues larvaires souffrent d'une mortalité accrue et d'inhibitions de croissance du fait d'interférences physiques avec les macroalgues. Mais la preuve la plus saisissante d'interférences macroalgales vient de l'observation récente d'une augmentation des recrues coralliennes et de survie juvénile dans des récifs où les *Diadema* ont partiellement regagné du terrain, ou des récifs où le nombre poissons-perroquets a augmenté grâce à la mise en place de zones de non-prise.

Les expériences montrent enfin que les macroalgues provoquent une large variété de réponses pathologiques chez les coraux, y compris des maladies virulentes. L'émission de composés allélochimiques toxiques par les macroalgues perturbe également les communautés microbiennes associées aux coraux, causant parfois leur blanchissement ou même leur mort.

La surpêche pourrait avoir également indirectement affecté la capacité des récifs à se remettre des dommages causés par les cyclones alors qu'ils y sont très bien parvenus pendant des millions d'années, sans quoi il n'y aurait pas de récifs aujourd'hui. Au cours des dernières décennies cependant, les coraux de nombreux récifs ont eu de plus en plus de difficulté à se rétablir à la suite de tempêtes majeures. Nous avons étudié ce changement apparent en se penchant sur les 16 récifs pour lesquels nous disposons de données sur le corail et les *Diadema* avant 1984. La couverture corallienne était indépendante de la probabilité à long-terme de l'occurrence d'un cyclone avant 1984 mais pas après cette date. La surpêche des poissons-perroquets a pu affecter la capacité des coraux à rebondir à la suite de cyclones. Les récifs des Bermudes protégés de la surpêche ont par exemple subi quatre cyclones depuis 1984 sans que cela ait affecté leur couverture corallienne moyenne, tandis que les récifs récemment surpêchés de la Barrière Centrale du Belize ont décliné de 49% après trois cyclones.

Pollution côtière

Des données comparatives limitées sur la transparence de l'eau, basées sur des observations de disque Secchi dans 4 sites CARICOMP (Programme de l'UNESCO sur la productivité côtière et marine des Caraïbes - Caribbean Coastal Marine Productivity Program en anglais), montrent que la qualité de l'eau décline rapidement dans les zones de développements agricoles et côtiers non réglementés. La transparence de l'eau a par exemple décliné de façon drastique sur 20 ans sur le banc de sable Carrie Bow au Belize, du fait de larges développements agricoles et côtiers du Guatemala au Honduras comme l'illustre la Fig. 9C. Des tendances similaires ont été observées à La Parguera sur la côte ouest de Puerto Rico. En revanche, la qualité de l'eau s'est dans le même temps améliorée dans les Bermudes.



FIGURE 8. Dense multiplication de macroalgues. On peut observer les extrémités de branches des coraux *Porites* survivants à travers la canopée algale dans le coin supérieur droit de la photo ; et des branches de *Porites* et de *Acropora cervicornis* précédemment envahis et maintenant morts en bas à gauche de la photo (Dry Tortugas, 2000, Photo : Mark Chiappone).

Les maladies coralliennes ont été rattachées à une pollution organique excessive, mais les données sur le sujet sont sporadiques et limitées dans leur portée. De façon générale, il y a un besoin urgent de mettre en place un suivi plus systématique et intégral de la qualité de l'eau dans la Grande Caraïbe.

Réchauffement des océans

Nos premières analyses se fondaient sur la compilation Reefbase d'événements de blanchissement extrêmes, qui ne démontraient pas de lien significatif entre le nombre d'événement extrêmes par localité et sa couverture corallienne dans des sites de la Grande Caraïbe, de Golfe de Mexico et des Bermudes. Cependant, du fait de la subjectivité inhérente aux évaluations de

