



L'OCÉAN

EN COMMUN

Sciences au sud
pour un monde durable

L'OCÉAN

EN COMMUN

Sciences au sud
pour un monde durable

L'OCÉAN

EN COMMUN

Sciences au sud
pour un monde durable

IRD Éditions
Collection Grands enjeux
Marseille, 2025

Direction éditoriale

Marie-Lise Sabrié

Coordination éditoriale

Corinne Lavagne

Jasmine Portal-Cabanel

Coordination iconographique

Daina Rechner

Rédaction

Viviane Thivent

Marie-Lise Sabrié

Conception maquette et mise en page

Charlotte Devanz

Préparation de copie

Isabelle Amsallem

Correction

Stéphanie Quillon

Coordination diffusion

Christel Bec

Photo de couverture

Pêche effectuée par des enfants sur le platier à Reao, Polynésie française. © IRD/S.Andréfouët

Publication en libre accès selon les termes de la licence Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 : <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>. Elle autorise toute diffusion de l'œuvre, sous réserve de mentionner les auteurs et les éditeurs et d'intégrer un lien vers cette licence. Aucune modification n'est autorisée et l'œuvre doit être diffusée dans son intégralité. Aucune exploitation commerciale n'est autorisée.



© IRD, 2025

ISBN papier : 978-2-7099-3067-3

ISBN PDF : 978-2-7099-3068-0

ISBN open/epub : 978-2-7099-3069-7

DIRECTION SCIENTIFIQUE

Stéphanie Duvail
Marine Herrmann
Marina Lévy
Olivier Pringault

COMITÉ ÉDITORIAL

Catherine Guedj
Corinne Lavagne
Jasmine Portal-Cabanel
Daina Rechner
Marie-Lise Sabrié

SOMMAIRE

10 Préface

Introduction

13 L'océan en commun

PARTIE 1 26 Des milieux en évolution

28 El Niño dans le viseur

30 Pirata, l'observatoire océanique de l'Atlantique tropical

32 Vagues extrêmes et cyclones tropicaux

34 De la variabilité des upwellings

36 Cartographie de l'aléa tsunami

38 Comprendre la complexité du climat de l'Asie du Sud-Est

40 De la variabilité insoupçonnée des lagunes

42 Mangroves mexicaines résilientes

44 Une oasis dans un désert océanique

46 Des coraux résistants en Nouvelle-Calédonie

48 Sargasses colonisatrices

50 De la suie dans l'eau

52 Plastiques : des fleuves à l'océan

54 Du devenir des eaux fluviales dans l'océan

56 Sur la piste du plastique océanique

58 Nos amis des profondeurs

60 Du micronecton au thon

62 Fin de règne pour l'anchois ?

PARTIE 2

64

Des sociétés face à l'océan

- 66 Sénégal : émergence d'une pêche résiliente
- 68 De l'avenir des Vezo
- 70 Alexandrie, un contre-exemple d'adaptation ?
- 72 L'inéluctable enfoncement du delta du Mékong ?
- 74 Réduire la vulnérabilité de la ville de Douala
- 76 De la sécurité alimentaire des îles polynésiennes
- 78 La part féminine de la pêche
- 80 Nokoué, une lagune sous pression

PARTIE 3

82

Pour des ressources durables

- 84 Un modèle de plancton
- 86 Thons tropicaux sous surveillance
- 88 Vers des appâts plus durables
- 90 La part des oiseaux
- 92 Une pêche artisanale à l'échelle industrielle
- 94 Biodiversité alimentaire
- 96 Une aquaculture pour une meilleure alimentation
- 98 Battre campagne en voilier
- 100 Nage au-dessus des habitats sous-marins
- 102 Éclairer la biodiversité invisible
- 104 L'intelligence artificielle pour mesurer la biodiversité
- 106 L'IA qui se prenait pour un oiseau de mer
- 108 Des bactéries à dos de plastique
- 110 Vers une électricité faite maison ?
- 112 Les Comores en manque de sable
- 114 Laissons les mangroves se reboiser seules

PARTIE 4 116 Des savoirs partagés

- 118 Le son du silence
- 120 Changer de regard sur les coraux
- 122 De l'eau au rythme de l'estuaire
- 124 Dessine-moi la mer
- 126 Vers une filière durable du crabe de mangrove à Madagascar
- 128 La maîtrise des eaux laiteuses
- 130 Alerte aux canicules marines
- 132 Des grands fonds marins peu connus mais convoités

PARTIE 5 134 Vers une nouvelle gouvernance

- 136 Seychelles : vers une économie bleue réellement durable ?
- 138 Fonder la réglementation sur les réalités locales
- 140 La mer Méditerranée, entité juridique
- 142 Le Gabon proactif pour préserver la biodiversité
- 144 Évaluer pour orienter
- 146 L'IA au service du droit de l'environnement marin
- 148 Pour des aires marines plus efficacement protégées
- 150 Quand la science émancipe

-
- 152 Liste des contributeurs scientifiques
 - 158 IRD Multimédia

Préface

VALÉRIE VERDIER

Présidente-directrice générale
de l'Institut de recherche pour le développement

Réserve de biodiversité, régulateur du climat, pourvoyeur de multiples ressources. . . l'océan, l'un de nos biens communs les plus précieux, est essentiel à l'équilibre de la planète et au bien-être de l'humanité. Alors qu'il subit des pressions de plus en plus intenses, sa préservation est devenue une urgence absolue appelant à une mobilisation internationale dans laquelle la science doit occuper une place de premier plan.

L'IRD a inscrit de longue date l'océan au cœur de sa stratégie scientifique. Plus de 350 chercheurs et chercheuses de l'institut participent aujourd'hui à une trentaine de programmes déployés dans les régions tropicales de l'Atlantique et du Pacifique, dans l'océan Indien, ainsi qu'en Méditerranée. Notre objectif premier : produire des connaissances de pointe, source d'innovations, qui puissent accompagner tous les acteurs concernés dans l'élaboration de solutions durables pour la préservation des océans. Cet engagement porté avec plus d'une centaine d'institutions dans le monde repose sur un partenariat scientifique éthique et équitable, qui s'incarne notamment dans plusieurs dispositifs de l'IRD tels que les Laboratoires mixtes internationaux (LMI) et les Réseaux internationaux de recherche (IRN). Dans cette perspective, nous nous attachons aussi, avec détermination, à renforcer les capacités de recherche des pays et territoires de la région intertropicale et méditerranéenne dans le domaine des sciences océaniques à travers de très nombreuses thèses d'étudiants encadrées chaque année. Nous apportons également dans ce cadre un soutien à de jeunes équipes de recherche, contribuant à consolider localement les compétences dans ce domaine. Enfin, nous développons des dispositifs pédagogiques comme les Clubs Jeunes pour que la jeunesse prenne conscience de la vulnérabilité de l'océan et pour l'inciter à agir pour sa préservation. Cette diversité d'actions répond aux Objectifs du développement durable (ODD), en particulier à l'ODD14 qui vise une gestion durable de l'océan et de ses ressources.

Cet ouvrage, publié à l'occasion de la 3^e conférence des Nations unies sur l'océan organisée à Nice par la France et le Costa Rica met en lumière les avancées majeures des recherches de l'IRD et de ses partenaires dans la connaissance des écosystèmes océaniques et la compréhension de la complexité des enjeux, en particulier sociétaux, qui leur sont attachés. Ces recherches qui mobilisent un large éventail de disciplines, des sciences humaines et sociales aux sciences de la vie et de la Terre, permettent de mieux comprendre les interactions complexes entre les sociétés et leur environnement marin. À l'IRD, nous privilégions en effet une approche interdisciplinaire, indispensable pour concevoir des stratégies d'adaptation prenant en compte la spécificité des contextes locaux et les besoins des pays partenaires et des territoires insulaires, afin de préserver et gérer durablement

l'océan face aux nombreuses menaces auxquelles il est confronté : réchauffement, acidification, désoxygénation et montée du niveau des eaux, érosion de la biodiversité marine, raréfaction des ressources halieutiques, pollutions multiples notamment par le plastique, érosion des littoraux... pour n'en citer que quelques-unes.

Je nourris l'espoir que cette année 2025, placée sous le signe de la 3^e conférence des Nations unies sur l'océan, constitue un tournant décisif dans l'engagement mondial pour la préservation de l'océan. L'avenir de l'océan, et donc de la planète, dépend de notre capacité collective à comprendre, anticiper et agir ensemble.

Notre institut, en première ligne de l'action scientifique internationale, se trouve dans une position stratégique pour apporter sa contribution à la définition de politiques publiques ambitieuses et durables, nourries des connaissances issues de la recherche. De fait, notre engagement ne se limite pas à une approche académique mais s'inscrit aussi dans un dialogue permanent avec celles et ceux qui sont impliqués dans la préservation et la gestion de l'océan : institutions locales, communautés, ONG, secteur privé... C'est en prenant en compte les besoins et les usages, en mobilisant les savoirs locaux et en impliquant les populations concernées que nous bâtissons des solutions durables et équitables. Avec l'ensemble de ces acteurs, nous œuvrons à co-construire des stratégies garantissant la durabilité et la résilience de l'écosystème océanique, ô combien vital. Nous avons aussi à cœur, par le partage des données de la recherche, par des actions d'information auprès du grand public, de sensibilisation et de formation de l'ensemble des acteurs concernés, de contribuer à ce que les avancées scientifiques puissent se muer en actions tangibles pour préserver les écosystèmes marins et en solutions pour accompagner les populations les plus vulnérables qui en dépendent.

Cet ouvrage, qui reflète l'importance croissante des enjeux océaniques, est une invitation à explorer, sous le prisme de la science, les multiples facettes de l'océan ainsi qu'à réfléchir ensemble aux défis et aux solutions pour garantir sa protection dans un monde en pleine mutation. Nous sommes fiers de pouvoir être un acteur clé dans ce processus.

Portée par un engagement qui se fonde sur une coopération scientifique internationale, notre ambition collective est de faire de la science un réel levier du dialogue et de l'action pour ainsi parvenir à des décisions politiques concrètes en faveur d'un espace océanique préservé au bénéfice des générations futures. Dans la perspective de cette nouvelle gouvernance de l'océan, il nous faut plus que jamais déployer la recherche et partager les savoirs pour transformer l'avenir.

Introduction

L'océan en commun

L'océan, qui couvre plus des deux tiers de la planète, est une composante essentielle de la vie sur Terre. Ses interactions avec le climat, son extraordinaire biodiversité et ses multiples ressources qui nourrissent plus de 3 milliards de personnes dans le monde en font l'un des biens communs les plus précieux pour l'humanité. Les vastes étendues océaniques, qui tout à la fois fascinent et effraient, ont une force d'attraction inégalée : près de 40 % de la population mondiale vit à moins de 100 km des côtes et la plupart des mégapoles mondiales se situent au bord de l'océan. Mais, fortement impactés par les changements climatiques, convoités et surexploités, l'océan et ses rivages sont aujourd'hui confrontés à de multiples pressions et menaces. Dans le contexte actuel des changements globaux, mieux connaître les espaces océaniques et littoraux, et comprendre leurs interdépendances avec les sociétés est devenu une priorité absolue, comme en témoigne le lancement de la Décennie des Nations unies pour les sciences océaniques au service du développement durable (2021-2030).

Du fait des défis écologiques, économiques et sociaux auxquels il est confronté, l'océan est sans doute le plus complexe, mais aussi le plus fragile, des écosystèmes. Ces défis sont particulièrement marqués dans la zone tropicale en raison des caractéristiques uniques de l'océan dans cette partie du monde, de son rôle régulateur du climat mondial, de sa biodiversité spécifique, et des ressources indispensables qu'il offre aux sociétés du Sud, parmi les plus vulnérables de la planète. Les populations côtières de la zone tropicale et méditerranéenne dépendent fortement de l'océan pour leur subsistance (aquaculture, pêche, tourisme, etc.) et en subissent les aléas (surcotes, tempêtes, érosion, tsunamis, etc.). Ces populations font partie

intégrante des écosystèmes côtiers et marins avec lesquels elles interagissent et dès lors on parle de socio-écosystèmes océaniques. La pression des activités humaines – surpêche, industrialisation, déforestation, urbanisation incontrôlée, gestion déficiente des déchets, des sols, des fleuves et des littoraux, etc. – affecte de façon immédiate le fonctionnement et la santé des zones littorales et de l'océan, depuis les côtes jusqu'à la haute mer, avec un cortège d'impacts majeurs : destruction des habitats et des écosystèmes, épuisement des ressources, pollutions, etc. Les socio-écosystèmes côtiers et océaniques sont particulièrement vulnérables aux aléas climatiques naturels, qu'il s'agisse des événements extrêmes comme les cyclones, les vagues de chaleur, ou des épisodes El Niño. Le changement climatique en cours s'ajoute à ces menaces et les accentue : montée du niveau de la mer, bouleversement du cycle de l'eau et intensification des événements extrêmes (précipitations intenses, inondations, sécheresses), réchauffement et acidification des eaux qui affectent les milieux, notamment coralliens, et les ressources halieutiques.

Au regard de ces enjeux majeurs, l'IRD a placé l'océan dans toutes ses composantes au cœur de sa stratégie scientifique. Les recherches menées avec ses partenaires visent à étudier les socio-écosystèmes océaniques en considérant la complexité de l'ensemble de leurs composantes, fonctionnements, interactions, dynamiques et échelles. Ces travaux mettent l'accent sur plusieurs enjeux cruciaux qui leur sont liés : impacts climatiques, régulation et protection contre les aléas, conservation de la biodiversité, accès aux ressources, dimension patrimoniale et identitaire, souveraineté, sécurité alimentaire, etc. Ils s'attachent à soutenir les nombreuses initiatives qui, du local au global, visent à préserver et gérer durablement ces espaces et leurs ressources. Pour aider à concevoir et construire ces politiques et programmes d'action, garantir et évaluer leur pertinence et leur efficacité, sont privilégiées des approches interdisciplinaires (au sein desquelles scientifiques de diverses disciplines travaillent ensemble) et transdisciplinaires (qui s'ouvrent, au-delà de la sphère scientifique, aux différents acteurs impliqués dans les questions étudiées : collectivités locales, autorités, bailleurs et institutions politiques, ONG, secteur privé, etc.). Une telle démarche se révèle indispensable, d'une part, pour comprendre la complexité des interactions au sein des socio-écosystèmes océaniques, à l'aune de leurs multiples représentations et usages et, d'autre part, pour construire avec les différents acteurs concernés des stratégies visant à promouvoir la durabilité de ces socio-écosystèmes et l'équité dans le partage de leurs ressources.

Un engagement au long cours

À l'IRD, les recherches sur l'océan se sont profondément transformées au fil du temps pour répondre à des enjeux toujours plus pressants. D'abord exploratoires, elles visaient à comprendre le fonctionnement de l'océan, ses interactions avec l'atmosphère et les continents, et sa biodiversité, dans des approches mono- puis multidisciplinaires. Elles ont ensuite progressivement évolué en intégrant de plus en plus la composante humaine et sociale, s'attachant à appréhender comment les populations qui vivent en lien avec l'océan et ses rivages s'adaptent à leurs profondes transformations.

L'institut lance ses premières recherches dans les zones tropicales du Pacifique, de l'Atlantique et de l'océan Indien dès sa création au lendemain de la Seconde Guerre mondiale avec l'ouverture de centres de recherches océanographiques en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française, en Guyane, sur les côtes malgaches et ouest-africaines. Cet ancrage géographique, notamment dans les territoires ultra-marins, va amener l'institut et les très nombreuses institutions qui se mobilisent à ses côtés à faire figure de pionniers dans l'étude de l'océan tropical. De 1945 jusqu'au milieu des années 1960, les inventaires dominent – il fallait alors découvrir les vastes étendues océaniques parfois quasi vierges d'investigation scientifique – avec quelques études sur les pêches à finalité économique, la mise en valeur des colonies oblige ! Ces premières études s'attachent pour l'essentiel à décrire le fonctionnement biologique du milieu océanique avec des travaux sur les différents échelons de la chaîne alimentaire et sur les espèces benthiques et pélagiques peuplant les régions côtières. L'océanographie physique n'est pas en reste avec des recherches sur les variations hydroclimatiques saisonnières et interannuelles (vents, courants, température et salinité de l'eau), caractéristiques du fonctionnement des écosystèmes océaniques tropicaux. Avec les indépendances, si les recherches fondamentales perdurent, les études visent de plus en plus, dans les années 1960 et 1970, à soutenir le développement économique de nouveaux États indépendants et des territoires d'Outre-mer. La période est marquée, par exemple, par l'essor de travaux sur la variabilité des ressources halieutiques (thons tropicaux notamment) ainsi que, par la suite, sur la socio-économie des pêches, avec en particulier des études sur la pêche artisanale pour lesquelles l'IRD a fait figure d'initiateur dans les zones tropicales de l'océan. En lien avec la théorie de la tectonique des plaques alors en plein essor, des travaux novateurs sont également

menés sur les fonds marins du Pacifique, les risques sismiques qu'ils peuvent générer ou leurs ressources minérales potentielles.

À partir des années 1980, les recherches de l'IRD deviennent parties prenantes de grands programmes internationaux et s'appuient sur des réseaux d'observation océanique recueillant des données en surface ou en profondeur provenant, d'une part, de navires marchands et, d'autre part, de bouées fixes. C'est le cas en particulier dans l'Atlantique tropical (réseau Pirata), et dans le Pacifique (réseau TAO), où ces dispositifs de mesures conduisent à intensifier les recherches sur les interactions entre l'océan et l'atmosphère. Couplées à l'observation satellitaire qui se développe alors, les données recueillies *in situ* pendant près de cinquante ans vont permettre des avancées cruciales dans la connaissance du rôle de l'océan sur le climat planétaire, en particulier dans le Pacifique où sont décryptés les principaux mécanismes d'El Niño et de la Niña aux conséquences majeures dans les régions tropicales. Dans cet océan comme dans l'Atlantique tropical, ces résultats conduisent à affiner les modèles de prévisions climatiques et améliorer la compréhension des bouleversements du climat sur lesquels le Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat, récemment créé, commence alors à alerter.

C'est à la fin des années 1980 et surtout à partir du Sommet de la Terre à Rio (1992) que la préservation des écosystèmes océaniques tropicaux va s'imposer comme une thématique majeure des recherches de l'IRD et ses partenaires. À titre d'exemple, les études sur les récifs coralliens qui ont permis de mieux comprendre le fonctionnement des lagons en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française constituent un terreau fertile pour de nouveaux travaux sur leur évolution sous l'effet des changements climatiques, notamment lors de ces dix mille dernières années, ou encore sur l'impact des activités humaines sur ces milieux à l'exceptionnelle, mais très vulnérable, biodiversité. De même, les recherches sur les ressources halieutiques s'orientent résolument vers des thématiques de gestion durable de la pêche. C'est le cas, entre autres, de la pêche thonière comme l'illustrent les études sur les dispositifs de concentration de poissons (DCP) qui analysent, non plus seulement leurs effets attractifs sur les thons, mais aussi leurs impacts négatifs sur ces grands pélagiques et sur l'environnement, incitant à un usage raisonné de ce mode de capture.

Alors qu'aux premiers temps de l'institut, océanographes physiciens et biologistes travaillent rarement de concert, leurs recherches se sont, au cours du

temps, progressivement inscrites dans une approche pluridisciplinaire. À ce titre, les études sur les upwellings, remontées d'eaux froides riches et fertiles propices à la pêche, ont un caractère précurseur. Menées dès la fin des années 1970, elles conduisent à mieux comprendre les interactions entre la variation des ressources halieutiques et les fluctuations des upwellings côtiers, montrant qu'il existe des conditions optimales de l'environnement, communes à l'ensemble des zones d'upwelling mondiales, qui assurent le maintien des populations de poissons et impactent fortement l'économie de la pêche. À partir des années 2000, les ponts entre les différentes disciplines se multiplient : physiciens, biologistes, chimistes, géologues, écologues, associant mesures de terrain, observations spatiales et modélisation, partageant méthodes et outils, s'attachent ensemble à étudier l'océan, dès lors considéré comme un système complexe à la fois piloté par la dynamique océanique et les forçages atmosphériques, les interactions biologiques et biogéochimiques. Sans oublier les chercheurs en sciences humaines et sociales, toujours plus nombreux à se pencher sur les dynamiques complexes qui se tissent entre l'océan et les sociétés humaines. Ainsi, les travaux sur le fonctionnement et la biodiversité du milieu océanique s'enrichissent aujourd'hui d'études sur les diverses façons d'utiliser, d'habiter et d'imaginer l'océan et d'une analyse des socio-écosystèmes marins et littoraux dans toute leur complexité. Lorsque ces recherches s'inscrivent dans les sciences de la durabilité, elles sont nourries par des approches inter- et transdisciplinaires, s'attachant à identifier et construire, avec divers acteurs, des solutions concrètes et durables pour une plus grande résilience des socio-écosystèmes marins.