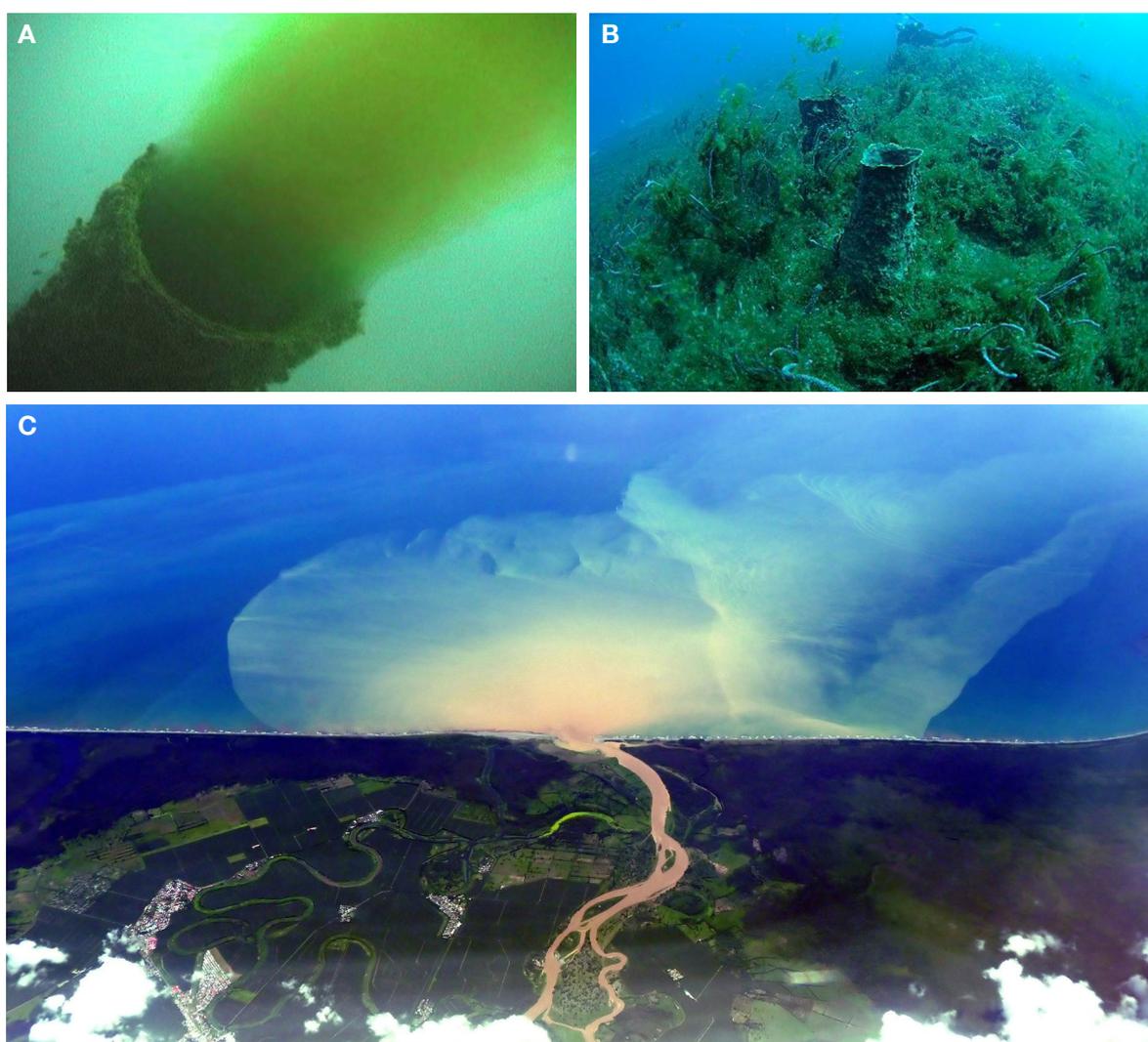


FIGURE 9. Impacts de la pollution côtière sur les récifs des Caraïbes. (A) Déversement d'eaux usées à Delray Beach en Floride, déchargeant 13 millions de gallons par jour d'eaux usées traitées en amont d'un récif corallien. (B) Macroalgues tapissant des coraux morts près d'une embouchure d'égout (Photos de Steve Spring, Marine Photobank). (C) Apport massif de charge sédimentaire à l'embouchure d'une rivière se déversant dans la Mer des Caraïbes, au large de la côte mésoaméricaine (Photo: Malik Naumann, Marine Photobank).

blanchissement, nous avons par la suite obtenu du programme Surveillance Récifs Coralliens (Coral Reef Watch) de NOAA les données degrés-semaines de réchauffement (appelés DHW pour 'Degree Heating Weeks') pour les 88 sites ayant de la couverture corallienne.