L'océan au cœur du climat

La variabilité et les changements climatiques s'inscrivent aujourd'hui au cœur de recherches menées sur l'océan par l'IRD et ses partenaires dans les régions tropicales et méditerranéennes. De fait, comprendre le climat et ses principaux mécanismes nécessite d'observer, de modéliser et de décrypter les liens complexes entre l'océan et l'atmosphère. Et ceux-ci, comme le phénomène El Niño qui en est la plus célèbre illustration, sont particulièrement importants dans les océans tropicaux.

Le pouvoir de régulation de l'océan sur le climat mondial est aujourd'hui perturbé par le réchauffement climatique. Réchauffement, acidification, désoxygénation et montée des eaux en sont les conséquences les plus préoccupantes. « Quels sont les impacts de ces perturbations dans les régions tropicales de l'océan ? » est actuellement l'une des grandes questions étudiées par les scientifiques de l'IRD et leurs partenaires. Leurs travaux de modélisation montrent, par exemple, que les épisodes El Niño les plus forts seraient de plus en plus fréquents et intenses. L'enjeu est aujourd'hui d'anticiper les conséquences de tels bouleversements à l'échelle régionale : comment vont être impactés les vents, les régimes de précipitations, les courants, les upwellings, le niveau de la mer, etc. ? Un préalable pour estimer comment en retour ces manifestations régionales risquent d'affecter le climat global.

Dans le Pacifique, les connaissances acquises ces dernières décennies commencent à rendre possible la prévision des épisodes El Niño plusieurs saisons à l'avance, tout comme, dans les autres régions tropicales, celle de formes comparables d'anomalies climatiques telles que le « dipôle de l'océan Indien ». Ces avancées sont très prometteuses pour la gestion des écosystèmes océaniques et le développement durable des sociétés au Sud particulièrement impactés par les changements climatiques. Dans le Pacifique Sud par exemple, un programme régional a été récemment lancé. Son originalité est d'associer aux projections climatiques des analyses du ressenti et de l'évolution des savoirs locaux mobilisés pour faire face aux événements extrêmes. Ces connaissances seront mises à disposition des autorités locales et nationales de petits territoires insulaires (Nouvelle-Calédonie, Polynésie française, Wallis-et-Futuna et Vanuatu) en vue de l'élaboration de stratégies d'adaptation au changement climatique.

Des milieux océaniques et côtiers sous pression

Depuis le dernier siècle, l'océan ne subit pas seulement les effets du changement climatique. À ceux-ci s'ajoutent les impacts de la croissance effrénée des activités humaines et du développement incontrôlé des régions littorales, particulièrement néfastes pour l'équilibre et la biodiversité des

socio-écosystèmes marins et côtiers. La pertinence des prises de décision politiques en faveur de la protection des écosystèmes océaniques repose sur la connaissance de l'état de la biodiversité. La compréhension de sa dynamique en relation avec les bouleversements en cours est nécessaire pour évaluer la capacité d'adaptation du vivant, depuis les micro-organismes (plancton notamment) jusqu'aux grands pélagiques. Dans l'Atlantique, le Pacifique et l'océan Indien, ainsi qu'en Méditerranée, les chercheurs de l'IRD et leurs partenaires se mobilisent sur ce front, explorant les milieux littoraux (côtes sableuses, lagunes, mangroves, deltas et estuaires), côtiers (plateau continental) et hauturiers. Leurs recherches s'apparentent à une véritable course contre la montre car les milieux océaniques, sous l'effet de pressions intenses d'origine multiple, évoluent très vite, parfois avant même d'avoir été caractérisés. Mais l'observation et le suivi de populations ou d'écosystèmes entiers dans l'océan sont difficiles. Les recherches les plus récentes font appel à une complémentarité de disciplines (écologie, génétique, etc.) et d'observations menées à différentes échelles spatiales et temporelles et à divers niveaux d'organisation du vivant, du gène à l'écosystème. Elles s'appuient sur une grande diversité de méthodes et d'outils d'exploration. Une méthodologie innovante combinant observations fournies par des sondeurs acoustiques, modèles statistiques et modélisations numériques a ainsi récemment mis en évidence une diminution de la biomasse de la faune pélagique de 3 à 2 %, selon les scénarios. De nouvelles approches comme l'étude de l'ADN environnemental, l'utilisation des câbles optiques sous-marins de télécommunication pour recueillir en continu des données, ou encore le recours à l'intelligence artificielle ouvrent d'immenses perspectives, repoussant les limites de l'observation océanique.

La pollution marine atteint aujourd'hui des niveaux alarmants. Plastiques – sous forme de microparticules ou de véritables continents –, métaux lourds, hydrocarbures, composés chimiques, ordures ou organismes envahissants... l'océan est le réceptacle d'une pollution extrêmement abondante. Ces apports massifs d'éléments artificiels et la prolifération anormale d'organismes vivants (algues, méduses, étoiles de mer...) perturbent le fonctionnement et la productivité des écosystèmes et menacent la santé humaine. Les pays côtiers du Sud sont particulièrement menacés par ces perturbations du fait d'un développement économique et industriel intense, de systèmes de gestion des déchets sous-dimensionnés, voire inexistants, et d'une réglementation environnementale souvent déficiente. Les chercheurs abordent

de manière intégrée les pollutions marines en caractérisant les produits incriminés, leur transport, leur transformation et leur impact dans la chaîne trophique. Une telle approche est la condition *sine qua non* pour comprendre leur origine, leurs mécanismes d'action, évaluer des stratégies pour en limiter l'impact, mais aussi réguler les émissions des sources prépondérantes, qu'elles soient industrielles, domestiques ou agricoles.

Les scientifiques sont particulièrement mobilisés pour comprendre le fonctionnement et optimiser la préservation des récifs coralliens, écosystèmes à l'exceptionnelle biodiversité, essentielle aux populations côtières, boucliers naturels de protection face aux submersions, mais aussi les plus menacés dans l'océan tropical. Réchauffement et acidification des eaux, pollutions minière ou organique des lagons, pression d'espèces invasives et multiplication des événements climatiques destructeurs provoquent le blanchissement des coraux et leur mort progressive. De fait, 20 % de ces écosystèmes, qui abritent le quart de la biodiversité marine mondiale, ont d'ores et déjà disparu. Actuellement, les recherches s'attachent à découvrir comment les coraux s'adaptent aux nouvelles conditions environnementales et à identifier d'éventuels moyens pour les y aider. Ces études révèlent des capacités de restauration ou d'adaptation inattendues : certains coraux résistent à des conditions acides, suggérant qu'ils mobilisent des ressources génétiques ancestrales pour s'adapter, tandis que d'autres voient leur croissance ou leur capacité de résistance au blanchissement stimulées par des métaux comme le nickel et le manganèse. Bien qu'elles soulèvent encore maintes questions, ces recherches ouvrent des pistes prometteuses de restauration des récifs les plus menacés et permettent de dessiner les écosystèmes coralliens du futur.

La pression anthropique affecte également l'habitabilité des régions côtières. Une partie de l'humanité s'est développée dans les deltas, où les alluvions charriées par les fleuves ont rendu les terres particulièrement fertiles, favorisant une activité agricole intense. Les densités de population dans les grands deltas asiatiques comme ceux du Gange, du Mékong ou du fleuve Rouge sont ainsi parmi les plus élevées de la planète, dépassant 1 000 habitants par kilomètre carré. Ces régions deltaïques sont le résultat d'un équilibre délicat entre l'action de la mer, qui les grignote sans cesse, et ces apports fluviaux sédimentaires. Mais cet équilibre est aujourd'hui rompu, et les populations deltaïques voient leur littoral reculer, leurs terres arables se saliniser ou disparaître, leurs villes de plus en plus inondées, sous l'influence d'une série de facteurs : réduction des apports en sédiments liée à la construction de barrages

sur les fleuves, dragage souvent illégal du sable pour la construction des mégapoles, poids des villes que leurs vertigineux gratte-ciel et le pompage croissant dans les nappes phréatiques font s'enfoncer; variabilité hydrologique induite par les phénomènes climatiques comme El Niño, à quoi s'ajoute la montée du niveau de la mer induite par le changement climatique... Pour comprendre ce problème, en identifier les causes principales et donc proposer des solutions, les scientifiques travaillent à caractériser le fonctionnement de ces systèmes hydro-sédimentaires complexes et à comprendre les interactions entre dynamiques océaniques et fluviales, leurs réponses aux différents facteurs de variabilité, d'origine naturelle ou anthropique, à différentes échelles spatiales et temporelles.

Vers une nouvelle gouvernance de l'océan

L'océan nourrit aujourd'hui l'humanité au prix d'une surexploitation très préoccupante tant pour la santé des écosystèmes marins et côtiers que pour l'avenir des populations qui en vivent. L'augmentation continue de la demande en produits de la mer depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale a généré un essor prodigieux de la pêche mondiale – la production a été multipliée par 5 entre 1950 et la fin du xx^e siècle – avec un impact majeur sur les ressources : actuellement, un tiers des stocks (poissons, crustacés et mollusques) sont surexploités et plus de la moitié pleinement exploités, ce qui offre peu de possibilités d'expansion des pêcheries. Depuis 2000, on observe ainsi une diminution des captures dans les eaux tempérées et dans les zones côtières d'upwelling et, dans une moindre mesure, dans les eaux tropicales. L'aquaculture a pris le relais pour répondre à la demande des consommateurs, mais sa croissance considérable s'accompagne d'un cortège de nuisances, en particulier environnementales : plus des deux tiers de la production aquacole mondiale proviennent d'espèces nourries par des aliments composés, notamment la farine de poisson, aggravant la surpêche. Pêche et aquaculture, deux secteurs qui impactent fortement les écosystèmes marins, doivent, pour être durables, se développer dans le cadre d'une approche écosystémique intégrant une dimension écologique, sociale et économique, de manière à assurer la sécurité alimentaire et le développement de la filière

tout en préservant l'intégrité et la résilience des écosystèmes exploités. Ces enjeux sont particulièrement importants dans les pays du Sud où la pêche et l'aquaculture constituent des ressources essentielles en termes d'alimentation et d'emploi : plus 95 % des 58 millions de pêcheurs et pisciculteurs recensés dans le monde vivent en Asie ou en Afrique.

Dans un tel contexte, les connaissances scientifiques se révèlent indispensables. L'IRD et ses partenaires mettent en œuvre depuis plusieurs décennies d'importants programmes sur la pêche dans l'océan tropical. Dans l'Atlantique et l'océan Indien, des observatoires collectent des données biologiques et halieutiques sur les grands poissons pélagiques exploités par les pêcheries tropicales industrielles et semi-industrielles (senne, canne et palangre) et les mettent à disposition des pouvoirs publics, des organisations régionales des pêches, d'experts et de scientifiques. Ces travaux visent à promouvoir des pratiques plus durables de la pêche, notamment en étudiant les impacts environnementaux de certaines techniques de pêche et en contribuant à l'élaboration de solutions pour les réduire. Des études portent aussi sur les seuils de prélèvements permettant le renouvellement des stocks avec pour objectif de faire des recommandations sur les quotas de pêche et restaurer l'équilibre des écosystèmes marins. Au regard de son importance majeure dans les pays du Sud pour la sécurité alimentaire et par les revenus qu'elle génère, la pêche artisanale s'inscrit au cœur de ces recherches qui associent sciences biologiques et sciences sociales. Au Sénégal par exemple, ce secteur fournit 75 % des apports en protéines animales de l'Afrique de l'Ouest et représente une part non négligeable du PIB. Dans ce pays, les études ont montré la très grande résilience des pêcheries artisanales malgré la raréfaction de la ressource et la forte compétition avec la flotte industrielle. Une gestion plus durable des écosystèmes océaniques requiert aussi de porter les efforts sur l'aquaculture. Ici encore, les scientifiques s'attachent à promouvoir des modèles de production durables qui garantissent la sécurité alimentaire, assurent une meilleure qualité nutritionnelle des produits aquacoles, tout en diminuant l'impact des élevages.

Qu'il s'agisse de gérer durablement les ressources halieutiques, de protéger la biodiversité marine ou de renforcer la résilience des socio-écosystèmes côtiers, les pays du Sud ne disposent pas toujours de moyens comparables à ceux de nations plus riches, ni pour la mise en place de politiques d'adaptation face aux changements globaux, ni pour résister aux pressions

économiques émanant d'acteurs peu soucieux des enjeux environnementaux. Comment dans ce contexte la recherche peut-elle contribuer à une nouvelle gouvernance de l'océan ? Les scientifiques préconisent que, pour chaque socio-écosystème marin ou côtier considéré, les solutions prennent impérativement en compte de façon intégrée l'ensemble des mécanismes et des parties prenantes qui interviennent et interagissent dans son fonctionnement, ainsi que ses spécificités, sous peine d'aboutir à des résultats inefficaces, voire contre-productifs. Dans le sud-ouest de l'océan Indien, l'une des régions du monde les plus riches en biodiversité et où la pêche artisanale est au cœur des modes de vie, des recherches transdisciplinaires illustrent cette approche. Là, les chercheurs cherchent à définir des scénarios qui pourraient concilier la conservation de la biodiversité et la durabilité de la pêche grâce à des modalités de gestion durables et équitables qui tiennent compte de la spécificité des socio-écosystèmes locaux et de leur capacité d'adaptation. Dans ce cadre, en étroite concertation avec les acteurs locaux et s'appuyant sur des observatoires, ils étudient comment les mesures de gestion spatialisée, et notamment les aires marines protégées, peuvent être des outils efficaces pour la restauration de la biodiversité, tout en garantissant la résilience des pêcheries.

Mettre en place des politiques de conservation ou d'adaptation nécessite de renforcer les collaborations entre les scientifiques et les différentes parties prenantes (décideurs, gestionnaires, pêcheurs, consommateurs, etc.) pour que les enjeux soient débattus et les éventuelles solutions co-construites. Dans plusieurs pays côtiers d'Afrique de l'Est et îles de l'océan Indien, l'accent est mis sur une amélioration du dialogue science-décideurs et une meilleure prise en compte des savoirs locaux dans l'élaboration des politiques de conservation. Cela implique d'investir dans la création d'espaces de dialogues multi-acteurs sur les enjeux de la gestion littorale et océanique, la formation d'experts locaux aptes à conseiller les organes de décision, l'éducation et la sensibilisation des populations à la vulnérabilité des environnements marins. Au-delà des régions côtières, les grands fonds marins font aussi l'objet de campagnes d'exploration qui prennent en compte les rapports qu'entretiennent les populations riveraines avec cet environnement, largement méconnu. L'objectif est de proposer, en dialogue avec les acteurs politiques, économiques et associatifs, des outils de gestion face aux pressions subies par les grands fonds marins comme le changement climatique et les risques potentiels de l'exploitation future de leurs ressources biologiques ou

minérales. Ces différentes recherches mettent en exergue la nécessité de travailler sur le long terme pour établir une concertation réelle fondée sur la confiance, identifier les besoins des parties prenantes, construire des compétences locales solides et, ainsi, assurer la durabilité des initiatives.



La complexité des défis auxquels sont confrontés les socio-écosystèmes côtiers et marins nécessite une collaboration étroite entre disciplines scientifiques et doit s'appuyer sur des savoirs fondamentaux solides en progression constante. Elle requiert également un dialogue entre les scientifiques et tous les acteurs impliqués dans le fonctionnement et la gestion de ces milieux, en particulier à l'échelle locale. Cette approche interdisciplinaire et participative est essentielle pour développer des stratégies durables et adaptées aux contextes, qui puissent être appropriées à tous les niveaux de la société. Elle impose un niveau d'exigence et d'implication important et doit s'inscrire sur le long terme. Les différences de vocabulaire, priorités et échelles rendent en effet parfois difficile le dialogue entre disciplines, surtout lorsqu'elles sont éloignées : si ce dialogue est de mieux en mieux établi entre physiciens et biologistes, il le reste moins entre physiciens modélisateurs et anthropologues de terrain. De plus, les actions transdisciplinaires engageant les chercheurs hors de la sphère scientifique, qui émergent depuis une ou deux décennies, restent encore largement à développer et inventer. Ceci requiert notamment de renforcer le partage des connaissances issues de la recherche aussi largement que possible, tant au sein de la communauté scientifique qu'auprès de la sphère de décideurs, de la société civile, du monde économique et des citoyens.

L'océan, source de vie et moteur climatique, est confronté à des défis sans précédent. Répondre aux Objectifs de développement durable liés à l'océan est une responsabilité collective qui exige l'engagement de tous. La recherche scientifique, en particulier, joue un rôle crucial pour préserver cet écosystème vital. Seule une recherche transdisciplinaire, ouverte et partagée contribuera à dessiner un avenir où l'océan sera un bien commun préservé. Particulièrement aigüe au sein de la communauté académique, la

prise de conscience de l'urgence environnementale et sociale à laquelle sont aujourd'hui confrontés les socio-écosystèmes marins motive un nombre toujours croissant de scientifiques à emprunter cette voie. L'IRD y est aujourd'hui pleinement engagé, promouvant une recherche orientée vers l'action permettant une co-construction de solutions intégrant les savoirs locaux aux recherches, accessibles aux pays du Sud, et respectueuses des équilibres écosystémiques.

PARTIE 1

DES MILIEUX
EN ÉVOLUTION

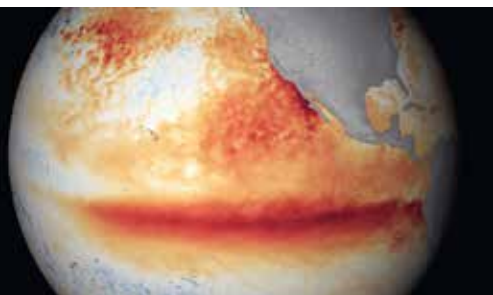
Grain sur le lagon de Tahiti, Polynésie française.





El Niño dans le viseur

El Niño est un moteur majeur de la variabilité climatique en zone intertropicale. Il modifie la pluviométrie, la productivité de certaines zones océaniques ou influe sur la formation des cyclones, avec de forts impacts sur les populations. Mieux comprendre ce phénomène est un objectif scientifique prioritaire.



© NOAA

Anomalies chaudes de température de surface de l'océan durant un épisode El Niño, en novembre 2015.

Dans les années 1980, les météorologues étaient formels : il ne sera jamais possible de prévoir le temps au-delà d'une ou deux semaines. Dix ans plus tard, des climatologues ont démontré le contraire en parvenant à prédire certaines anomalies climatiques plusieurs saisons à l'avance.

Pour en arriver là, il a fallu comprendre un phénomène dont on ignorait alors beaucoup : El Niño. Cet objectif, atteint de haute lutte, a nécessité d'observer et de collecter quantité de données grâce à des navires marchands, des campagnes océanographiques, des satellites, mais aussi des réseaux de bouées instrumentées (comme les bouées « TAO » installées depuis les années 1990 dans le Pacifique équatorial).

Ces observations ont révélé petit à petit les secrets d'El Niño, un phénomène climatique majeur lié aux interactions entre l'océan et l'atmosphère. D'ordinaire, dans le Pacifique, les vents alizés soufflent d'est en ouest, générant la remontée d'eaux profondes, froides et riches en nutriments, près des côtes sud-américaines, et des eaux plus chaudes favorisant de fortes pluies de l'autre côté du bassin. Mais quand un épisode El Niño survient, les alizés faiblissent, amenant des sécheresses en Australie et en Asie du Sud-Est, des eaux anormalement chaudes et peu productives au Pérou, ou des cyclones tropicaux en Polynésie française.

À la fin des années 1990, d'importantes avancées ont permis de mieux comprendre les interactions océan-atmosphère à l'origine du développement d'El Niño et les processus océaniques qui y mettent fin. Cependant, de nombreuses questions restent ouvertes. Comment traduire ce phénomène dans des modèles mathématiques simples ? Quelles sont les différences clés entre les épisodes El Niño extrêmes, aux impacts dévastateurs, et ceux plus modérés, limités au Pacifique central ? Ces enjeux sont cruciaux, car la plupart des modèles du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) prévoient un doublement des El Niño extrêmes d'ici à 2080, avec des conséquences majeures pour nos sociétés vulnérables aux événements climatiques exceptionnels.

PARTENAIRES

Centre d'études avancées
en zones arides, Chili

Institut géophysique du Pérou

Université d'Hawaï, États-Unis

Université de la Polynésie française,
France

Université Yale, États-Unis

- Des travaux de longue durée ont permis de mieux saisir les multiples facettes d'El Niño, mais de nombreuses questions restent ouvertes •••



© Wikipédia/R. Stuckert

Les inondations sont l'une des conséquences des événements El Niño, Porto Alegre, Brésil.

« Les événements El Niño provoquent des sécheresses dans le bassin amazonien et le nord-est du Brésil, ainsi que des inondations dans le sud du pays. Leurs conséquences socio-économiques pour le Brésil sont considérables, allant des pénuries d'eau et d'énergie à des pertes de récoltes. Les travaux de recherche sur El Niño ont permis d'améliorer les prévisions des événements extrêmes, contribuant ainsi à atténuer leurs impacts sur la sécurité hydrique, alimentaire et énergétique du Brésil. »

Regina Rodrigues, université fédérale de Santa Catarina, Brésil

Pirata, l'observatoire océanique de l'Atlantique tropical

Les océans tropicaux jouent un rôle déterminant dans la mécanique climatique de la Terre qui nécessite, pour être comprise, un suivi permanent et une instrumentation dédiée.



© IRD/B. Bourlès

Mise à l'eau d'une bouée Pirata dans l'océan Atlantique.

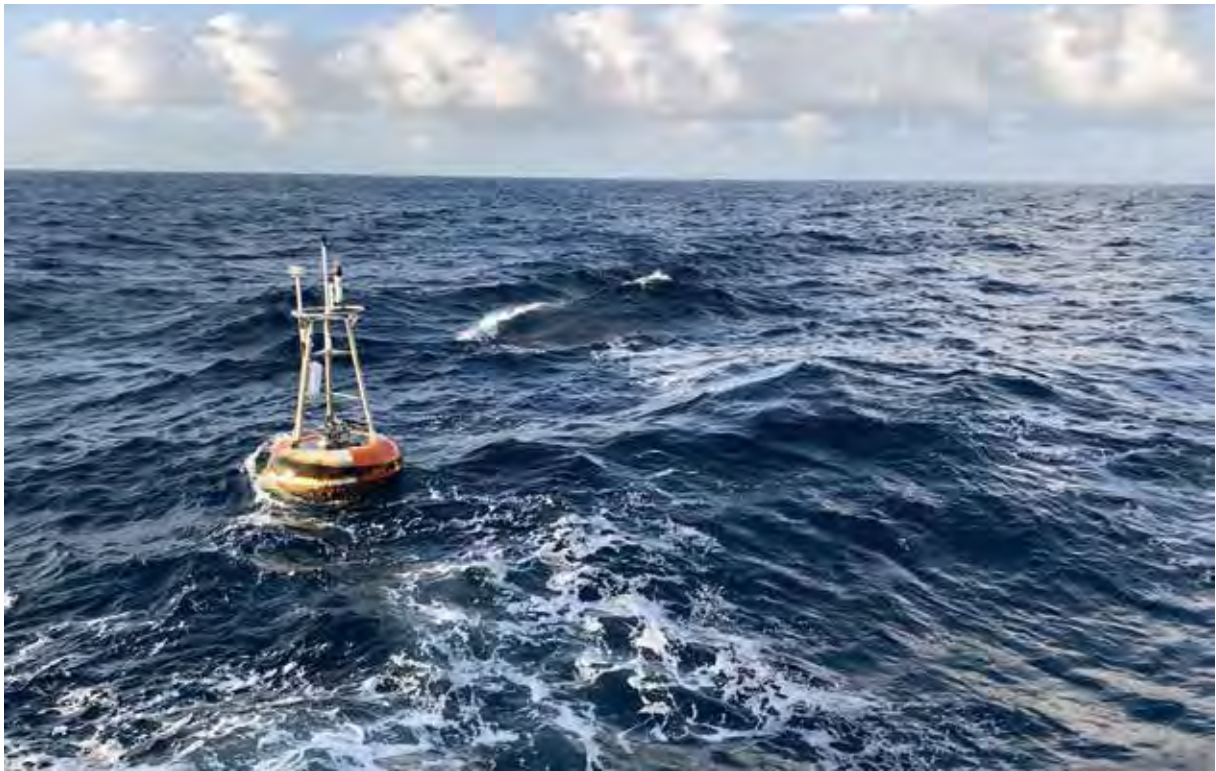
En 1960, la circulation des océans tropicaux était très peu connue... jusqu'à ce que des mesures de courants à différentes profondeurs soient effectuées dans la zone équatoriale du Pacifique à partir de Nouméa, montrant l'existence de sous-courants et de contre-courants insoupçonnés. Dans le même temps, les États-Unis s'intéressaient à l'Atlantique tropical Nord, berceau des cyclones qui ravagent les Caraïbes et leurs côtes.

En 1974, la France et les États-Unis décidaient de s'associer pour décrire la circulation de l'Atlantique équatorial et de comprendre comment la chaleur de l'océan était transmise à l'atmosphère. Des prélèvements d'eau ont été effectués dans les 500 premiers mètres de profondeur pendant les campagnes Gate, puis pendant celles du programme Focal/Sequal en 1982-1983. Le consortium montrait alors l'influence de la température océanique sur la mousson africaine et les pluies au Brésil.

En 1997, les États-Unis, la France et le Brésil sont allés encore plus loin en initiant un réseau de bouées météo-océaniques dans l'Atlantique tropical appelé Pirata. Depuis 2006, ce réseau comprend 18 bouées,

« Le succès du programme Pirata est le résultat d'un engagement international et d'une coopération scientifique soutenus, d'une volonté d'évoluer en fonction des besoins en matière de recherche et de surveillance, ainsi que d'un désir de partager les données avec la communauté scientifique et les centres opérationnels. Le système d'observation continue d'évoluer afin de répondre à un ensemble croissant de priorités de recherche et de défis opérationnels et climatiques. »

Hervé Giordani, Météo-France



© IRD/J. Lido

Bouée météo-océanique de la campagne Pirata.

qui doivent être remplacées tous les ans. Elles mesurent en temps réel des paramètres météorologiques de surface et océanographiques jusqu'à 500 m de profondeur. La France entretient six de ces bouées et trois mouillages qui mesurent le courant entre la surface et 300 m de profondeur le long de l'équateur. Cet entretien très coûteux (5 à 6 millions d'euros par an au total, dont 1,5 million pour la France) est absolument nécessaire pour maintenir la qualité des prévisions météorologiques. Et pas seulement...

... Un réseau de bouées scientifiques permet de comprendre et de suivre l'Atlantique tropical ...

En effet, depuis vingt-sept ans, et grâce à de solides collaborations avec les partenaires du Sud, du Brésil, d'Afrique de l'Ouest et de l'Afrique du Sud, Pirata a permis de comprendre le lien entre le refroidissement des eaux du golfe de Guinée et le démarrage de la mousson africaine en été boréal, ainsi que l'influence des eaux douces de l'Amazonie et du Congo sur les échanges de chaleur entre l'océan et l'atmosphère. Pirata fournit en outre des mesures indispensables pour comprendre l'influence de la variabilité à petite échelle (diurne) sur les échanges air-mer, pour valider les mesures faites par les satellites et pour alimenter les modèles météorologiques et climatiques.

PARTENAIRES

Laboratoire de l'environnement marin du Pacifique (NOAA), États-Unis

Institut national de recherche spatiale, Brésil

Université fédérale rurale de Pernambuco, Brésil

Centre Helmholtz pour la recherche océanographique de Kiel, Allemagne

Météo-France, France

Flotte océanographique française, France

Vagues extrêmes et cyclones tropicaux

Les cyclones tropicaux sont parmi les risques naturels les plus dévastateurs, et les inondations qu'ils provoquent sont responsables de plus de 90 % des pertes humaines et matérielles observées lors de ces événements.

© Nasir/GSFC/J. Desloîtres



Le cyclone Erica, qui a traversé la Nouvelle-Calédonie les 13 et 14 mars 2003.

Le changement climatique provoque la montée du niveau global des mers qui menace certaines îles du Pacifique comme les archipels Kiribati et Tuvalu. Dans ces conditions, les dangers et les impacts engendrés par les cyclones, dont les pluies, d'ores et déjà annoncés comme de plus en plus intenses par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), devraient exacerber la vulnérabilité côtière de ces États déjà fragilisés. D'où la nécessité d'étudier et de modéliser les vagues et les niveaux d'eau extrêmes que ces tempêtes vont engendrer.

Des outils simulant la genèse et la propagation des vagues cycloniques montrent que, lors des cyclones, les hauteurs de déferlement à l'approche des côtes peuvent augmenter de 35 à 50 % en moyenne dans les régions tropicales, et jusqu'à 100 % dans le Pacifique Nord. Plus étonnant encore, ces mêmes tempêtes tropicales peuvent avoir, par des effets de propagation à distance des vagues cycloniques, un impact sur des régions éloignées comme le Pacifique équatorial où de tels cyclones ne surviennent pourtant jamais.

... Les tempêtes tropicales participent à la vulnérabilité des îles de faible altitude ...

Un travail à plus petite échelle a permis d'établir des cartes de risques d'occurrence de vagues cycloniques le long des côtes de Nouvelle-Calédonie, ainsi que des cartes de risques d'inondation côtière dans des zones fortement peuplées où 70 % des niveaux d'eau extrêmes sont dus aux vagues des cyclones tropicaux. Ces vagues extrêmes, qui peuvent être très impressionnantes, atteignant plus de 7 m, sont susceptibles d'arriver sur les récifs tous les cent ans.

Enfin, concernant les lagons de Nouvelle-Calédonie, les données sur plusieurs cyclones tropicaux passés ainsi que sur des ensembles de cyclones virtuels ont permis de modéliser l'élévation du niveau de

PARTENAIRES

Institut français de recherche
pour l'exploitation de la mer, France

Bureau de recherches géologiques
et minières, France

Université de La Rochelle, France

Météo-France, Nouvelle-Calédonie

UMR Entropie (IRD, université de
La Réunion, CNRS, Ifremer, université
de la Nouvelle-Calédonie), France

Mairie de Bourail,
Nouvelle-Calédonie, France

Mairie de Touho,
Nouvelle-Calédonie, France

Direction de l'Industrie, des Mines
et de l'Énergie de la Nouvelle-Calédonie

Mairie d'Ouvéa,
Nouvelle-Calédonie, France

la mer sur les littoraux, avec des surcotes dépassant les 2 m dans les lagons étroits, notamment dans certains sites densément urbanisés. Ces événements extrêmes peuvent survenir tous les cinquante ans.

Le rôle protecteur des écosystèmes côtiers naturels, comme les mangroves et surtout les récifs, a pu être mis en évidence. Pour autant, ces barrières physiques sont submergées dès lors que surviennent les plus puissants cyclones provoquant des inondations importantes. Dans un contexte de changement climatique, et dans le scénario le plus probable, ce risque d'inondation se traduirait par un doublement des surfaces inondées. La cartographie fine des surcotes réalisée dans tous les lagons de Nouvelle-Calédonie permettra aux pouvoirs publics d'élaborer, à terme, des documents de planification et des plans d'adaptation au changement climatique.



© IRD/T. Ber

La mangrove protège les côtes lors du passage des cyclones, Nouvelle-Calédonie.

De la variabilité des upwellings

Les systèmes d'upwelling sont des zones de remontées d'eaux froides et riches en nutriments, très poissonneuses et importantes pour la pêche. Mais leur productivité varie d'une année sur l'autre. D'où viennent ces fluctuations ?



© IRD/A. Bertrand

Pêche au large du Pérou.

PARTENAIRES

Institut de la mer du Pérou

Université Cheikh-Anta-Diop de Dakar, Sénégal

Université Assane-Seck de Ziguinchor, Sénégal

De tous les upwellings, celui qui se trouve au large du Pérou est le plus productif. De loin même, puisqu'il fournit à lui seul 5 à 6 % de la pêche mondiale. Une corne d'abondance qui pourtant, parfois, se tarit complètement, comme en 1972, causant l'effondrement soudain d'un secteur économique entier.

Cette modification brutale a amené les équipes de recherche à s'interroger sur la mécanique locale et globale de cet upwelling – ou résurgence en français. Il apparaît que son moteur ne se situe pas dans les profondeurs océaniques : ce sont les vents et la force de Coriolis qui poussent les eaux de surface vers le large comme un tapis roulant, faisant remonter les eaux sous-jacentes riches en sels nutritifs... très lentement.

... Les scientifiques ont cherché à mieux saisir la mécanique complexe des upwellings afin d'anticiper les variabilités de productivité de pêche ...

C'est là que se trouve la clé de l'extrême productivité de la zone. Car dans ces eaux calmes, riches en nutriments et bien éclairées, le phytoplancton prolifère et, à sa suite, toute la chaîne alimentaire. Sauf que certaines années, lorsque le phénomène El Niño démarre, la machine se grippe et les eaux profondes ne remontent plus. Une couche d'eau venant de la zone équatoriale, chaude et pauvre en nutriments et en plancton, s'accumule alors en surface, stoppe la photosynthèse et fait fuir les poissons.

À l'inverse, lorsque l'upwelling fonctionne à plein, la production de matière organique est si forte qu'une partie (organismes morts, pelotes fécales, etc.) coule et est consommée par les bactéries océaniques, qui respirent et consomment l'oxygène ambiant. De quoi créer en profondeur une couche d'eau très pauvre en oxygène qui,



© IRD/Ifremer/O. Dugornay

Collecte de données océanographiques pendant la saison intense d'upwelling, Sénégal.

dans certains cas, à cause d'une onde océanique venue du nord, peut remonter et détruire d'un coup tout l'écosystème.

La façon dont les zones d'upwelling sont brassées par les vents et les ondes influence donc leur productivité. Cette mécanique complexe pourrait être à l'œuvre dans d'autres parties du monde comme en Afrique de l'Ouest, le long des côtes sénégalaises, et en Afrique du Sud. Avec quel devenir dans le contexte de changement climatique ? Dans les années 1990, des mesures avaient suggéré que la vitesse des vents allait augmenter, accélérant le moteur, et donc la productivité des upwellings. Mais des travaux plus récents montrent que cette tendance ne serait vraie que pour les hautes latitudes. Dans les régions proches des tropiques, il n'en serait rien, ce qui à terme pourrait engendrer une baisse de la productivité des upwellings du Pérou et du Sénégal.

Cartographie de l'aléa tsunami

En quelques minutes, un tsunami peut engendrer des dégâts humains, économiques et environnementaux majeurs. Une meilleure connaissance de ces événements est nécessaire pour mettre en place des systèmes d'alerte rapide, des plans d'évacuation efficaces et une résilience accrue des communautés côtières.



Stations satellitaires pour suivre le trait de côte et calculer la propagation des tsunamis, Équateur.

Certains événements ont un avant et un après. Il en va ainsi pour le séisme de Sumatra en 2004, dont la magnitude, supérieure à 9, a engendré un tsunami dévastateur qui a fait 250 000 disparus. Après ce drame, les systèmes d'alerte avertissant les populations côtières de l'arrivée d'un raz-de-marée se sont multipliés, mais ces approches ne sauraient suffire seules. En amont, il est nécessaire d'identifier les zones susceptibles d'être impactées et celles qui sont durablement abritées.

Pour obtenir ces informations et produire des cartes d'aléa, il faut construire des simulations numériques robustes, capables de décrire la propagation et l'impact d'un tsunami sur les côtes. Ces simulations nécessitent des modèles physiques fiables, une bonne connaissance de la nature de la source (séisme par exemple), ainsi que des données denses sur la topographie sous-marine et côtière. Ces modélisations permettent l'évaluation de l'aléa à moindre coût et viennent compléter le réseau d'observation des tsunamis.

Les travaux menés ces vingt dernières années ont abouti à plusieurs cartographies, principalement aux abords de zones de failles actives, par exemple dans le Sud-Est asiatique, les Caraïbes, le Sud-Ouest Pacifique, ainsi qu'en zone méditerranéenne.

« L'Institut océanographique de la marine équatorienne (Inocar) est responsable de la sécurité de la navigation et des risques marins. La zone sismique nord-andine est le siège de tsunamis récurrents, ce qui en fait également le relais équatorial du système d'alerte aux tsunamis du Pacifique. Nous avons ainsi pour tâches importantes d'élaborer et de maintenir à jour la cartographie des risques de tsunami, que nous relayons auprès de la sécurité civile pour la prévention des risques. »

Andrés Pazmiño, Institut océanographique de la marine équatorienne, Équateur

... De nouveaux outils de simulation numérique et de cartographie des risques permettront d'adapter l'aménagement des côtes à la menace de tsunami ...



© IRD/DR

Dégâts causés par un tsunami en 2004 en Indonésie.

Inversement, ces modélisations, complétées de données hydrographiques de tsunamis ou simplement de témoignages, permettent parfois d'acquiescer des informations sur la source du tsunami et d'estimer, par exemple, des magnitudes de séismes historiques. L'objectif est de contribuer à mieux décrire l'aléa sismique. On peut citer le séisme de Sumatra et certains séismes emblématiques du XIX^e siècle en Ligurie et aux îles Loyauté dans le Pacifique Sud.

Les études se poursuivent sur la zone de subduction nord-andine. Les outils et méthodologies sont en phase d'implémentation au sein du service océanographique équatorien. Objectif ? Être en mesure d'élaborer des cartes d'inondation et d'intensité, pour toutes les communautés du pays. Une longue tâche qu'il faudra actualiser sans cesse, mais qui pourra être reproduite ailleurs.

PARTENAIRE

Institut océanographique de la marine
équatorienne, Équateur

Comprendre la complexité du climat de l'Asie du Sud-Est

Modéliser le climat à l'échelle régionale est complexe parce qu'il faut entre autres choses croiser un grand nombre de variables interconnectées liées à l'atmosphère, l'hydrosphère, la surface terrestre ou la biosphère.



Arrivée de la pluie de mousson dans la baie de Nha Trang, Vietnam.

© IRD/H. Bataille

Pour qui s'intéresse au climat ou à la météo, le Sud-Est asiatique est sans doute l'une des régions les plus complexes du globe. S'y cumulent des aléas locaux (comme des typhons), des variabilités saisonnières (comme les moussons), des fluctuations interannuelles (comme El Niño/La Niña) et l'influence des changements globaux liés notamment aux modifications climatiques.

Mais ce n'est pas tout, car cette région abrite aussi quelque 22 000 îles dont la présence s'accompagne d'une production massive de nuages et de précipitations. À ceci s'ajoute un apport très important d'eau douce par les grands fleuves de la région, et de chaleur par l'atmosphère. De quoi perturber la circulation marine thermohaline globale, cette grande boucle de courants océaniques qui fait le tour du globe et dont la branche de surface passe du Pacifique à l'océan Indien à travers les mers d'Asie du Sud-Est. À sa dilution et son réchauffement s'ajoute son mélange, par la marée, avec les eaux profondes de la région, sans équivalent sur la planète.

... Une modélisation qui prend en compte les interactions entre air et océan et les processus de fine échelle permet d'améliorer la simulation des phénomènes climatiques en Asie du Sud-Est ...