Nous avons ensuite utilisé ces données pour évaluer les effets des événements de réchauffement extrêmes de 1998, 2005 et 2010 sur la couverture corallienne en calculant son changement proportionnel pendant les deux années suivant chaque événement par rapport aux deux années précédant l'événement. Nous avons représenté ce changement proportionnel en fonction du nombre de degrés-semaines de réchauffement

pour chaque station. Il existe une corrélation négative faible, mais statistiquement insignifiante, entre les pertes en couverture corallienne et le nombre de DHW, indépendamment du fait que les données soient analysées de façon séparée pour chaque événement ou qu'elles soient combinées ; ou selon que nous incluons toutes les stations ou que nous limitons l'analyse aux seuls stations ayant subi au moins 8 DHW. De plus, les plus grandes pertes en couverture corallienne sont survenues dans les stations ayant moins de 8 DHW.

Nous tenons ici à avertir le lecteur que nos résultats ne signifient nullement que les événements de réchauffement extrêmes sont des facteurs

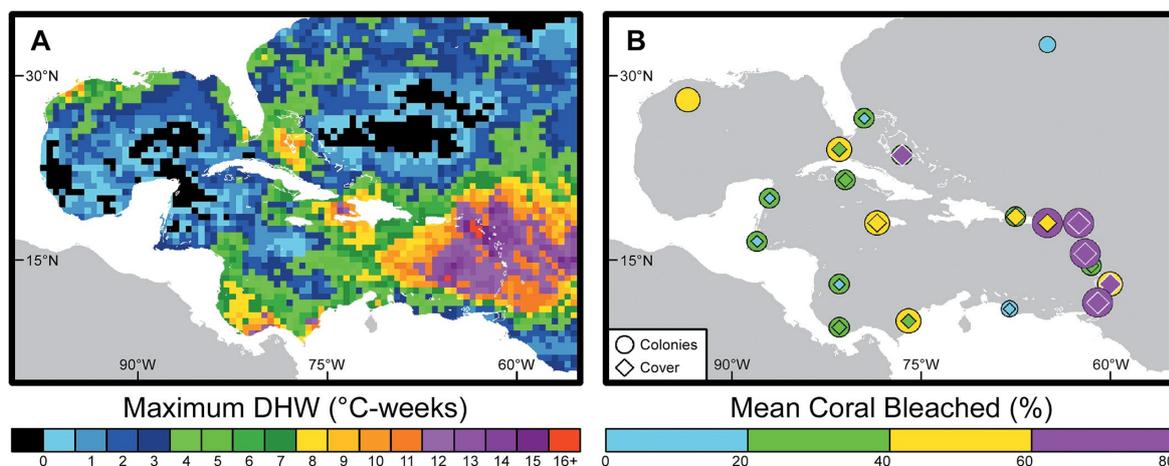


FIGURE 10. Événements de réchauffement extrêmes et blanchissement des coraux associés ayant touché l'est des Caraïbes en 2005. (A) Degrés-semaines de réchauffement à partir d'observations satellite Pathfinder. (B) Intensité des événements de blanchissement de coraux à partir d'observations observés de terrain (transmis gracieusement par Mark Eakin et collègues.)

insignifiants de la moralité corallienne du fait de blanchissement et de maladies ; ils l'ont en effet clairement été dans les îles vierges américaines, Puerto Rico, les Keys de Floride, et ailleurs. De plus, ces événements de réchauffement de plus en plus sévères constituent une menace indéniable pour la survie des coraux dans les décennies à venir. Mais nos résultats contredisent tout effet régionalement cohérent des événements de réchauffement extrêmes, et impliquent de manière forte que ce sont tout d'abord les facteurs de stress locaux qui ont été jusqu'à présent majoritairement responsables du déclin des coraux dans les Caraïbes.

Les effets potentiellement délétères de l'acidification des océans n'ont pas été traités ici du fait d'un manque de données comparatives. Cependant, si les tendances actuelles de la diminution du pH continuent, la capacité des coraux et des autres espèces récifales calcifiantes à construire des squelettes va être de plus en plus compromise.

Espèces envahissantes

L'explosion du poisson-lion exotique, provenant du Pacifique dans toute la région Caraïbe (Fig. 12) a fait des ravages dans les communautés de pêcheurs. Mais, aussi graves que puissent en être les conséquences à long terme, elles restent faibles si on les compare à l'introduction de l'agent pathogène non identifié responsable de la décimation du *Diadema antillarum*, ou aux effets de la maladie de la bande blanche sur les acroporidés. La mortalité en masse des *Diadema* s'est manifesté à seulement quelques kilomètres de l'entrée du canal de Panama. Ce fait, associé à l'ampleur de l'augmentation du trafic de vraquiers dans les années 1960 et 1970, suggère fortement que la maladie du *Diadema* a été introduite par le transport maritime. Cela pourrait également être vrai des maladies coralliennes, quoique leur premières occurrences aient été signalées dans toute la région Caraïbe.

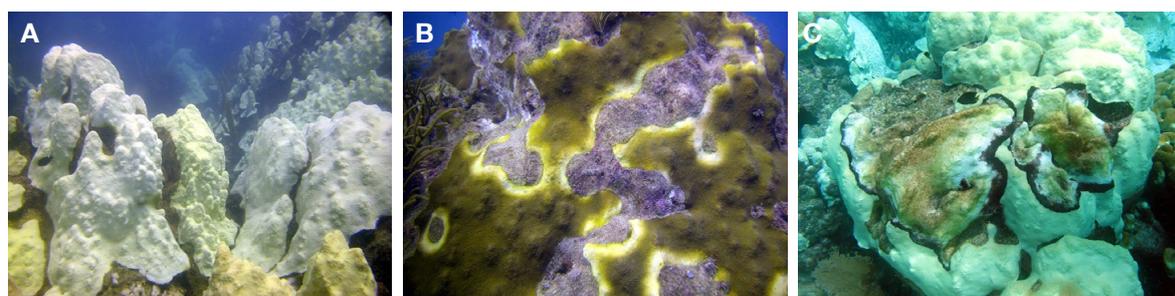


FIGURE 11. Effets du blanchissement et des maladies coralliennes sur l'espèce *Orbicella faveolata* autrefois abondante. (A) Coraux blanchis (Turrumote, Puerto Rico, 2005). Mortalité partielle extensive d'une colonie corallienne causée par la maladie de la bande jaune (Turrumote, Puerto Rico, 2005) et (C) la maladie de la bande noire (Los Roques Venezuela, 2010). (Photo A & B de Ernesto Weil; C de Aldo Cróquer).



FIGURE 12. Explosion de la population du poisson-lion *Pterois volitans* introduit dans les Caraïbes entre les années 1980 et le début des années 1990. (A) Les poissons-lion envahissants abondent dans les récifs des îles Caïman (Photo : Niel Van Niekerk, avec la permission de IFAS, Université de Floride). (B) 'Brochette' de poissons-lions dans le cadre d'efforts de contrôle des populations dans le parc national de Cozumel, Mexique (Photo : Archives CONANP).

En raison de leur isolement depuis des millions d'années, et en analogie avec le destin des peuples indigènes américains à la suite de leur premier contact avec les européens, les espèces caribéennes devraient être particulièrement vulnérables à l'introduction de nouvelles maladies. Et cela semble être effectivement le cas. Nous ne connaissons pas d'autres exemples de quasi-élimination d'une espèce marine en raison de maladie dans toute l'étendue des océans Indien et Pacifique, qui puisse être comparé à la détérioration des *Diadema* et des acroporidés caribéens. Cette interprétation est également conciliable avec l'absence marquée de changement environnemental majeur dans les années 1970 qui aurait pu expliquer l'apparition de maladies. Enfin et surtout, ces maladies ont émergé bien des années avant que les premiers événements de réchauffement extrêmes ne soient signalés.

Il serait possible de tester cette hypothèse d'espèce introduite pour la maladie de la bande blanche puisque le pathogène est connu et que le séquençage d'ADN est disponible. Il pourrait même être possible de faire la même chose pour le *Diadema*, même si le pathogène n'est pas connu, en conduisant des analyses génétiques de spécimens entiers de *Diadema* morts de la maladie. Ce n'est pas un exercice entièrement académique : ces deux événements charnière dans le déclin de la plupart des récifs caribéens restent tout aussi mystérieux de nos jours qu'ils l'étaient lorsqu'ils sont apparus il y a plus de 30 ans.

RÉSUMÉ

Les épidémies affectant les acroporidés et les oursins *Diadema* dans les années 1970 et 1980, la surpopulation (sous la forme d'excès de touristes), et la surpêche sont les trois meilleurs prédicteurs du déclin de la couverture corallienne des Caraïbes au cours des 30 dernières années (voire plus), si l'on en croit les données disponibles. La pollution côtière est incontestablement un facteur de plus en plus important, mais les données sont encore trop limitées pour établir cela avec certitude. Le réchauffement des océans constitue une menace fort inquiétante, mais jusqu'à présent les événements de réchauffement extrêmes n'ont eu des effets que localisés et n'ont pas pu être responsables des pertes les plus grandes des coraux caribéens, survenues presque partout dans la grande région Caraïbe au début et milieu des années 1990.