PARTENAIRES

Université des Sciences et des Technologies de Hanoi, Vietnam

LMI Lotus (IRD, CNRS, université des Sciences et Technologies de Hanoi, Académie des sciences et technologies du Vietnam)

Cette région est donc soumise à un enchevêtrement de phénomènes atmosphériques, hydrologiques et océaniques, difficiles à démêler et à anticiper... ce qui est problématique au vu des enjeux humains et économiques régionaux : 10 % de la population mondiale vit en effet dans le Sud-Est asiatique, majoritairement sur les côtes et les deltas, à moins de 5 m au-dessus du niveau de l'eau.

« Depuis plus de dix ans, la communauté du programme Cordex-SEA (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment - Southeast Asia) réalise des “descentes d’échelle” des simulations globales menées pour le Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (Giec) afin de projeter les changements climatiques futurs pour l’Asie du Sud-Est, en se basant sur des modèles régionaux axés seulement sur l’atmosphère. Notre nouveau modèle couplé océan-atmosphère jouera un rôle majeur dans l’orientation des recherches de la communauté Cordex-SEA dans les années à venir. »

Thanh Ngo-Duc, université des Sciences et Technologies de Hanoi, Vietnam



© Flickr/Water Secure Partnership/E. Penaredondo

Passage du typhon Chanthu aux Philippines, 2021.

Pour mieux comprendre cette complexité, des scientifiques de différentes disciplines ont décidé d'associer leurs modélisations initialement développées pour simuler respectivement les mouvements atmosphériques et océaniques de la région. Un projet de long terme qui a permis d'obtenir un premier modèle couplé océan-atmosphère capable de reproduire de façon réaliste les phénomènes météorologiques et climatiques du Sud-Est asiatique, avec une résolution spatiale jusque-là inégalée.

Il apparaît que les interactions air-mer sont particulièrement importantes dans les zones côtières et qu'elles y sont très rapides. Bien plus rapides qu'imaginé. La preuve, pour parvenir à les saisir, il faut que le modèle recalcule environ tous les quarts d'heure, et non toutes les heures comme cela se faisait classiquement.

Avec ce travail, les scientifiques proposent une vision plus cohérente du tempérament océanique et atmosphérique de cette région déterminante pour le climat. De quoi améliorer les prévisions météorologiques, mais aussi les projections climatiques à long terme du Giec.

De la variabilité insoupçonnée des lagunes

En Afrique, deux tiers de la population vit à moins de 100 km des côtes, exerçant d'importantes pressions (pêche, pollution, aménagement, etc.) sur les écosystèmes côtiers, en particulier les lagunes.



© IRD/T. Stieglitz

Mesure des profils de salinité sur toute la profondeur de la lagune d'Iguela, Gabon.

Les lagunes côtières sont des écosystèmes très productifs qui servent de nurseries et d'habitats à une majorité d'espèces de poissons vivant ou passant le long des côtes. Pourtant, leur fonctionnement hydrologique et écologique reste mal connu. D'où l'idée de comparer trois lagunes différentes : deux fortement anthropisées, à Madagascar (Ambinanibe) et au Bénin (Nokoué), et la troisième au Gabon (Iguela), où les impacts humains directs restent encore limités malgré d'importantes activités pétrolières dans son bassin-versant.

Les résultats montrent que chaque lagune possède un fonctionnement unique, avec des processus biologiques extrêmement variés qui répondent aux particularités physiques et biogéochimiques spécifiques à chaque système lagunaire. Ainsi, dans la lagune gabonaise Iguela, la plus grande des trois, l'eau douce apportée par les rivières ne parvient jamais à chasser totalement le sel, même pendant la saison des pluies. Résultat : même les populations de poissons qui dépendent de l'eau de mer peuvent y survivre en saison des pluies intense.

Au Bénin, en revanche, sur la lagune Nokoué, l'influence des rivières pendant la saison des pluies est telle que la totalité de la lagune se

« Les lagunes sont des paysages courants du littoral gabonais. Ces espaces naturels méritent une attention particulière, car ils fournissent non seulement une grande partie des moyens d'existence des populations riveraines, mais ils jouent également un rôle central dans la fourniture de services écosystémiques bien au-delà de leurs périmètres respectifs, comme les zones de frayères pour les poissons côtiers et marins. La connaissance du fonctionnement, des services et des processus associés à ces écotones particuliers est une priorité pour le Gabon dans sa quête de développement et d'exploitation durable de ses ressources naturelles. »

Jean Hervé Mvé Beh, direction générale des Écosystèmes aquatiques, ministère des Eaux et Forêts, Gabon



© IRD/T. Stieglitz

La rivière Ifaho, qui se jette dans la lagune d'Ambinanibe, Madagascar.

remplit d'eau douce, modifiant radicalement la composition des populations de poissons au gré des saisons. Enfin, dans la lagune Ambinanibe, plus petite, les eaux de rivière sont suffisamment abondantes pour chasser l'eau salée de manière rapide et intermittente, cinq à six fois pendant la saison des pluies. De ce fait, les poissons réussissent à s'adapter en modifiant leur alimentation en fonction des variations de sel et de nutriments.

... Des études menées en Afrique
montrent la spécificité
de chaque système lagunaire ...

Ainsi, derrière le mot « lagune » se cachent plusieurs types de fonctionnement des écosystèmes côtiers. Les plus soumis à la variabilité environnementale pourraient être les plus résilients face au changement climatique ou aux pressions humaines. Dans une certaine limite cependant : dans la lagune Ambinanibe, par exemple, un projet de pipeline destiné à transporter 90 % de l'eau douce vers des régions arides pourrait profondément affecter le milieu lagunaire et les services écosystémiques associés. Une étude en cours vise à évaluer ce risque, tandis que les populations locales s'opposent activement à ce projet.

PARTENAIRES

Institut de recherches halieutiques
et océanologiques du Bénin

Centre national des données
et de l'information océanographique,
Gabon

Centre national de la recherche
scientifique et du développement
technologique, Gabon

Institut d'enseignement supérieur
d'Anosy, Madagascar

Mangroves mexicaines résilientes

Les mangroves ont montré leur résilience face aux changements globaux, ainsi que leur capacité à maintenir leurs fonctions écologiques essentielles. Un atout documenté par des données scientifiques associées aux savoirs locaux, qui pourrait orienter efficacement les choix d'investissements dans la course actuelle au crédit-carbone.

© IRD/C. A. Zabre Rojas



Sel sur les feuilles du palétuvier noir, espèce adaptée à la salinité du milieu, Marismas Nacionales Sinaloa, Mexique.



© IRD/C. A. Zabre Rojas

Reforestation par la plantation de palétuviers dans la zone de Marismas Nacionales Sinaloa, Mexique.

Bien que le Mexique figure parmi les pays abritant les plus vastes étendues de mangroves au monde, ces écosystèmes y sont gravement menacés, principalement en raison de la croissance démographique rapide et de l'urbanisation des littoraux. Comment la dégradation des mangroves affecte-t-elle leur capacité à stocker le carbone ? Pour répondre entre autres à cette question, une équipe scientifique franco-mexicaine a mené une étude approfondie sur trois mangroves mexicaines aux caractéristiques différentes, situées sur le littoral du Pacifique et du golfe du Mexique.

L'analyse de carottes sédimentaires a permis de retracer l'évolution du stockage de carbone. Bien qu'elles soient différentes, ces mangroves présentent une accumulation similaire de sédiments et de carbone au cours du XX^e siècle. Ces résultats, contraires aux hypothèses initiales, suggèrent que ces écosystèmes réagissent davantage à des dynamiques globales qu'à des influences locales.

Cette augmentation, particulièrement marquée depuis les années 1950, s'explique en grande partie par l'érosion accrue des bassins-versants,

« La résilience des mangroves dépend de l'interaction dynamique entre les marées, les apports fluviaux en eau et sédiments, et la capacité du sédiment à se maintenir face aux pressions climatiques et anthropiques. Dans des conditions favorables, telles que des plaines d'inondation alimentées par des fleuves, les mangroves montrent une capacité remarquable à s'adapter aux changements environnementaux, même face à une montée rapide des eaux. »

Francisco Javier Flores Verdugo, université nationale autonome du Mexique



© IRD/C. A. Zabre Rojas

Racines du palétuvier noir à Marismas Nacionales Sinaola, Mexique.

elle-même liée à la déforestation et à l'urbanisation de ces régions. Par conséquent, ces mangroves stockent de plus en plus de carbone d'origine terrestre, transporté par les fleuves jusqu'à la côte, et deviennent donc de vastes réservoirs durables de ce carbone stable.

**... L'analyse de carottes sédimentaires a permis
de mesurer l'augmentation du stockage de carbone
dans les mangroves mexicaines au cours du xx^e siècle ...**

Ces résultats illustrent la résilience des mangroves face aux changements globaux, ainsi que leur capacité à maintenir leurs fonctions écologiques essentielles. Un argument clé pour identifier les zones prioritaires en matière de conservation et de restauration. Associées aux savoirs locaux, les données scientifiques solides peuvent ainsi permettre d'orienter les investissements massifs liés au marché des crédits de carbone et faire que ce dernier devienne un moteur efficace du changement.

PARTENAIRES

UMR Locean (SU, CNRS, MNHN),
France

Université nationale autonome
du Mexique

Université de Tours, France

Une oasis dans un désert océanique

Le long de l'arc volcanique des Tonga, au large de la Nouvelle-Calédonie, une zone très productive et importante pour la pêche a été identifiée dans le vaste désert océanique du Pacifique tropical. Un mystère éclairci grâce à une campagne océanographique.



© IRD/CNRS/T. Vergoz

Échantillons de souches de plancton, Institut méditerranéen d'océanologie, Marseille.



© IRD/H. Bataille

Incubateurs à plancton, Tonga.

PARTENAIRES

Institut méditerranéen d'océanologie (MIO, CNRS, Aix-Marseille université, IRD, université de Toulon), France

UMR LOV (CNRS, Sorbonne université, Imev), France

Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Énergie de la Nouvelle-Calédonie, France

UMR Lemar (CNRS, IRD, Ifremer, UBO), France

Université de Tasmanie, Australie

Aux abords des îles Tonga, des scientifiques ont découvert une zone biologiquement très productive d'une surface représentant deux à trois fois la France. Une bizarrerie dans cette région du Pacifique aux eaux réputées pauvres, qu'ils ont décidé de passer au crible lors d'une campagne océanographique.

... Dans le Pacifique, des sources hydrothermales peu profondes sont à l'origine d'immenses efflorescences de plancton détectées par satellite ...

Sous la surface des eaux, à cet endroit, se trouve une chaîne de montagnes sous-marines de 2 000 km de long. Générée par la rencontre des plaques tectoniques pacifique et australienne, elle est criblée de volcans actifs. Certains sont très profonds, mais d'autres s'approchent de la surface, libérant leurs fluides hydrothermaux riches en fer à une profondeur comprise entre 200 et 50 m. Ces apports enrichissent la couche superficielle de l'océan, où la vie manque justement de cet élément nutritif essentiel. Selon les mesures physiques, chimiques et biologiques effectuées, les eaux de surface situées à l'aplomb d'un volcan actif présentent en effet une concentration en fer dissous dix fois supérieure à la normale. Or cet élément est indispensable aux cyanobactéries diazotrophes pour fixer l'azote atmosphérique dissous dans l'eau et le rendre assimilable par le plancton. Cet apport en fer, constant et durable depuis des millénaires, par les dizaines de volcans peu profonds de l'arc de Tonga explique alors les vastes efflorescences de plancton qui s'étendent sur 360 000 km².



© IRD/T Vergoz

Analyse du plancton au scanner, Institut méditerranéen d'océanologie, Marseille.

Ce plancton, également photosynthétique, fixe le CO_2 dissous dans l'eau de mer. Les résultats de cette campagne ont montré que cette oasis de vie contribue à l'enfouissement du carbone atmosphérique dans les profondeurs océaniques ($> 1\,000\text{ m}$). Ce processus, récemment mis en évidence, fait désormais l'objet de recherches approfondies grâce à un échantillonnage de données transmises par une bouée profileuse intelligente équipée de capteurs de haute technologie autonomes fonctionnant à l'énergie solaire et éolienne, et qui permet de scruter l'océan en surface comme en profondeur.

Des coraux résistants en Nouvelle-Calédonie

Le changement climatique s'accompagne d'une acidification et d'un réchauffement de l'océan dont l'amplification pourrait avoir des conséquences dramatiques sur les récifs coralliens.



© IRD/J.-M. Boré

Chenal permettant l'entrée de l'eau de mer dans la mangrove à Bouraké, Nouvelle-Calédonie.

Il y a une dizaine d'années, des scientifiques français et australiens identifiaient dans la mangrove de Bouraké, en Nouvelle-Calédonie, un récif corallien étonnant : il prospère dans des conditions extrêmes de chaleur, de pH et de désoxygénation. Un contexte environnemental qui pourrait ressembler à celui attendu pour la fin du siècle et qui, d'après les expériences conduites en aquarium, sonnerait le glas des coraux. Ou pas.

Depuis, les scientifiques analysent ce site unique au monde. Ils y étudient les capacités d'adaptation des récifs coralliens face à des modifications de l'environnement. À ce jour, une soixantaine d'espèces de coraux ont été répertoriées dans ce milieu acide, chaud et pauvre en oxygène. Or, fait surprenant, ces mêmes espèces sont les premières à succomber aux fortes chaleurs ailleurs dans le monde.

... Certains coraux résistants peuvent survivre dans des conditions physico-chimiques tout à fait inattendues et permettre de restaurer des parties de récifs coralliens ...

Lors des fortes chaleurs de 2016, seulement 20 % des coraux du « site laboratoire » de Bouraké ont blanchi, contre la grande majorité pour le reste de la Nouvelle-Calédonie. Cette capacité de résistance inattendue pourrait être liée à une symbiose avec une algue unicellulaire particulière, thermorésistante. Mais elle pourrait aussi s'expliquer par la facilité des coraux à capter des nutriments dans les eaux riches des mangroves.

Différentes expérimentations ont été réalisées et le matériel génétique des coraux a été analysé. La comparaison du patrimoine génétique des coraux de Bouraké avec celui des coraux vivant sur d'autres sites a donné le résultat le plus surprenant : les coraux de Bouraké ne sont pas différents des autres, ils n'ont donc pas été sélectionnés

PARTENAIRES

Centre international des récifs coralliens de Palaos

Réseau international des analogues naturels du CO₂

« Donner une chance aux écosystèmes coralliens face au changement global est un impératif écologique et socio-économique. Par leur valeur patrimoniale, les récifs coralliens permettent à 500 millions de personnes de vivre dans les zones tropicales. Les résultats des études menées en Nouvelle-Calédonie sur le site de Bouraké soulignent l'urgence d'agir. Puissent ces résultats encourager les décideurs à prendre les mesures nécessaires pour un juste équilibre entre profit et gestion durable de l'environnement. »

Claude Payri, IRD, Nouvelle-Calédonie



© Icona Network/N. Job

Recherches sur les effets de l'acidification des océans au Centre international des récifs coralliens de Palaos.

par l'environnement hostile qui aurait joué le rôle de filtre. En fait, la population est la même que sur les autres sites.

Ce résultat suggère que la plupart des coraux pourraient avoir en leur sein un pool d'individus capables de résister à ces conditions et donc de survivre au changement climatique. L'espoir est donc permis, dans une certaine mesure... Car la capacité de ces coraux résistants ne suffirait pas non plus à repeupler des récifs entiers ; en l'état, elle ne pourrait être utilisée que pour sauver ou restaurer des parties de récifs coralliens. Seule une réduction drastique et durable des émissions de gaz à effet de serre assurera la survie de certains récifs existants.

Sargasses colonisatrices

Les sargasses sont des algues marines brunes dont deux espèces pélagiques, *Sargassum natans* et *Sargassum fluitans*, prolifèrent en masse dans l'Atlantique tropical depuis 2011. Leur accumulation le long des côtes menace les écosystèmes et l'économie des Caraïbes et de l'Afrique de l'Ouest.



© IRD/P. Quenahervé

Dégâts causés par des radeaux de sargasses dans le port de Marigot, Martinique.

PARTENAIRES

UMR Legos (Cnes, CNRS, IRD, UT3), France

Mercator Ocean International, France

UMR MIO (Aix-Marseille université, université de Toulon, CNRS, IRD), France

Centre de recherche scientifique et d'enseignement supérieur d'Ensenada, Mexique

Collège de la frontière Sud, Mexique

Université São Francisco, Mexique

Si Christophe Colomb, en 1492, avait déjà signalé la présence de radeaux flottants de sargasses dans l'Atlantique Nord, ces sargasses pélagiques semblent avoir été cantonnées depuis plusieurs siècles au gyre subtropical et au golfe du Mexique. Pourtant, à partir de 2011, elles commencent à apparaître beaucoup plus au sud et dans des quantités sans précédent, notamment sur les côtes des Antilles. Cette prolifération gêne les activités économiques comme la pêche ou le tourisme, menace la santé des populations côtières, notamment via des émissions d'hydrogène sulfuré sur les plages, mais perturbe aussi des écosystèmes côtiers fragiles tels que les herbiers, les mangroves ou les récifs coralliens.

Pour expliquer ce fléau, les chercheurs ont d'abord imaginé un lien avec le développement continu d'activités humaines dans les bassins-versants de l'Amazonie ou du Congo, ce qui aurait pu amplifier l'apport d'éléments nutritifs vers l'océan et favoriser la présence des sargasses sous de nouvelles latitudes. Mais l'analyse d'images satellitaires et le développement de modèles numériques ont montré que les lieux de croissance des sargasses étaient en réalité peu ou pas connectés aux panaches de ces grands fleuves. Alors quoi ? Des études combinant observations et modélisation numérique ont révélé qu'un mode de variabilité climatique interannuel appelé oscillation nord-atlantique, associé à une variation particulièrement forte en 2009-2010, avait engendré de façon transitoire des courants océaniques anormaux. Ceux-ci ont transporté des sargasses plus au sud, où elles ont trouvé un environnement favorable à leur croissance et où elles persistent depuis.

Les chercheurs ont ensuite développé un système de prévision saisonnière à l'échelle de l'Atlantique tropical pour anticiper les échouements d'algues jusqu'à sept mois à l'avance. Il devrait permettre notamment aux collectivités ou aux acteurs privés d'adapter la protection des côtes ou la collecte de ces algues. Des travaux en cours permettront d'estimer si la zone de prolifération risque de s'étendre dans les années ou les décennies à venir ou si des retours en arrière sont encore possibles.

... L'observation satellitaire et la modélisation numérique ont montré que l'apparition récente des sargasses dans la région des Antilles – et leur persistance – est liée à une anomalie temporaire des courants marins ...



© IRD/S. Ruiton

Sargasse flottant à la surface de l'océan.

« Bien que d'importantes avancées scientifiques aient été réalisées concernant le problème des sargasses, nous avons encore plus de questions que de réponses, et de grands débats subsistent sur presque tous les aspects liés aux nouvelles efflorescences de sargasses. Toutefois, la quasi-totalité des scientifiques s'accorde à dire que les efflorescences de sargasses se poursuivront à l'avenir et que leurs effets néfastes se répercuteront sur d'autres écosystèmes, en particulier, et avec beaucoup d'inquiétude, sur les récifs du système récifal méso-américain. »

Julio Sheinbaum, Centre de recherche scientifique et d'enseignement supérieur d'Ensenada, Mexique

De la suie dans l'eau

Quand les matières organiques brûlent, elles émettent dans l'air du dioxyde de carbone (CO₂), mais aussi des particules, dont du carbone-suie qui impacte le climat et la santé humaine, mais pas seulement.



© IRD/J.-C. Gay

Usine de traitement du nickel à Doniambo, Nouvelle-Calédonie.

En 2005, un bien étrange phénomène est observé dans le lagon de Nouvelle-Calédonie, à proximité de Nouméa : dans les eaux de surface, l'activité bactérienne a subitement augmenté tandis que les processus microbiens ont été modifiés... avant de revenir à la normale. Il faudra tester de nombreuses hypothèses pour comprendre l'origine de ce phénomène, à savoir la forte concentration de carbone-suie dans l'air. En effet, les vents ayant cessé pendant plusieurs jours, les particules atmosphériques, notamment celles émises par la centrale au fioul de l'usine de nickel, se sont concentrées au-dessus du lagon en un épais nuage brun, ce qui a favorisé le dépôt de carbone-suie dans les eaux de surface et son action sur les micro-organismes marins.

Ainsi, le carbone-suie, particule née de la combustion incomplète des matières fossiles ou des biomasses, avait une vie et une influence dans le monde aquatique, marquant le début d'un tout nouveau champ de recherche. Car jusque-là, le carbone-suie n'était étudié que dans l'atmosphère où il réside moins d'un mois. Son devenir ensuite n'était donc pas vraiment un sujet. À tort.

Pour avancer sur la question, des travaux ont été lancés au Vietnam, émetteur important de carbone-suie, afin de décrire le parcours de ces particules dans le cycle de l'eau. Ils ont démontré que la grande majorité du carbone-suie émis dans l'atmosphère finit sa course dans l'océan. Bien que largement ignorée, cette pollution constitue un

« Le sujet du carbone-suie dans l'air et l'eau est récent au Vietnam. Grâce à notre collaboration avec l'IRD, nous avons étudié ses fluctuations et ses impacts sur les écosystèmes côtiers du nord. Ces travaux, significatifs scientifiquement et en pratique, fournissent une base solide pour les gestionnaires et décideurs du pays. Ils permettront de développer des solutions efficaces pour surveiller et protéger l'environnement, tout en intégrant ce polluant dans les politiques environnementales. »

Chu Van Thuoc, Institut de l'environnement et des ressources marines, Vietnam



© IRDX, Mari

Activités industrielles polluantes dans la région d'Halong, Vietnam.

problème majeur pour les océans, avec des apports qui dépassent de 2 à 10 fois ceux du plastique. Avec quels impacts ? C'est ce que les scientifiques ont ensuite tenté de découvrir au travers d'expériences en laboratoire ou d'observations *in situ*.

**... Le carbone-suie a des effets antagonistes
sur le milieu marin qui pourraient influencer sur l'efficacité
du pompage de CO₂ par l'océan ...**

Ces études révèlent que dans le milieu marin, le carbone-suie absorbe de la matière organique, des nutriments, des composés toxiques, des virus, entraînant des effets antagonistes : il stimule d'une part l'activité des bactéries aux dépens du phytoplancton, ce qui aurait tendance à diminuer le pompage de CO₂ par l'océan ; d'autre part, il favorise la formation de grands agrégats organiques, ce qui tendrait plutôt à augmenter le pompage de CO₂ par l'océan. Ces deux mécanismes pourraient donc influencer sur l'efficacité de la pompe biologique océanique. Beaucoup de travaux restent toutefois à réaliser pour cerner plus précisément les effets du carbone-suie marin sur les écosystèmes, la santé ou le climat.

PARTENAIRES

Institut de l'environnement
et des ressources marines,
Académie des sciences et technologies
du Vietnam

Université des Sciences
et des Technologies de Hanoi, Vietnam

Plastiques : des fleuves à l'océan

L'océan Indien fait face à une pollution importante par les plastiques, qu'il est urgent d'endiguer en s'appuyant sur les données de la recherche.

© IRD/L. Weiss



Déchets plastiques collectés après échouage sur la plage de Manhambe, isolée des activités humaines, Mozambique.

On estime que 15 à 25 % de la pollution plastique océanique mondiale s'accumule dans l'océan Indien, un bassin connecté à un tiers de la population mondiale via les fleuves. Étudier la distribution de cette pollution plastique représente un enjeu majeur pour les pays riverains. Selon les scientifiques, les rejets de débris plastiques proviendraient majoritairement du golfe du Bengale et d'Asie du Sud-Est, notamment lors de la mousson d'été, période où les précipitations extrêmes intensifient le lessivage des sols et le rejet des déchets vers la mer.

Une fois la pollution plastique en mer, les courants océaniques la dispersent à des milliers de kilomètres de sa source, sur des temps de dérive de plusieurs années. Par exemple, des quantités abondantes de microplastiques flottants ont été observées entre Madagascar et l'Australie où la modélisation des courants a mis en évidence une convergence des courants marins de grande échelle formant la zone d'accumulation du gyre subtropical de l'océan Indien. Ce gyre s'étend jusqu'aux abords de l'île de La Réunion où certains oiseaux marins, tels que les pétrels de Barau, se nourrissent, augmentant ainsi leur risque d'ingestion de déchets plastiques.

Si quelques observations existent en Asie et autour des îles, les côtes d'Afrique de l'Est sont encore largement sous-échantillonnées. Un comptage des macroplastiques transportés par le fleuve Incomati, au

« Les activités terrestres humaines et les processus hydrologiques sont essentiels pour comprendre la pollution plastique. En climat tropical, les périodes sèches prolongées favorisent l'accumulation de déchets sur terre, tandis que les pluies intenses remobilisent les déchets vers les canaux de drainage. Les processus clés du transport des plastiques en milieu tropical restent peu étudiés, soulignant le besoin de données scientifiques et de mesures efficaces pour réduire les transferts de pollution de la terre vers la mer. »

Dinis Juizo, université Eduardo-Mondlane, Mozambique



Bouteille en plastique dans la végétation sur les berges de l'estuaire de l'Incomati, Mozambique.

Mozambique, a donc été réalisé durant la saison des pluies pour établir un état des lieux de la pollution dans l'estuaire. La quasi-totalité des déchets identifiés sont des emballages alimentaires, dont la moitié des bouteilles plastiques. Le pic de déchets culmine à 10 plastiques par heure, bien en deçà cependant du maximum estimé dans le Rhône en France (293 plastiques par heure). La compréhension des flux de polluants plastiques vers le milieu marin nécessite donc de considérer plusieurs éléments : la diversité des régimes hydriques, les stratégies de gestion des déchets, les activités anthropiques des bassins-versants et la complexité des dynamiques de transfert.

**... Une approche, mêlant modèles et observations,
vise à mieux quantifier les flux et suivre les trajectoires
du plastique dans l'océan indien ...**

Au-delà de la quantification des flux, ces recherches contribuent à mieux tracer les trajectoires du plastique en mer afin d'identifier les zones d'échouage qu'il faudra dépolluer – particulièrement lorsqu'il s'agit d'écosystèmes sensibles –, ainsi que les zones d'émission où il est essentiel de mettre en place des moyens adaptés pour endiguer les sources de pollution. De quoi donner force aux arguments des pays qui tentent de faire bouger les réglementations internationales sur la question du plastique.

PARTENAIRES

Faculté d'Ingénierie civile, université
Eduardo-Mondlane, Mozambique

Écologie des Dunes de Dovela,
Mozambique

UMR Entropie (IRD, université
de La Réunion, CNRS, Ifremer,
université de la Nouvelle-Calédonie),
France

Du devenir des eaux fluviales dans l'océan

Les eaux fluviales apportent de l'eau douce, mais aussi des nutriments, des contaminants et des sédiments. Autant d'éléments dont il est primordial de suivre le parcours dans l'océan ou sur la côte, en particulier celui des polluants.



© IRD/G. Courcoux

Village flottant sur pilotis et bateaux en baie d'Halong, Vietnam.

PARTENAIRES

LMI Lotus (IRD, CNRS, université des Sciences et Technologies de Hanoi, Académie des sciences et technologies du Vietnam)

Université des Sciences et Technologies de Hanoi, Vietnam

Institut de l'environnement et des ressources marines, Vietnam

UMR Legos (Cnes, CNRS, IRD, UT3), France

Le delta du fleuve Rouge au Vietnam est l'une des régions les plus densément peuplées au monde et le lieu d'une intense activité agricole et industrielle. Comme partout dans le monde, les usages domestiques, les pratiques agricoles et industrielles, les systèmes de traitement des eaux usées sont autant de facteurs qui impactent la qualité de l'eau dans les sols et les rivières.

Les nutriments, les contaminants, comme des métaux lourds ou des plastiques, ainsi que des organismes potentiellement pathogènes pour les écosystèmes et les humains sont transportés par les différentes branches du delta et transitent ensuite par les estuaires pour être exportés vers l'océan.

Le devenir de ces polluants dans l'eau de mer ou dans les sédiments est déterminant pour la qualité de l'eau dans des provinces où aquaculture et pêches représentent un pilier de l'économie locale. Si l'analyse d'échantillons prélevés *in situ* permet de surveiller les taux de contamination et d'en explorer les sources, la connaissance de la dynamique des panaches fluviaux est essentielle pour mieux comprendre et prévoir la dispersion des polluants. Les processus dynamiques qui gouvernent la variabilité du fleuve Rouge sont étudiés à l'aide de modèles numériques.

... Un ensemble de simulations permet de suivre
le parcours en mer des eaux du fleuve Rouge, au Vietnam ...

Les scientifiques ont montré une forte variabilité du panache du fleuve, à cause des apports fluctuants en eaux douces et du vent, mais aussi du degré de mélange entre l'eau douce et l'eau salée qui, elle, entre dans l'estuaire au gré des marées. Ces paramètres modifient

« L'analyse approfondie de la variabilité du panache du fleuve Rouge fournit des informations précieuses sur le transport et la dispersion des eaux fluviales dans l'océan, contribuant ainsi à une gestion efficace des risques de pollution. En outre, ces travaux ouvrent la voie à des études futures, par exemple sur les impacts du changement climatique sur la variabilité du panache du fleuve Rouge, qui seront essentielles pour développer des plans de gestion durable à l'avenir. »

Nguyen Duy Tung, université des Sciences et des Technologies de Hanoi, Vietnam



© IRD/P. Cayré

Bateaux de pêche « industrielle » à l'amarrage, baie d'Halong, Vietnam.

fortement la longueur et la dispersion du panache, mais aussi son comportement physique.

Pendant la saison de la mousson de nord-est, le panache est peu étendu (environ 20-30 km de large) mais profond, et longe la côte vietnamienne en s'écoulant vers le sud. En début d'été, la mousson se renverse, le panache change de direction et part vers le nord. En fin d'été, pendant la saison humide, il se dirige vers le large dans le golfe du Tonkin. Il forme alors en surface une nappe d'eau peu salée, très fine, qui s'étend sur 50 à 100 km.

Ces recherches peuvent être utilisées pour explorer des systèmes de suivi et permettent aussi d'avancer dans la compréhension d'environnements particulièrement vulnérables pour lesquels il est nécessaire d'imaginer des plans de prévention des risques, ainsi que des mesures d'atténuation et d'adaptation.

Sur la piste du plastique océanique

Le plastique doit son succès commercial à sa durée de vie. Mais cette qualité devient un défaut quand il est question de son devenir dans l'environnement où il pose, entre autres, des problèmes de toxicité.



© IRD/T. Berr

Fou masqué au milieu de débris en plastique, Clipperton.

Cette histoire commence comme un récit de vacances, avec deux bouteilles à la mer trouvées par un chercheur sur une plage en Nouvelle-Calédonie. D'après les étiquettes, l'une viendrait des îles Salomon, l'autre de Papouasie-Nouvelle-Guinée. Une bizarrerie. Car si l'on se fie aux modèles de circulation océanique, aucune des deux n'aurait dû se trouver là. Et pour cause : aucun courant de surface connu n'aurait pu les y acheminer.

Cette incohérence a amené une équipe de recherche à modéliser le déplacement des plastiques dans la région. Elle a d'abord utilisé les courants géostrophiques de surface suivis depuis une trentaine d'années par l'altimétrie satellitaire, pour montrer que ces bouteilles auraient dû arriver en Australie. Ce qui ne correspond pas à la réalité. Pour les faire échouer en Nouvelle-Calédonie, il a fallu ajouter l'influence du vent et des tourbillons océaniques de méso-échelle (10-100 km) qui sont le pendant maritime des dépressions et des anticyclones dans l'atmosphère.

Ce faisant, les scientifiques ont réussi à reconstruire le trajet des bouteilles sur 60 à 90 jours pour un transit entre la Nouvelle-Calédonie

« Les recherches sur la dispersion de la pollution marine en Indonésie et en Asie du Sud-Est se sont principalement concentrées sur la distribution des plastiques à la surface de l'océan, alors que le comportement et le devenir des plastiques dans la colonne d'eau restent insuffisamment étudiés. Pour combler cette lacune, je cherche à comprendre la dynamique de la dispersion des plastiques à différentes profondeurs de l'océan à l'aide d'un modèle numérique et des méthodes lagrangiennes. Les résultats devraient offrir de nouvelles perspectives sur les voies de distribution du plastique, soutenir les efforts de l'Indonésie pour atténuer la pollution marine, et au final, renforcer la collaboration internationale pour une gestion durable des océans. »

Dava Amrina, université de Bretagne occidentale, France



© Unsplash/N. Bertolt Jensen

Déchets plastiques à la surface de l'océan.

et les archipels des îles Salomon ou de la Papouasie-Nouvelle-Guinée. Ils ont pu mettre en évidence le rôle des vents, des vagues, des courants, des marées et des tourbillons dans le transport en pleine mer des plastiques. C'est notamment grâce à ces facteurs cumulés que l'on peut ainsi simuler les grands gyres océaniques des régions subtropicales, qui accumulent et emprisonnent les plastiques flottants parfois depuis plus de vingt ans à leur surface.

... Les courants océaniques, seuls, n'expliquent pas l'itinéraire des plastiques flottants sur l'océan ...

Ce travail a ensuite été réadapté afin de simuler les flux de plastiques au travers des quelque 17 000 îles de l'Indonésie. Ce pays ambitionne en effet de réduire de 70 % ses émissions de déchets plastiques. De fait, il cherche à mieux les tracer, pour identifier notamment les zones d'échouage et organiser le ramassage. Les analyses des modèles ont confirmé l'importance des sources de pollution issues des rivières. Elles ont aussi mis en évidence le rôle clé des échouages comme puits de déchets, mais aussi comme sources en cas de reprise par la mer. Il s'avère que 60 % des déchets émis s'échouent à moins de 1 000 km de leur point d'entrée dans l'océan, et une connectivité significative à plus grande échelle, vers l'océan Indien, a été aussi mise en évidence.

PARTENAIRES

Agence nationale de la recherche
et de l'innovation, Indonésie

Agence de météorologie,
de climatologie et de géophysique,
Indonésie

Agence française de développement,
France

Ambassade de France en Indonésie

Nos amis des profondeurs

Les recherches menées ces dix dernières années dans l'océan profond révèlent un monde varié, connecté au nôtre, qui rend des services écosystémiques incommensurables.



© IRD/A. Bertrand

Tri du matériel collecté lors d'un chalutage en eaux profondes, Brésil.

Parce qu'ils sont étranges, qu'ils mangent parfois plus gros qu'eux ou éclairent l'obscurité comme des phares dans la nuit, les poissons des profondeurs ont un fort pouvoir de fascination. Pourtant, quoi de plus éloigné de nous que ces poissons, avec leurs gueules et formes étranges qu'ils baladent dans l'immensité océanique, quelque part entre 200 et 5 000 m de profondeur ? Pour les voir, il faut entrer dans un musée d'histoire naturelle, feuilleter un livre ou regarder un film. Quasi étrangers à notre monde, ils en sont une pierre angulaire insoupçonnée.

En ce qui concerne les 1 000 premiers mètres de la colonne d'eau, des données acoustiques et de chalutage, notamment au large du Brésil, montrent qu'ils sont bien plus nombreux, divers et complexes qu'imaginé. Bien que relativement petits en taille, ils constitueraient la plus grande biomasse de vertébrés présents sur Terre.

... Des observations en eaux profondes révèlent le rôle prépondérant de cet écosystème fascinant ...

Les observations montrent en outre que ces poissons des profondeurs effectuent d'importantes migrations verticales. Ils peuvent traverser une vaste portion de la colonne d'eau, et donc une grande partie des zones pélagiques, en une seule journée, ce qui en fait de grands voyageurs, mais surtout de grands convoyeurs. Ils seraient en effet des maillons essentiels dans le transport du carbone vers les profondeurs océaniques, un

« La recherche menée au Brésil par l'IRD s'est imposée comme un modèle de réussite pour l'avancement des études sur la biodiversité, l'écologie et la conservation des écosystèmes marins profonds historiquement négligés. Ce partenariat dépasse les objectifs académiques traditionnels, en favorisant non seulement une production scientifique de haute qualité, mais également en servant d'outil pour former et autonomiser de jeunes scientifiques, créant ainsi des opportunités de progrès significatifs dans des domaines prioritaires de la science. »

Michael Maia Mincarone, Institut de la biodiversité et de la durabilité, université fédérale de Rio de Janeiro



© IRD/G. Roudaut

Poisson-vipère *Chauliodus sloani*, poisson abyssal, Brésil.

phénomène qui contribue à la « pompe biologique du carbone », elle-même essentielle au cycle océanique du carbone.

Dans le contexte actuel de changement global (réchauffement climatique, perte de biodiversité, etc.), ces écosystèmes doivent être absolument conservés. En effet, ils jouent un rôle crucial dans les chaînes alimentaires marines, nourrissant notamment les thons et les baleines, et influençant ainsi indirectement les activités de pêche. Par ailleurs, ils représentent un énorme potentiel pour les biotechnologies.

Or, avant même de comprendre pleinement les conséquences d'une éventuelle exploitation, le secteur des pêches commence à s'intéresser de près à ces poissons des profondeurs, qui leur sont déjà utiles pour leur rôle essentiel en alimentant les thons et les baleines. Pourtant, il est crucial de poursuivre l'exploration scientifique avant de commencer l'exploitation de ces zones... pour mieux connaître cet écosystème encore mystérieux et préserver ces poissons des profondeurs qui pour être étranges n'en sont pas moins indispensables à la vie marine.

PARTENAIRE

Institut de la biodiversité
et de la durabilité, université fédérale
de Rio de Janeiro, Brésil

Du micronecton au thon

La pêche au thon représente plus de 70 % du PIB des petits pays insulaires du Pacifique tropical Ouest et central. Or, cette activité est menacée par le réchauffement climatique qui risque de déplacer ou de réduire les populations de thons.



© CFS/D. Itano

Pêche au thon à la canne dans le Pacifique Ouest.

Le thon se nourrit du micronecton, organismes de toute forme (mollusques, crustacés, poissons), mesurant entre 2 et 20 cm, qui évoluent dans la colonne d'eau, principalement entre la surface et 1 000 m de profondeur. Et comme nous consommons ce thon, les vicissitudes du micronecton face au climat ou aux diverses variations environnementales sont devenues des objets d'étude et de surveillance, mais aussi des sources d'inquiétude.

Car d'après des travaux récents, le micronecton de la zone tropicale est susceptible de perdre entre 3 et 22 % de sa biomasse à la fin du siècle. Si l'on continue sur la même trajectoire, à l'horizon 2050, trois espèces de thons du Pacifique tropical (bonites à ventre rayé, thons jaunes et obèses) pourraient se déplacer vers l'est, sortir des zones économiques exclusives (ZEE) et se retrouver dans les eaux internationales, devenant exploitables directement par les grands pays industrialisés.

Ce changement d'aire de répartition pourrait avoir un énorme impact économique. Car les pays insulaires du Pacifique, qui, jusque-là, négocient entre eux et en bonne intelligence les jours de pêche de leurs ZEE, pourraient perdre jusqu'à 20 % de leurs ressources en thons et donc de leurs revenus. De quoi créer une « injustice climatique » pour des pays qui ne sont absolument pas responsables du changement climatique. Dans un tel contexte, documenter scientifiquement le phénomène est nécessaire pour permettre aux petits pays insulaires lésés de se défendre et réclamer des compensations.

Comprendre le comportement futur du micronecton est donc crucial, mais ardu, car ces organismes ne sont pas si simples à observer. Les dispositifs d'observation actuels utilisés notamment durant les campagnes à la mer (échantillonnage direct par chalut, acoustique active, ADN environnemental, systèmes vidéo) offrent des représentations des espèces et de la biomasse de micronecton très différentes.

PARTENAIRES

La Communauté du Pacifique,
Nouvelle-Calédonie

Institut français de recherche
pour l'exploitation de la mer, France

Centre national de la recherche
scientifique, France

UMR Entropie (IRD, université
de La Réunion, CNRS, Ifremer,
université de la Nouvelle-Calédonie),
France

UMR Marbec (IRD, Ifremer, CNRS, UM,
Inrae), France

UMR Lemar (UBO, CNRS, IRD, Ifremer),
France

UMR GET (CNRS, IRD, UPS, Cnes),
France

UMR Locean (SU, CNRS, MNHN),
France

... Des études récentes soulignent
l'impact négatif du réchauffement climatique
sur le micronecton, une ressource alimentaire
essentielle pour les thons ...