En résumé, la dégradation des récifs caribéens s'est déroulée en trois phases distinctes :

1. Des pertes massives d'acroporidés commençant au milieu des années 1970 et durant jusqu'au début des années 1980, du fait de la maladie de la bande blanche. Ces pertes ne peuvent être reliées à aucun changement environnemental global évident, et pourraient être le fait de l'augmentation de pathogènes associée à l'énorme augmentation de décharge d'eaux de ballast par les vraquiers dans les années 1960.

2. Des fortes augmentations de couverture macroalgales et de fortes réductions de couverture coralliennes dans la plupart des sites surexploités à la suite de la mortalité en masse des *Diadema* en 1983, causée par un pathogène non-identifié probablement introduit. Ce processus de mutation d'une dominance corallienne à macroalgale a atteint son sommet dans les plupart des sites au milieu des années 1990, et a persisté depuis dans toute la région et ce depuis 25 ans. De nombreuses expériences ont démontré un lien entre l'augmentation des macroalgues et le déclin des coraux. Les macroalgues ont un effet néfaste sur le recrutement et la croissance des coraux, et sont souvent toxiques pour eux, pouvant prodiguer un terrain favorable à la prolifération de maladies coralliennes.
3. La continuation des tendances établies pendant la phase 2, exacerbées par l'intensification de la surpêche, la pollution côtière, l'explosion du tourisme, et les événements de réchauffement extrêmes qui, combinés, ont été particulièrement destructeurs dans la partie nord-est des Caraïbes et les keys de Floride, où des événements de blanchissement extrême, suivi d'une prolifération de maladies coralliennes, a causé les déclins les plus graves.

IMPLICATIONS DE GESTION

Nos résultats contredisent en grande partie le discours actuel sur l'importance du réchauffement des océans, de la maladie, et des cyclones sur les récifs coralliens, et soulignent l'importance de la mise en perspective historique pour la gestion et la conservation des récifs coralliens. Les menaces posées par le changement climatique et l'acidification des océans se profilent à l'horizon de manière de plus en plus inquiétante ; mais les facteurs de stress locaux, notamment l'explosion du tourisme, la surpêche et l'augmentation de macroalgues en résultant, ont été jusqu'à présent les principaux facteurs responsables de déclin catastrophique des coraux des Caraïbes.

Cela signifie que des décisions et actions locales intelligentes pourraient faire toute la différence pour accroître la résilience et le bien-être des

récifs coralliens des Caraïbes, et de fait, des communautés et industries qui en dépendent. Quatre recommandations majeures se dégagent ainsi de ce rapport :

1. **Adopter des stratégies robustes de conservation et de gestion des pêches**, conduisant à la restauration des populations de poissons-perroquets, y compris l'inscription du poisson-perroquet dans les annexes pertinentes du Protocole SPAW. Une recommandation a été adoptée à cet effet par l'Initiative Internationale pour les Récifs Coralliens (ICRI) lors de sa 28^{ème} Assemblée Générale en Octobre 2013 au Belize (voir encadré).
2. **Simplifier et standardiser le suivi des récifs caribéens**, et en publier les résultats de façon annuelle pour faciliter la gestion adaptative.
3. **Promouvoir la communication et l'échange d'informations** pour que les autorités locales puissent bénéficier de l'expérience des autres.
4. Adopter et mettre en œuvre une législation et des régulations adaptatives permettant de prendre des mesures sur les menaces pesant sur les récifs coralliens de manière systématique, particulièrement celles posées par la pêche, le tourisme et le développement côtier; et fondés sur des indicateurs de santé des récifs.

Nous sommes conscients que la mise en œuvre de ces recommandations fera l'objet d'un débat politique et socioéconomique au niveau national et local. Mais les implications de nos résultats scientifiques sont sans équivoque : *les récifs coralliens des Caraïbes et les ressources qui en dérivent sont vouées à disparaître dans les décennies à venir si ces mesures ne sont pas adoptées et mises en œuvre sans délai.*

Encadré 1: Recommandation adoptée à l'unanimité lors de la 28^{ème} Assemblée Générale de l'ICRI à Belize City, Belize, le 17 Octobre 2013.