Voilà pourquoi, de nouveaux moyens d'observation plus larges doivent être déployés. Des négociations sont en cours pour que, par exemple, tous les navires de la flotte océanographique française réalisent de façon automatique et à chaque déplacement des mesures acoustiques du micronecton dans la colonne d'eau. Des études ont été, en outre, lancées pour mieux comprendre comment des contaminants comme le méthylmercure s'accumulent au niveau des divers échelons trophiques, du phytoplancton vers les thons.



© CFS/E. Vourey

Micronecton pêché lors de campagnes au large de la Nouvelle-Calédonie et de Wallis et Futuna.

Fin de règne pour l'anchois ?

L'anchois péruvien, l'une des espèces les plus pêchées au monde, représente jusqu'à 10 % des captures globales lors des meilleures années et joue un rôle clé dans l'aquaculture et l'alimentation animale, contribuant ainsi indirectement à la sécurité alimentaire mondiale.



© IRD/A. Bertrand

Tête d'un anchois pêché lors d'une campagne océanographique au large du Pérou.

L'upwelling du Pérou est le plus productif au monde, notamment pour l'anchois. Mais cet état de fait pourrait ne pas durer. En effet, avec le changement climatique, les eaux vont devenir plus chaudes et moins oxygénées, ce qui pourrait transformer profondément l'écosystème local selon deux principales hypothèses : soit les poissons actuels, dont les anchois, deviendraient plus petits, soit leurs populations pourraient s'effondrer au profit d'autres espèces plus petites, comme le gobie, un poisson très tolérant à de telles situations d'anoxie.

Cette hypothèse du gobie ne vient pas de nulle part. Dans un autre upwelling situé au large de la Namibie, une surexploitation des ressources halieutiques pratiquée jusque dans les années 1960, associée à de faibles teneurs en oxygène, a fait basculer l'écosystème vers un autre système stable dominé par les gobies et les méduses, deux groupes sans grand intérêt économique. L'upwelling péruvien pourrait-il prendre la même direction ?

Pour en avoir le cœur net, les scientifiques ont analysé des carottes sédimentaires afin de remonter dans le temps jusqu'à la dernière période interglaciaire, il y a environ 116 000 à 130 000 ans, quand les conditions environnementales de la région correspondaient à celles prédites par les modèles pour la fin du XXI^e siècle. Ils ont ainsi découvert que, durant cette période, les anchois n'étaient pas plus petits, mais bien plus rares. Et le roi des mers à l'époque, c'était le gobie !

Est-ce à dire que le règne du gobie est appelé à revenir ? Ce scénario est en tout cas pris très au sérieux, car il pourrait, comme en Namibie, avoir des conséquences dramatiques sur l'économie locale. L'examen des carottes sédimentaires montre en outre que l'extrême productivité de l'upwelling du Pérou est un phénomène récent. Une anomalie qui, selon les scientifiques, ne devrait pas durer. *Gobie or not gobie*, telle n'est donc peut-être pas la seule question. Une adaptation des activités économiques locales semble de toute façon inéluctable.

PARTENAIRE

Institut de la mer du Pérou

... Des scénarios suggèrent que l'écosystème marin péruvien pourrait se transformer du fait du changement climatique et nécessiter une adaptation des activités économiques locales ...



© IRD/M. Wadh

Senneur, Pérou.

« La durabilité de la pêche péruvienne à l'anchois est liée à l'importance des connaissances scientifiques, à la mise en œuvre d'une réglementation efficace et à l'engagement de tous les acteurs impliqués dans l'activité de pêche industrielle péruvienne pour assurer la conservation des ressources et l'équilibre de l'écosystème marin. Un exemple qui pourrait être reproduit dans d'autres pêcheries à travers le monde. »

Eduardo Ferreyros, Société nationale de la pêche, Pérou

PARTIE 2

DES SOCIÉTÉS FACE À L'OcéAN

Pêche artisanale au filet dans la baie de Maputo,
Mozambique.





Sénégal : émergence d'une pêche résiliente

Du fait de la pression de pêche exercée par les flottes locales ou étrangères, les stocks de poissons le long des côtes d'Afrique de l'Ouest sont désormais considérés comme vulnérables.



© IRD/P. Brehmer

Séchage du poisson à Ndayane, Sénégal.

PARTENAIRES

Chaire Unesco « Gestion intégrée et développement durable du littoral Ouest africain » (université Cheikh-Anta-Diop de Dakar), Sénégal

UMI Soutenabilité et Résilience (UVSQ, IRD), France

Au Sénégal, la pêche artisanale est en plein essor : elle fournit 75 % des apports en protéines du pays et représente 3 % du PIB national. Ce succès s'explique par la capacité d'adaptation et d'innovation des communautés de pêcheurs artisanaux qui se développent malgré l'essor des pêcheries étrangères, la tolérance envers la pêche pirate dans les eaux sénégalaises, l'installation de nouvelles industries de transformation de farine de poisson et une gouvernance peu efficiente.

D'un point de vue historique, la montée en puissance de la pêche artisanale a démarré dans les années 1950-1960 avec la motorisation des embarcations. Elle s'est poursuivie dans les années 1970 avec l'afflux, sur les côtes, de paysans chassés de l'intérieur des terres par la sécheresse. Cette évolution historique ainsi que la concurrence des chalutiers étrangers ont accru la pression exercée sur les stocks de poissons qui sont désormais considérés comme vulnérables.

Les pêcheurs sénégalais ont tenté des stratégies d'adaptation en utilisant toutes les opportunités : ils ont d'abord étendu leurs aires de pêche vers les rivières du Sud (dans le golfe de Guinée) et en Mauritanie, et sont recrutés comme artisans pêcheurs dans des flottes étrangères jusqu'en Angola. Puis, ils ont appris à préserver les stocks halieutiques, notamment en s'appropriant les connaissances apportées par la création, dès 2003, d'aires marines protégées.

Des initiatives communautaires renforcées par l'État ont ensuite émergé pour soutenir la mise en place de nouvelles aires marines protégées. Les pêcheurs ont tenté, tant bien que mal, d'adapter leurs pratiques pour respecter les périodes de reproduction, notamment pour le poulpe et quelques autres espèces. À Kayar, l'adoption d'une réglementation « communautaire » de l'espace halieutique en plus de l'aire marine protégée, permet de gérer les conflits entre pêcheurs autochtones et migrants. L'alternance pour les sorties en mer et les débarquements autorisés au poids contribuent à la préservation et la gouvernance des écosystèmes.

« La vulnérabilité des pêcheries sénégalaises et ouest-africaines en général n'est plus à démontrer. Les communautés côtières sénégalaises s'adaptent à la raréfaction des ressources. Elles ont modernisé leurs outils de travail tout en adaptant les pratiques de pêche et de gouvernance du secteur. La préservation des stocks halieutiques et le maintien d'une activité de pêche sont aujourd'hui d'énormes défis pour le développement durable. Le problème est devenu complexe avec la surexploitation des ressources, l'afflux des populations, la concurrence de la pêche industrielle et étrangère, ainsi que la pêche illégale, non déclarée et non réglementée. »

Alioune Kane, université Cheikh-Anta-Diop de Dakar, Sénégal



© IRD/Ifremer/O. Dugornay

Retour de pêche à Ouakam, Sénégal.

... Certains pêcheurs sénégalais se sont approprié des connaissances empiriques et scientifiques, notamment celles apportées par la création des aires protégées, afin de mieux gérer les stocks de poissons ...

Les aires marines protégées, qui étaient très critiquées au début de leur aménagement, ont ainsi permis de faire évoluer les pratiques de pêche. Chez les femmes exploitantes de coquillages, l'instauration de modalités de gestion collective des vasières et mangroves avait pour objectif de rationaliser la collecte des mollusques. Les femmes en s'intégrant dans ces dynamiques organisationnelles et économiques ont pris conscience de leur rôle pour une meilleure valorisation des produits exploités et l'exportation de leur marchandise. Ces évolutions démontrent que les communautés de pêcheurs savent s'adapter et font preuve d'une forte résilience.

De l'avenir des Vezo

Le tourisme à Madagascar présente de nombreux avantages économiques, mais il engendre une dégradation de l'environnement et une altération des modes de vie des populations locales.



© G. Todinahary

Ferme de concombres de mer IOT
(Indian Ocean Trepang), Madagascar.

À vouloir trop bien faire, les grands fonds d'investissement ou les ONG se trompent parfois lourdement. C'est le cas de projets de développement touristique à Madagascar, qui menacent l'activité des Vezo, pêcheurs vivant dans le sud-ouest de l'île. En effet, la surface des aires marines protégées y a été multipliée par trois depuis 2003. Et cette extension des zones protégées s'est accompagnée du développement d'un écotourisme de plus en plus important : à Andavadoake, depuis 2006, la population est passée de 3 000 à 13 000 personnes ; des hôtels et des restaurants d'origine étrangère se sont implantés, privatisant peu à peu la côte, rachetant les terres des Vezo et réduisant ainsi leur accès au lagon. Tant et si bien qu'à ce rythme, les Vezo pourraient ne plus avoir de terres sur le littoral d'ici dix à vingt ans.

Face à cette situation, des fonds internationaux et la Banque mondiale ont développé leurs propres solutions, telles que l'accompagnement des Vezo dans la mise en place d'élevages de concombres de mer ou de cultures d'algues destinées au marché chinois. Une idée intéressante sur le papier, mais qui trahit une méconnaissance totale du contexte local au moins sur deux plans. D'abord, parce que les fermes à concombres de mer sont régulièrement volées à des fins de consommation et doivent être surveillées par la police. Ensuite, parce que cette reconversion modifie en profondeur le mode de vie des Vezo, les faisant passer d'une culture de subsistance à une culture de rente. De quoi les transformer en paysans des mers et leur faire perdre une identité culturelle en réalité indissociable de la pêche.

Pour les scientifiques, tout se passe comme si Madagascar était colonisée par plusieurs « puissances » étrangères qui utilisent ce pays à leurs propres fins, sans projet structurant pour les populations. Elles investissent ou mènent des actions de conservation sans instaurer un véritable dialogue, se limitant souvent à un « dialogue préfabriqué » avec les acteurs locaux. Or, pour qu'une solution soit durable, elle doit venir des habitants eux-mêmes. Ainsi, au lieu de développer des fermes dédiées à l'export, il faudrait plutôt permettre aux Vezo d'aller pêcher en dehors du lagon, au large, avec des embarcations adaptées.

PARTENAIRES

Université de Toliara, Madagascar

UMR Sens (Cirad, IRD, UPVM3), France

UMR Passages (CNRS, université
Bordeaux-Montaigne, université
de Bordeaux, Ensap Bordeaux), France

... Les investissements étrangers
accélèrent la mise au banc des Vezo,
pêcheurs des lagons malgaches ...



© IRD/M. Léopold

Pêche traditionnelle vezo à Anakao, Madagascar.

« La promotion de l'industrie touristique, la préservation des zones maritimes et la lutte contre la pauvreté apparaissent comme des défis majeurs, surtout lorsque l'on considère que les pêcheurs vezo dépendent de la mer pour leur subsistance. Les résultats de notre étude mettent en lumière la réalité vécue dans le sud-ouest de Madagascar, où les pêcheurs vezo témoignent des conséquences néfastes des installations étrangères. Confrontés à une pauvreté extrême, les Vezo sont contraints de céder leurs terres. Ils vendent leurs terrains à des prix dérisoires pour financer l'éducation de leurs enfants ou acheter du matériel de pêche, ce qui entraîne une perte progressive de la réputation du village de pêcheurs et soulève des inquiétudes pour l'avenir de ces communautés le long du littoral. »

Sylvie Varellas, parc zoologique et botanique de Tsimbazaza, Madagascar

Alexandrie, un contre-exemple d'adaptation ?

Les villes côtières sont particulièrement vulnérables au risque de submersion marine et doivent trouver des moyens pour s'adapter. Mais encore faut-il que les pouvoirs publics mettent en place des solutions de protection durables.



© IRD/J.-F. Sivan

Baie d'Alexandrie, Égypte.

Avec 6 millions d'habitants, la cité d'Alexandrie est la plus grande ville côtière et portuaire de la Méditerranée depuis l'Antiquité. C'est la plus étudiée aussi puisque ses deux mille ans d'histoire humaine et environnementale sont des objets de recherche pour nombre d'archéologues et d'historiens. Une aubaine pour qui cherche à comprendre comment Alexandrie a pu se maintenir, et même prospérer, dans un environnement aussi extrême, marqué par un accès difficile à l'eau douce et un risque constant de submersions causées par les tempêtes ou les raz-de-marée.

Le premier constat, c'est qu'au fil des siècles, des villes environnantes ont été submergées, comme l'atteste la découverte conjointe de Canope et de Thônis-Héracléon sous la mer. Pour autant, Alexandrie n'a jamais été déplacée ou abandonnée, sans doute du fait de l'extraordinaire potentiel du site en matière de commerce international. Alexandrie possède en effet une situation unique et privilégiée entre la mer Rouge, l'Afrique et la Méditerranée. Les populations se sont donc adaptées à la cité en dépit des risques environnementaux.

... Si la cité égyptienne se développe depuis deux millénaires dans un environnement particulièrement inhospitalier, les risques actuels liés aux submersions marines ne sont pas pris en compte ...

Ensuite, la topologie de la ville a contribué à sa longévité. Les parties les plus anciennes sont érigées sur trois rides rocheuses parallèles à la côte et culminant à 35 m. Les parties basses, plus vulnérables, hébergent les quartiers plus populaires, notamment ceux des pêcheurs. Du moins historiquement. Car le développement actuel de la ville sur les marges



© Wikipédia/H. Ashour

Port d'Alexandrie, Égypte.

surbaissées et inondables se fait avec une vision à court terme, transformant Alexandrie en un très mauvais élève de l'adaptation.

Les risques liés aux submersions marines sont niés. Les rides rocheuses, pourtant protectrices, sont en partie arasées pour le développement de nouveaux projets industriels, et le littoral, dans son ensemble, est bétonné pour créer des cités balnéaires pour les plus riches, notamment sur les dunes.

Ces politiques rompent avec une tradition d'adaptation millénaire – par exemple, la construction d'énormes citernes souterraines dans l'Antiquité romaine pour recevoir les eaux des crues annuelles du Nil – et créent de nouveaux risques pour les populations. Les questions environnementales et climatiques sont invisibilisées par l'action publique qui préfère privilégier des mesures techniques d'adaptation plus visibles (brise-lames, murs de protection) plutôt que de développer des approches durables fondées sur la nature et la protection de la biodiversité, sur les dunes en particulier. Les inondations catastrophiques de 2015 en sont malheureusement l'une des premières illustrations.

PARTENAIRE

Centre d'études alexandrines, Égypte

L'inéluctable enfoncement du delta du Mékong ?

Avec 55 000 km² et 17,4 millions d'habitants, le delta du Mékong est, en surface comme en densité de population, l'équivalent des Pays-Bas... pour le moment. Car le delta s'enfonce.



© IRD/J.-C. Auguste

Filtration d'eau de mer pour l'analyse des nutriments, Vietnam.

D'ici à 2100, 85 % du delta du Mékong pourraient être engloutis par la mer. La faute un peu à la montée des eaux, beaucoup aux activités humaines de la zone. Explications : d'un point de vue géomorphologique, le delta du Mékong ressemble à un mille-feuille où alternent des couches de vases et de sables gorgées d'eau. Cette structure géologique a tendance à se tasser, à se densifier, notamment parce que les habitants y puisent trop d'eau.

Résultat : plus l'eau souterraine est extraite par les puits, plus la vitesse d'enfoncement (subsidence) est élevée. Ce phénomène est encore accentué par le prélèvement, parfois illégal, de sable pour la construction et par la réduction de l'apport d'alluvions stockés en amont par de multiples barrages.

Depuis quelques années, le delta du Mékong est l'une des zones les plus vulnérables du monde puisqu'il s'enfonce de 2 cm par an, là où le niveau de la mer ne s'élève annuellement que de 3 à 4 mm. Mais comme sa submersion annoncée est principalement causée par l'urbanisation et d'autres activités humaines, elle peut être contrée. Car ce que les hommes font, ils peuvent aussi parfois le défaire.

« Le delta du Mékong, qui compte 17,4 millions d'habitants, est une région vitale pour le Vietnam. Si le pompage des eaux souterraines est le principal facteur de l'enfoncement des sols (subsidence), les communautés locales estiment que d'autres facteurs prédominent. Les études menées par le Centre asiatique de recherche sur l'eau dans le domaine de l'hydrologie et de l'hydrogéologie sont très utiles pour identifier et hiérarchiser les facteurs, et pour développer des voies optimales d'adaptation, garantissant ainsi la résilience à long terme du delta. »

Ha Quang Khai, université de Technologie de Hô Chi Minh-Ville, Vietnam



© IRD/J.-M. Boré

Hô Chi Minh-Ville, sur les rives de la rivière Saïgon, Vietnam.

... Des analyses esquissent des pistes d'adaptation
pour éviter que la majeure partie du delta vietnamien
ne finisse sous l'eau ...

Ainsi, les recherches montrent que la maîtrise ou la réduction de la quantité d'eau pompée dans les nappes pourrait réduire, voire stopper, l'enfoncement de ce delta qui recule actuellement de 12 m par an. Reste maintenant à identifier et à lever les freins sociaux, techniques et politiques pour entrer dans la voie de la résilience, de l'adaptation, pour ne pas dire de la survie. L'enjeu est de taille, car le phénomène frappe d'autres villes deltaïques, en premier lieu Jakarta qui s'enfonce si vite que les Indonésiens ont déjà décidé de déplacer leur capitale de 2 000 km sur l'île de Bornéo, détruisant au passage une partie de sa forêt.

PARTENAIRES

LMI Care (université de Technologie
de Hô Chi Minh-Ville, IRD, Grenoble
INP), Vietnam

Université de Technologie
de Hô Chi Minh-Ville, Vietnam

Réduire la vulnérabilité de la ville de Douala

Dans le golfe de Guinée, la plupart des grandes villes sont des capitales économiques très attractives et en plein développement. À ce titre, elles regorgent d'enjeux humains, socio-économiques et environnementaux importants.



© Wikipédia / N. Konda Yansa

Vue aérienne de Douala, Cameroun.

Douala est la capitale économique du Cameroun. De fait, elle attire beaucoup de jeunes (étudiants, chercheurs d'emploi, entrepreneurs) et jusqu'à 100 000 nouveaux arrivants chaque année. Cette attractivité a des répercussions directes sur l'environnement, mais aussi sur la vulnérabilité de la ville aux inondations et submersions marines. Car Douala est située en bord de mer, et 20 % de la zone est à moins de 5 m au-dessus du niveau de la mer. Des parties de la ville sont submergées plusieurs fois par semaine à cause de la marée, mais aussi plusieurs fois par an du fait de la pluviométrie, l'une des plus fortes au monde, avec 4 500 mm de pluies annuelles.

... Un projet de recherche-action propose des solutions concrètes pour réduire les risques d'inondations et de submersions marines à Douala ...

Or, faute de logements, les nouveaux arrivants sont nombreux à construire des habitations de fortune dans les parties basses de la ville, des zones humides, normalement inconstructibles et ouvertes sur la mer depuis que les mangroves ont disparu. Environ 200 000 ménages, soit près d'un million de personnes sur les cinq que compte la ville, sont dans cette situation. D'où la mise en place d'un projet pilote sur le bassin-versant du Tongo Bassa. L'objectif ? Modéliser très finement l'hydrologie du secteur pour en déduire des cartes de vulnérabilité physique et humaine. Un travail méticuleux, désormais intégré dans les documents de planification de la ville, qui a permis de montrer que, sur certaines zones, l'eau pouvait monter de 2,5 m en six heures.

Sur deux sites, les plus exposés au risque d'inondation, des solutions comme la mise en place d'un système d'alerte précoce pour faciliter

PARTENAIRES

Université de Douala, Cameroun

Philia Ingénierie, France

Université du Québec à Rimouski,
Canada

Association de recherche sur
les interactions océan-continent-
atmosphère, Cameroun

Communauté urbaine de Douala,
Cameroun



© Wikimedia/Njehoyab

Carrefour de Douala en pleine saison des pluies, Cameroun.

l'évacuation de la population, la création de sites de rassemblement et la mise en route d'une cellule de crise incluant le préfet et le maire ont été proposées aux collectivités locales. En réponse, les voiries ont été réaménagées, et des études se poursuivent pour déterminer des seuils d'alerte pertinents. Pourtant, à terme, les populations de ces zones devront être déplacées. C'est pourquoi d'autres recommandations ont été formulées, par exemple, pour trouver des voies réglementaires imposant la verticalisation de la ville. Un accent a été également mis sur la nécessité de régénérer les barrières naturelles que sont les mangroves. Un test en ce sens est en cours sur 5 ha de l'île de Manoka.

De la sécurité alimentaire des îles polynésiennes

Le changement climatique accentue la vulnérabilité de la Polynésie française, affectant notamment la sécurité alimentaire. D'où la nécessité de mettre en place des stratégies d'adaptation.



© IRD/S. Andréfouët

Pêche de poissons-perroquets à Reao, Polynésie française.

En raison du changement climatique, on s'attend à des événements météorologiques extrêmes de plus en plus destructeurs, notamment en Polynésie française. Mais ce qui préoccupe bien davantage les populations, ce sont les changements insidieux et irréversibles qui engendrent des modifications graduelles des écosystèmes, menaçant leurs moyens de subsistance.

Ainsi, dans les lagons, l'élévation progressive de la température des eaux entraîne la mort des coraux, créant un environnement propice à la prolifération de micro-algues toxiques. Appelées *Gambierdiscus sp.*, ces algues endémiques sont connues pour être à l'origine d'une intoxication alimentaire sévère, la ciguatera, car elles sécrètent des ciguatoxines qui contaminent les poissons et les rendent impropres à la consommation, sans que cela soit visible pour le pêcheur ou le consommateur. Résultat : l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des épisodes d'empoisonnement pousse les populations polynésiennes à éviter de consommer les poissons du lagon. Elles se tournent alors vers d'autres sources d'alimentation produites à Tahiti ou importées, ce qui augmente la dépendance alimentaire des îles.

... La prolifération d'une micro-algue toxique menace la sécurité alimentaire des populations vivant dans les îles polynésiennes ...

Pourtant, les pêcheurs et les communautés locales ont depuis longtemps développé une connaissance fine des lieux de pêche contaminés et des espèces les plus ciguatoxiques pour prévenir les empoisonnements. En milieu insulaire, lorsque les liens communautaires existent, ces informations peuvent circuler facilement pour limiter les risques d'intoxication. Les savoirs autochtones des Polynésiens constituent donc un élément clé à intégrer à la connaissance scientifique pour co-construire des stratégies d'adaptation au changement climatique.

« Dans les régions de grande endémie, l'attitude souvent très fataliste des populations vis-à-vis du risque de ciguatera explique le nombre de cas d'intoxications remarquablement élevé rapporté annuellement. L'apport des connaissances traditionnelles séculaires en usage au sein de ces communautés s'avère donc essentiel pour une meilleure gestion des impacts sanitaires et socio-économiques de ce fléau, en garantissant une plus grande acceptation des mesures préventives édictées par les autorités. »

Mireille Chinain, institut Louis-Malardé, Polynésie française



© IRD/P. Mamey

Lagon de Tahaa, Polynésie française.

La question de la ciguatera est un enjeu important pour la plupart des territoires du Pacifique et devrait faire l'objet de mesures spécifiques (développement de la pêche côtière et hauturière, soutien à la production locale de nourriture) qui pourraient contribuer à garantir la sécurité alimentaire pendant les flambées de ciguatera. De quoi, en somme, diminuer la vulnérabilité alimentaire des habitants.

PARTENAIRE

Institut Louis-Malardé,
Polynésie française

La part féminine de la pêche

Dans l'histoire, les contributions des femmes ont été systématiquement sous-représentées ou effacées par des récits dominés par les hommes. Ce qui était vrai hier l'est encore aujourd'hui.



© IRD/A. Burgos

Pêche de bivalves de mangrove à Sarauau, Indonésie.

PARTENAIRES

WorldFish, Malaisie

Université nationale du Timor-Leste, Indonésie

Agence nationale de recherche et d'innovation, Indonésie

Université de Papouasie-Nouvelle-Guinée

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Italie

Dans les mangroves de Siberut en Indonésie, les hommes se consacrent à l'élevage et à la chasse tandis que les femmes contribuent aux repas grâce à la pêche sur le rivage de poissons et d'invertébrés (crevettes, crabes, coquillages, etc.). Une pratique discrète, mais fructueuse. L'efficacité des techniques de pêche utilisées par les femmes se reproduit également dans les récifs et côtes rocheuses du Timor oriental et de Papouasie-Nouvelle-Guinée. Associées à une grande diversité de savoirs socio-écologiques, ces pratiques leur permettent de dénicher, dans la vase, dans les racines de palétuviers, dans les récifs coralliens, sous les rochers, une grande diversité d'invertébrés marins. Certains servent à l'alimentation, d'autres à l'ornementation, à la vente ou aux jeux des enfants.

Loin d'être anecdotique, cette pêche est l'une des clés de la sécurité alimentaire locale, grâce à la haute valeur nutritive des espèces collectées qui contribuent fortement à l'équilibre nutritionnel des populations. Or, cette activité n'est pas du tout comptabilisée ou recensée par les systèmes de quantification ou de gestion des stocks halieutiques. Dans les statistiques officielles, cette pêche de subsistance n'existe tout simplement pas. Elle est invisibilisée, tout comme le rôle essentiel des femmes considérées comme « au foyer » alors qu'elles sont en réalité des pêcheuses.

Pour le moment, tout au moins. Car au Timor-Leste, la création exponentielle d'aires marines protégées dans les zones traditionnelles de pêche des femmes menace ces pratiques culturelles importantes. À cause de la distance qu'il leur faut désormais parcourir pour ramasser les mollusques, crabes et autres invertébrés marins, les villageoises renoncent peu à peu à cette pratique et se rabattent, au quotidien, sur des produits manufacturés et peu nutritifs. Au-delà du déficit nutritionnel engendré, ce phénomène menace de disparition des savoirs et savoir-faire précieux. Des démarches sont en cours pour faire reconnaître l'importance de ces pêcheries et garantir un juste accès aux ressources aquatiques.

- ... Sur les littoraux du monde, les pêches pratiquées par les femmes ont un rôle prépondérant, mais très largement sous-estimé ...



Récolte de coquillages à Limonak, en Papouasie-Nouvelle-Guinée.

Nokoué, une lagune sous pression

La lagune Nokoué, située au Bénin, fait face à des pressions croissantes (pollution, surpêche, urbanisation, comblement). Ces menaces fragilisent la biodiversité de cet espace naturel et dégradent la qualité de vie des populations riveraines.



© IRD/F. Tremège

Point de ravitaillement d'eau potable à Ganvié, cité lacustre du lac Nokoué, Bénin.

La lagune Nokoué subit depuis la fin du XIX^e siècle des changements majeurs dus à l'intervention humaine. En 1885, un chenal, creusé par les Français pour atténuer les inondations de la ville de Cotonou, a relié le lac à l'océan Atlantique, permettant l'intrusion d'eau salée et transformant ainsi le lac en une lagune. D'une superficie de 150 km², cette lagune reçoit également des apports en eau douce de deux rivières qui drainent un bassin-versant de 5 000 km², l'un des plus fertiles d'Afrique.

Aujourd'hui, près de 1,5 million de personnes vivent à proximité de la lagune Nokoué et en dépendent, en particulier pour la pêche. Cependant, la lagune est menacée par un envasement progressif qui réduit sa profondeur moyenne à 1,3 m en saison sèche. De plus, les rejets urbains et les effluents des grands villages lacustres contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau.

... Un observatoire environnemental
a été mis en place pour explorer le fonctionnement
et les fragilités de la lagune Nokoué au Bénin ...

PARTENAIRES

UMR Legos (Cnes, CNRS, IRD, UT3),
France

Institut de recherches halieutiques
et océanologiques du Bénin

Centre de recherche et
d'enseignement en géosciences
de l'environnement, France

Face à ces problématiques, un observatoire multidisciplinaire a été mis en place en 2018 pour décrypter le fonctionnement hydrosédimentaire de la lagune Nokoué et identifier certaines de ses vulnérabilités. Il apparaît que, lors de la mousson, les forts apports d'eau douce produisent une augmentation de 1 m du niveau d'eau et engendrent une désalinisation rapide et complète de la lagune. Il faut ensuite plusieurs mois pour que la salinité retrouve des valeurs significatives durant la saison sèche, entraînant des modifications importantes de l'écosystème aquatique au fil des saisons.

« Le suivi continu de cet écosystème lagunaire, en collaboration avec l'IRD, vise à améliorer les conditions de vie des populations locales et à répondre à une demande de longue date du Bénin. La création et la maintenance d'un tel observatoire permettent de pallier les limites des études sporadiques antérieures et de soutenir les Objectifs de développement durable du pays. »

Zacharie Sohoun, Institut de recherches halieutiques et océanologiques du Bénin



© IRD/A. Chaigneau

Installation d'un parc de pêche (*acadja*) : quand la pêche façonne la lagune, lac Nokoué, Bénin.

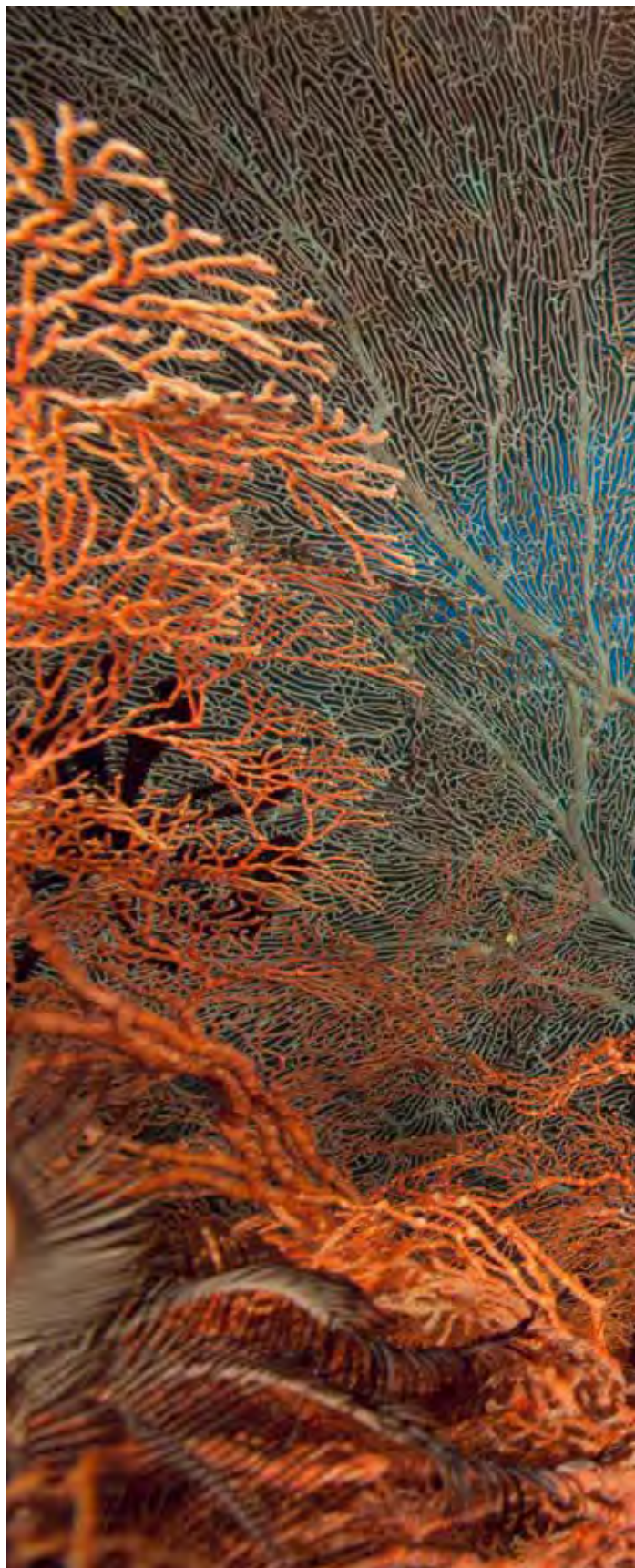
À partir de ces observations, un modèle numérique a été développé pour simuler les échanges entre eaux douces et eaux salées, reproduire les variations des niveaux d'eau et évaluer le temps de résidence des polluants dans la lagune. Ce modèle a révélé que les polluants s'accumulent durant la saison sèche et sont massivement et rapidement évacués vers l'océan en saison des pluies.

Par ailleurs, le comblement de la lagune progresse à raison d'environ 1 à 2 cm par an dans certaines zones. Cette sédimentation est due aux apports alluvionnaires, à l'accumulation de matière organique favorisée par la prolifération des jacinthes d'eau et à la décomposition progressive des parcs de pêche en branchages, qui couvrent plus de 15 % de la lagune. Ces résultats permettent désormais aux scientifiques de mieux comprendre les réponses de la lagune face à d'éventuels aménagements ou aux différents scénarios de changement climatique.

PARTIE 3

POUR
DES RESSOURCES
DURABLES

Plongeur explorant le récif corallien,
Papouasie occidentale, Indonésie.





Un modèle de plancton

Le plancton représente 80 % de la biomasse océanique.

Pourtant, il est encore assez mal connu et modélisé.

Ces lacunes sont problématiques pour réaliser des projections de l'évolution des écosystèmes marins, car les organismes planctoniques sont à la base de toute la chaîne alimentaire.



© Plankt'Eco

Plancton observé au microscope.

Le terme plancton vient d'un mot grec qui signifie « divaguant ». Il désigne un monde dans le monde, qui se laisse porter par les courants, mais qui n'en est pas pour autant passif. Loin de là. Car derrière ce mot, se cachent des végétaux microscopiques (le phytoplancton) et de minuscules animaux brouteurs et prédateurs (le zooplancton). Ensemble, ils constituent la base des chaînes alimentaires océaniques. Autant dire qu'il est important d'en comprendre le fonctionnement, le rôle écologique et les facteurs qui en déterminent l'évolution.

Une des approches actuelles s'appuie sur la modélisation. Des équipes scientifiques cherchent à modéliser la physiologie, le comportement et l'évolution de la biomasse du plancton ainsi que son rôle dans le fonctionnement d'un écosystème poissonneux situé au large du Sénégal, et qui alimente en sardinelles une grande partie de l'Afrique de l'Ouest.

... Le développement de quatre modèles couplés entre eux va permettre de reproduire le fonctionnement de l'écosystème marin au large du Sénégal et de déduire les impacts socio-économiques de certains processus, comme la surexploitation des ressources ou le réchauffement climatique ...

PARTENAIRES

Fondation Tara Océan, France

Fonds français pour l'environnement mondial, France

CNRS, France

Centre de recherche océanographique de Dakar-Thiaroye, Sénégal

Pour ce faire, les scientifiques ont développé quatre types de modèles : le premier reproduit le fonctionnement physique de la région, la dynamique de la température et des courants ; le deuxième s'intéresse aux dynamiques biogéochimiques, des sels nutritifs au phytoplancton ; le troisième simule le zooplancton et les poissons, dont les sardinelles ; et le quatrième représente les processus socio-économiques qui déterminent la pêche des sardinelles. En articulant ces quatre modèles,



© IRD/Y. Thomas

Pêche artisanale à Djiffér, Sénégal.

il sera possible de reproduire toute la chaîne des processus et de déduire les impacts sociétaux des changements climatiques en cours ou de la surpêche par exemple. C'est là d'ailleurs que se situe toute l'originalité de l'approche.

La pertinence de chaque modèle fera l'objet d'une évaluation et d'une validation grâce à des observations récoltées lors de campagnes océanographiques. Ce travail de modélisation permettra de régionaliser et d'affiner les prévisions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) issues de simulations à grande échelle et à basse résolution et, ainsi, de mieux anticiper leurs répercussions locales sur un écosystème et des pêcheries d'une grande importance socio-économique pour la région.

Thons tropicaux sous surveillance

Le développement excessif de pratiques de pêche utilisant des objets flottants artificiels pourrait menacer les populations de thons et d'autres espèces marines vulnérables capturées accidentellement.

© IRD/J.-P. Hallier



Navire de pêche au thon utilisant les DCP, Seychelles.

Tout objet flottant à la surface des océans est susceptible d'attirer les thons tropicaux. Au début des années 1990, cette observation a poussé les pêcheurs à déployer des objets flottants artificiels (dispositifs de concentration de poissons ou DCP) pour concentrer les poissons et les capturer plus facilement avec de grands filets coulissants appelés sennes, qui encerclent les bancs de poissons. De quoi améliorer les rendements des navires... mais aussi inquiéter sur la durabilité de la ressource thonière et sur les impacts environnementaux de cette pratique.

Les recherches ont en effet confirmé que les DCP ont tendance à concentrer les jeunes poissons (juvéniles) pour l'albacore et le thon obèse qui ont des durées de vie d'environ quinze ans, ce qui pourrait avoir des conséquences néfastes pour ces deux populations. Le manque de connaissances sur la mortalité naturelle des juvéniles empêche toutefois d'avoir une idée claire de l'impact réel de ce mode de pêche. La pêche sous DCP est également celle qui engendre le plus de prises accessoires d'espèces non ciblées et vulnérables comme les requins, les raies et les poissons porte-épée. Certains individus peuvent être conservés à bord et d'autres rejetés, le plus souvent morts.

... Les données d'exploitation des thons tropicaux, collectées depuis la fin des années 1960, permettent de mesurer l'impact environnemental de cette pêche et l'évolution des populations de thons ...

Depuis que les Français ont commencé à exploiter les thons tropicaux à la fin des années 1960, l'Observatoire des écosystèmes pélagiques tropicaux exploités est mandaté pour collecter et vérifier les données commerciales des navires français opérant dans les eaux tropicales, en collaboration avec les professionnels de la pêche et les partenaires du Sud. Les données de pêche sont collectées à partir des livres de bord tenus par les pêcheurs, où sont indiqués les lieux et dates des coups de pêche, la capture par espèce et le mode de pêche employé (DCP ou banc libre).

PARTENAIRES

Centre de recherches océanologiques,
Côte d'Ivoire

Centre de recherche océanographique
de Dakar-Thiaroye, Sénégal

Autorité des pêches des Seychelles

Ministère de la Pêche et de l'Économie
bleue, Madagascar

Commission internationale pour la
conservation des thonidés
de l'Atlantique

Commission des thons de l'océan Indien

Institut espagnol d'océanographie

Institut pour la science et la technologie
des pêches, Espagne

« La méconnaissance du nombre de dispositifs de concentration de poissons déployés chaque année par les navires de pêche entraîne des incertitudes importantes dans les évaluations des stocks. Les DCP représentent ainsi une thématique de recherche importante et d'actualité pour les pays du Sud, aux gestionnaires desquels les scientifiques doivent donner des avis pour répondre efficacement aux enjeux de développement durable. »

Justin Monin Amandé, Centre de recherches océanologiques, Côte d'Ivoire



DCP prêts à être utilisés, Seychelles.

Ces informations sont corrigées et validées par des échantillonnages des captures au débarquement, mais aussi par l'embarquement régulier d'observateurs scientifiques à bord des navires de pêche, qui les enrichissent d'observations sur les prises accessoires et accidentelles. L'observation électronique peut parfois aussi compléter l'observation humaine. Ces données sont utilisées par les scientifiques au sein des organisations régionales de gestion des pêches pour évaluer l'état des stocks de thons tropicaux et de certaines espèces capturées accidentellement et mesurer l'impact environnemental de cette pêche, sans parvenir encore à quantifier exactement l'effet DCP. Affaire à suivre donc...