RECOMMANDATION sur le déclin de la santé des récifs coralliens dans la Grande Région Caraïbe: la prise de poissons-perroquets et autres herbivores coralliens

**La présente recommandation a été adoptée par les membres de l'ICRI
le 17 Octobre 2013, lors de la 28^{ème} Assemblée Générale de l'ICRI (Belize City)**

Contexte

Le dernier rapport du Réseau Global sur le Suivi des Récifs Coralliens (Global Coral Reef Monitoring Network - GCRMN), intitulé: *Etat et Tendances des Récifs Coralliens des Caraïbes: 1970-2012* est le premier rapport documentant les tendances de l'état de santé des récifs coralliens de manière quantitative, en se fondant sur des données collectées au cours des 43 années précédentes dans toute la Grande Région Caraïbe.

Les résultats de cette étude démontrent clairement que :

- La bonne santé des récifs coralliens nécessite un équilibre écologique entre coraux et algues, au sein duquel l'herbivorie est un élément clé ;
- Les populations de poissons-perroquets sont une composante critique de cette herbivorie, particulièrement depuis le déclin des oursins *Diadema* au début des années 1980 ;
- Les causes principales de la mortalité des poissons-perroquets sont l'utilisation de techniques de pêches telles que le fusil sous-marin et, en particulier, la pêche au casier ou à la nasse.

Le rapport identifie en outre que la surpêche des espèces herbivores, particulièrement le poisson-perroquet, a été jusqu'à présent l'un des facteurs principaux du déclin des récifs Caraïbéens, concluant ainsi que des mesures de gestion aux niveaux national et local peuvent avoir un effet positif direct sur leur santé maintenant et pour les années à venir.

Dans certaines zones de la région Caraïbe (par exemple les Bermudes et le Parc Terrestre et Marin des Bancs de sable Exuma dans les Bahamas, et plus récemment au Belize et à Bonaire), des mesures de gestion proactives, telles que l'interdiction des casiers, ont conduit à une augmentation du nombre de poissons-perroquets et à une amélioration conséquente de la santé des récifs et de leur résilience aux perturbations, y compris celles provoqués par les ouragans. Ceci contraste avec d'autres régions des Caraïbes, où certains récifs fortement exploités peinent à se remettre des dégâts occasionnés par ceux-ci.

Des récifs en bonne santé ont démontré avoir des retombées positives sur les économies locales, fournissant entre autres la possibilité de moyens de subsistance alternatifs à la pêche grâce à l'augmentation des recettes du tourisme et du nombre de poissons; et la restauration de services écosystémiques prodigués par les récifs tels que la protection côtière.

Il est reconnu que le degré de dépendance des communautés côtières à la pêche en général, et à la prise de poissons-perroquets en particulier, varie considérablement au sein de la région Caraïbe. Cependant, au vu des données maintenant disponibles, et conformément à la section 'gestion intégrée' du Cadre d'Action de l'ICRI (qui comprend la gestion des pêches), l'Initiative Internationale pour les Récifs Coralliens tient à souligner les bénéfices de mesures de gestion robustes pour protéger les récifs de la surpêche, et exhorte à une prise de mesures immédiate pour protéger les poissons-perroquets et autres herbivores similaires de manière efficace.

En conséquence, l'Initiative Internationale pour les Récifs Coralliens exhorte les nations et les groupes multilatéraux de la région des Caraïbes à:

1. **Adopter** des stratégies de conservation et de gestion des pêches qui conduisent à la restauration des populations de poissons-perroquets, rétablissant ainsi l'équilibre entre algues et coraux caractéristique des récifs coralliens en bonne santé ;
2. **Maximiser** l'effet de ces stratégies de gestion en y associant les ressources nécessaires à la mise en place de programmes de sensibilisation, de surveillance, et de mise en œuvre, et en examinant des moyens de subsistance alternatifs pour les personnes touchées par les restrictions sur la prise du poisson-perroquet ;
3. **Envisager** l'inscription du poisson-perroquet dans les annexes du Protocole SPAW (annexe II ou III), en plus de soulever le problème de l'herbivorie récifale lors des forums des pêches régionaux ;
4. **Engager** les communautés autochtones et locales et autres parties prenantes en leur faisant prendre conscience des bénéfices tirés de telles stratégies pour les écosystèmes coralliens, la reconstitution des stocks halieutiques et l'économie locale.