Vers des appâts plus durables

Les thons, ressources majeures de l'océan mondial, sont principalement exploités par deux engins de pêche : la palangre pélagique et la senne tournante. Ces deux techniques ont un poids économique à peu près semblable et une forte empreinte écologique.



© IRD/R. Bach

Appâts artificiels remplis de déchets de pêche pour remplacer les appâts naturels entiers, La Réunion.

La pêche à la palangre pélagique consiste à poser une ligne longue parfois de plus de 100 km pouvant contenir jusqu'à 4000 hameçons. Chacun d'entre eux porte un appât naturel (maquereau, sardine ou calamar) pour capturer de grands poissons (comme les thons ou les espadons), mais aussi, accidentellement, des espèces protégées – tortues et mammifères marins – ou des oiseaux de mer. Et ce n'est pas là son seul défaut.

Au niveau mondial, cette pêche utilise chaque année, selon les estimations, 600 000 à 800 000 tonnes de ressources marines qui pourraient être consommées par l'homme au lieu d'être utilisées comme appâts. Un gâchis d'autant plus important que 5 à 10 % seulement de ces appâts permettent d'attraper le poisson recherché. Le reste est rejeté à la mer. Ces appâts sont achetés à un prix toujours plus élevé, et doivent être maintenus congelés à terre comme en mer, ce qui représente un coût significatif.

Des leurres artificiels et réutilisables apparaissent aujourd'hui comme des alternatives durables aux appâts naturels. La mise au point d'un premier appât artificiel écologique, testé puis breveté, a ouvert une première piste. Concrètement, il s'agissait d'une coque semi-rigide réutilisable, en polymère biosourcé, remplie d'une pulpe fabriquée avec des déchets de poisson.

Des essais encourageants ont démontré sa capacité à capturer des thons et des espadons tout en évitant les espèces protégées. Mais des enquêtes d'acceptabilité auprès des pêcheurs ont conduit à son abandon : son usage nécessite des modifications de l'engin de pêche susceptibles de réduire les rendements. De plus, les coques, bien que réutilisables, posent un problème de pollution au plastique.

Actuellement, un nouveau concept se révèle plus probant : des appâts en forme de poisson ou de calamar, constitués d'une pâte (de type silicone) fabriquée à partir de déchets protéiniques et de texturants alimentaires. D'ores et déjà testé par des pêcheurs en métropole et à La Réunion, cet appât alternatif pourrait être mis sur le marché d'ici à 2028.

PARTENAIRES

Polytech Montpellier, université de Montpellier, France

École d'ingénieurs, université de La Réunion, France

Fiiish, France

... Des appâts alternatifs font l'objet de recherches
pour réduire l'impact environnemental
de la pêche à la palangre ...



© IRD/liremer/M. Taquet

Banc de thons à nageoires jaunes, Seychelles.

« Grâce à la mobilisation de pêcheurs professionnels de notre organisation de producteurs pour une pêche vertueuse et à des partenariats scientifiques de longue date, des alternatives durables émergent : des appâts réutilisables à base de déchets marins offrent une nouvelle voie pour préserver les écosystèmes tout en répondant aux besoins de la filière thonière. Vers un océan exploité de manière plus responsable ! »

Nolwenn Cosnard et Bertrand Wendling, Sathoan, France

La part des oiseaux

Entre pêche durable et surpêche, il y a une histoire de chiffres. Quel est le seuil de prélèvement acceptable pour permettre le renouvellement des stocks de poissons et le maintien du reste de l'écosystème, notamment des populations d'oiseaux marins ? Telle est la question.



Senneur artisanal en activité au nord de Lima, Pérou.

© IRD/IFREMER

Quel est l'impact de la surpêche des stocks d'anchois et de sardines sur le succès reproducteur des oiseaux marins ? Cette question est longtemps restée sans réponse satisfaisante. Les données disponibles ne démontraient en effet cet impact que de façon très localisée et ne suffisaient pas pour convaincre les autorités locales de diminuer le niveau des prélèvements.

Pour surmonter cette difficulté, un réseau scientifique international a mis en commun des données mondiales portant sur vingt à quarante ans de suivi des oiseaux marins et des poissons pêchés et a analysé les corrélations entre les fluctuations d'abondance de ces deux populations. Les résultats ont clairement démontré l'existence d'un seuil de prélèvement des poissons au-dessus duquel le succès reproducteur des oiseaux marins est affecté. En outre, en comparant les données de sept écosystèmes marins situés dans l'Arctique, l'Antarctique, le Pacifique et l'Atlantique, portant sur 14 espèces d'oiseaux et 483 années d'observations cumulées, les scientifiques ont mis en évidence que le succès reproducteur des oiseaux décline lorsque l'abondance des poissons fourrages est inférieure à un certain seuil (le tiers de l'abondance maximale observée sur le long terme). Il apparaît donc que les pêcheries de sardines et d'anchois

« En Afrique du Sud, la gestion écosystémique des pêches s'est traduite par “un tiers pour les oiseaux”. Cette dernière étude a catapulté la réflexion mondiale dans le domaine, et elle a permis de proposer des seuils de prélèvement scientifiques et significatifs pour les poissons fourrages. De quoi ménager les prédateurs et le fonctionnement global de l'écosystème. Dans une structure de gestion des pêcheries longtemps protégée par des approches monospécifiques devenues restrictives et trop compliquées, ce travail a fourni une base pour une réflexion rafraîchissante et plus globale au niveau de l'écosystème. »

Lynne Shannon, Centre de recherche marine et antarctique pour l'innovation et la durabilité, université du Cap, Afrique du Sud



© R. Le Valley

Un macareux moine avec des anchois dans le bec, île de Mai, Canada.

doivent limiter leur prélèvement et ne pas pêcher autour des zones de nidification.

... La mise en commun de données internationales a permis de revoir le niveau de prélèvement optimal pour les sardines et les anchois. ...

La corrélation établie permet de fournir un indicateur fiable pour la gestion des pêches. Ce seuil a depuis été intégré dans les différentes politiques de gestion de la pêche dans le monde (Afrique du Sud, Australie, Nouvelle-Zélande, États-Unis) et permet de mettre en œuvre l'approche écosystémique des pêches, contribuant ainsi à réconcilier exploitation des ressources marines et protection de la biodiversité marine.

PARTENAIRES

Centre de recherche marine et antarctique pour l'innovation et la durabilité, université du Cap, Afrique du Sud

Ministère des Pêches et des Ressources marines, Namibie

Centre de recherche marine de Lüderitz, Namibie

Institut Farallon pour la recherche avancée sur les écosystèmes, États-Unis

Centre de résilience de Stockholm, université de Stockholm, Suède

British Antarctic Survey, Royaume-Uni

Une pêche artisanale à l'échelle industrielle

Dans les pays du Sud, la pêche artisanale est à la fois source de protéines et de revenus. Mais, à l'instar de la pêche industrielle, elle exerce des pressions importantes sur les stocks de poissons, notamment au Pérou.



© IRD/A. Bertrand

Poissons tropicaux pêchés par une flottille au Pérou.

La pêche artisanale est réputée moins nocive pour les écosystèmes marins. Du moins en apparence, car la réalité est parfois plus nuancée, notamment au Pérou. Dans ce pays, en effet, la pêche industrielle est très encadrée et réglementée. À l'inverse, la pêche artisanale est erratique, hétérogène et peu contrôlée. Ceci alors qu'il s'agit d'un secteur essentiel puisqu'il fournit des dizaines de milliers d'emplois et des protéines pour les populations.

À défaut de contrôles, depuis 1996, le gouvernement péruvien réalise en continu un suivi des débarquements et, certaines années, de grandes enquêtes sur l'activité ou le niveau d'étude des pêcheurs travaillant le long des 3 000 km de côtes péruviennes. Quelque 3,5 millions de registres ont ainsi été collectés. Une manne que des équipes de recherche françaises et péruviennes ont analysée pour enrichir les connaissances sur les 270 espèces pêchées.

... Des études successives montrent un risque d'effondrement des stocks halieutiques péruviens ...

Les conclusions sont inquiétantes. Entre 1997 et 2016, le nombre de bateaux artisanaux est passé de 6 200 à 16 000, et le niveau des captures de 200 000 à 1,2 million de tonnes par an. Pour donner un point de comparaison, l'ensemble de la flotte française ne capture qu'environ 500 000 tonnes de poissons par an, toutes mers et espèces confondues.

Cette ruée vers la mer s'est accélérée à la suite de modifications de la législation et la mise en place de quotas par armateur pour les pêcheries industrielles, conduisant à une diminution drastique des navires industriels. Mis sur la touche, de nombreux pêcheurs se seraient alors repliés sur la pêche artisanale, accroissant de façon très significative la pression sur les stocks de poissons et de calamars géants.

PARTENAIRE

Institut de la mer du Pérou

« Le Pérou doit améliorer d'urgence la gestion de la pêche artisanale, qui est incontrôlée et surdimensionnée, menaçant la durabilité des espèces et la sécurité alimentaire du pays. Le dérèglement de la pêche artisanale, en plus du changement climatique, découle de la loi de décentralisation de 2003, qui attribue aux gouvernements régionaux (Gore) des compétences en matière de pêche leur permettant d'accorder des licences pour toutes méthodes de pêche, embarquée ou non, et espèces. Les mesures pour remédier à la surexploitation sont : la création d'une superintendance de la pêche et de l'aquaculture pour récupérer auprès des Gore les capacités de pêche qui leur ont été cédées ; un nouveau recensement de la pêche artisanale ; et la formalisation de la flotte artisanale. Le gouvernement péruvien progresse dans ces domaines, tout en améliorant les actions intersectorielles de contrôle et d'inspection des pêches. »

Mariano Gutierrez, Institut Humboldt de recherche marine et aquacole, Pérou



© IRD/A. Bertrand

Pêcheurs de petits poissons côtiers, port de Païta, Pérou.

Ce constat est préoccupant en raison de la forte variabilité environnementale qui caractérise cette région du monde, mais aussi du changement climatique qui pourrait, à terme, conduire à l'effondrement de la productivité du système. Ces résultats mettent en exergue l'urgence de mettre en place des mesures de limitation de l'effort de pêche, ce qui n'a pas pu être fait jusqu'à présent par crainte de mouvements sociaux violents.

Biodiversité alimentaire

Dans les pays du Sud, les problèmes de malnutrition sont courants et pourraient s'accroître avec le changement climatique et la raréfaction des aliments usuellement consommés.



Fumage des poissons, Sénégal.

© IRD/Ifremer/O. Dugomay

En Côte d'Ivoire comme au Sénégal ou au Gabon, environ 20 % des habitants souffrent d'une carence en fer, iode, zinc ou oméga-3. D'où la nécessité d'étudier les ressources alimentaires locales comme les produits de la mer, riches en oméga-3, minéraux ou vitamines, d'autant qu'ils sont culturellement très prisés : 40 à 60 % de protéines animales consommées sur place proviennent du poisson.

En 2022, des recherches ont été lancées pour mieux évaluer les qualités nutritionnelles des poissons et des mollusques consommés, notamment après séchage ou fumaison, deux techniques de conservation souvent utilisées. La fumaison traditionnelle apparaît comme un moyen de préserver une partie des nutriments photosensibles comme la vitamine A et les oméga-3 alors que le séchage n'y parvient pas. De façon assez surprenante, le séchage, lui, permet de diminuer le taux d'arsenic de certaines chairs.

Concernant les espèces elles-mêmes, les petits poissons fourrages (espèces utilisées pour produire de la farine ou de l'huile destinée au marché international) comme les sardinelles et l'ethmalose sont riches en oméga-3 et vitamine A, même si leurs teneurs varient selon la saison et la région. Les études ont en outre pointé qu'ils sont peu contaminés par les métaux lourds dans les régions étudiées. Leur exploitation



© IRD/F. Sardenne

Ethmaloses (ou bonga) pêchés dans la baie de Corisco puis fumés, Gabon.

« Cette recherche revêt un caractère essentiel au Gabon où la consommation annuelle moyenne de poissons d'environ 40 kg par habitant est l'une des plus importantes d'Afrique. Cette étude est d'autant plus importante que la surpêche, les changements climatiques et leurs corollaires de possible redistribution des espèces sont couplés à une augmentation de la demande locale. L'identification de nouvelles espèces pour combler quantitativement et qualitativement la demande locale en protéines est une priorité nationale. »

Jean Hervé Mvé Beh, ministère des Eaux et Forêts, Gabon



© IRD/M. Cornier-Salem

Vente de crevettes, huîtres et arches sur le marché de Boucotte, Sénégal.

industrielle est donc une réelle perte pour les populations locales. Les mollusques sont, quant à eux, des concentrés de minéraux (fer, calcium, zinc), mais contiennent peu d'oméga-3. Ils se révèlent donc très complémentaires des poissons pour réduire les carences alimentaires.

**... Le recours à des ressources marines diversifiées
est un bon moyen pour améliorer la qualité de l'alimentation
des populations d'Afrique centrale et de l'Ouest ...**

Les recherches s'orientent désormais vers l'identification d'espèces marines à la fois comestibles, peu contaminées, mais encore peu consommées. Objectif : élargir le panel des ressources disponibles de façon à rendre les populations moins dépendantes pour leur alimentation d'espèces vulnérables aux changements environnementaux liés à la surpêche et au changement climatique. À terme, ces informations seront transmises aux gestionnaires ou aux instances nationales afin qu'ils puissent adapter la gestion de leurs stocks halieutiques, mais aussi mieux communiquer sur les espèces qu'il pourrait être intéressant de consommer.

PARTENAIRES

Centre national de la recherche
scientifique et du développement
technologique, Gabon

Centre de recherches océanologiques,
Côte d'Ivoire

Centre de recherche océanographique
de Dakar-Thiaroye, Sénégal

Une aquaculture pour une meilleure alimentation

Les espèces aquacoles sont riches en nutriments essentiels. Mais leur valeur nutritionnelle n'est pas toujours prise en compte dans les stratégies de développement et de gestion de l'aquaculture. Intégrer cette approche est crucial pour répondre aux besoins alimentaires des populations.



© IRD/M. Darias

Oursin nourri avec l'algue *Ulva* dans une ferme d'aquaculture multitrophique intégrée, Afrique du Sud.

Dans de nombreuses régions, l'aquaculture est principalement gérée en fonction d'objectifs économiques, sans exploiter pleinement son potentiel pour améliorer la sécurité alimentaire et le bien-être des populations. Un partenariat scientifique récent entre l'Afrique du Sud et la France a pour objectif de jeter les bases d'une aquaculture visant à améliorer la nutrition dans la région.

Il s'agit de garantir la production d'une variété d'aliments d'origine aquacole abordables, nutritifs, culturellement adaptés et sûrs, en quantité et qualité suffisantes, afin de répondre durablement aux besoins alimentaires des populations.

... Un programme de recherche et de formation vise à développer une aquaculture marine sensible à la nutrition en Afrique ...

L'un des axes de recherche porte sur l'évaluation de la composition nutritionnelle des espèces aquacoles, afin de guider les choix de production non seulement en fonction des rendements, mais aussi de leur qualité nutritionnelle. Une première étude a donc analysé la composition nutritionnelle des espèces marines élevées en Afrique du Sud – poissons, mollusques et algues – ainsi que de leurs sous-produits, afin de quantifier l'apport en nutriments fourni par la production aquacole marine nationale.

Les résultats montrent que les espèces produites sont riches en nutriments essentiels et contribuent significativement aux apports recommandés en acides gras oméga-3, en vitamines B12 et D, ainsi qu'en sélénium, iode et zinc. Cependant, chaque espèce présente un profil

PARTENAIRES

Ministère des Forêts, des Pêches et de l'Environnement, Afrique du Sud

Université de Technologie de la péninsule du Cap, Afrique du Sud

Université du Cap, Afrique du Sud

« Les recherches menées dans le cadre du Laboratoire interdisciplinaire africain d'aquaculture marine durable et sensible à la nutrition (LMI Limaqua) constituent un exemple inspirant de la manière dont une approche sensible à la nutrition de l'aquaculture peut transformer durablement les systèmes alimentaires aquatiques. Au-delà des objectifs économiques classiques, cette démarche intègre pleinement la valeur nutritionnelle des espèces produites, permettant ainsi de guider l'évolution de l'aquaculture vers l'optimisation de son apport en nutriments. »

Brett M. Macey, ministère des Forêts, des Pêches et de l'Environnement, Afrique du Sud



© IRD/P. Brehmer

Cours d'aquaculture à un groupe de femmes à Dakar, Sénégal.

nutritionnel spécifique, ce qui souligne la nécessité d'une alimentation diversifiée pour couvrir l'ensemble des besoins en nutriments.

L'étude a également montré que les sous-produits (tête, arêtes, viscères) sont très riches en nutriments et que leur réintégration dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire augmenterait de manière significative l'apport en nutriments (en moyenne + 144 % pour les nutriments et les espèces analysés).

Ces résultats soulignent l'importance de considérer la valeur nutritionnelle des espèces dans les stratégies de développement et de gestion de l'aquaculture, et d'envisager des solutions innovantes pour valoriser les sous-produits. Une telle approche est cruciale pour répondre durablement aux besoins alimentaires des populations et favoriser leur bien-être.

Battre campagne en voilier

Une campagne océanographique
a réussi à collecter des données à partir
d'embarcations non dédiées (voilier, pirogues, ferry)
ouvrant la voie à des explorations marines
« bas-carbone » et à faible coût.

© IRD/E. Machu



Doctorant vérifiant les appareils de mesure
avant leur déploiement depuis la pirogue,
Sénégal.



© IRD/E. Machu

Perche équipée d'appareils de mesure
sur un voilier, Sénégal.

PARTENAIRES

École supérieure polytechnique,
université Cheikh-Anta-Diop de Dakar,
Sénégal

Université Assane-Seck de Ziguinchor,
Sénégal

École supérieure des sciences
et techniques de l'ingénieur, université
Amadou-Mahtar Mbow, Sénégal

Le plat national sénégalais est le thiéboudiène, un mélange de riz, de légumes et de poisson, souvent de grosses sardines que l'on appelle sardinelles. Chaque année, 400 000 tonnes de sardinelles sont pêchées pour la consommation régionale. Pourtant, depuis 2008, leur consommation par les Sénégalais a été réduite de moitié au profit d'une transformation en huile et en farine exportées vers l'Europe et l'Asie. De quoi fragiliser l'équilibre alimentaire des populations locales et susciter des inquiétudes quant à l'état des stocks de sardinelles dont la pêche n'est pas, ou très mal, réglementée.

Ces craintes sont d'autant plus fortes que le fonctionnement physique de la zone se révèle aussi complexe que mal connu. Depuis une douzaine d'années, plusieurs campagnes océanographiques ont ainsi été mises en place, chacune avec un objectif précis : mieux comprendre les remontées massives d'eaux froides riches en nutriments ; analyser l'écosystème, et en particulier le plancton qui est à la base de l'alimentation des sardinelles ; collecter des données de pêche. En 2015, une campagne de mesures physiques devait commencer, mais, faute de financements, elle a dû réduire sa voilure et chercher des alternatives à bas prix. La pose de capteurs sur un unique voilier a permis la collecte de données physiques (température, salinité, courant) et biogéochimiques (oxygène, nutriments, communauté de plancton, biodiversité) sur le plateau sud-sénégalais et dans les estuaires du Sine Saloum ou de la Casamance. Des transects réguliers ont été effectués, non pas sur deux ou trois semaines comme lors des campagnes océanographiques, mais sur l'ensemble de l'année afin de couvrir la variabilité saisonnière de la région.

- ... Des collectes de données régulières effectuées en voilier au large du Sénégal ont permis de mieux saisir la dynamique océanique ...

Des collaborations ont également été lancées avec des pêcheurs pour équiper leurs pirogues de capteurs de données. Dans la même veine, un ferry, le *Diambogne*, qui assure les rotations entre Dakar et Ziguinchor, va également collecter des données. De quoi obtenir des quantités d'informations, notamment sur les zones peu profondes (< 15 m) qui ne sont jamais explorées par les gros navires océanographiques. Cette approche « low cost » s'est révélée très intéressante et ouvre la voie à une exploration marine bas-carbone d'un nouveau genre pour collecter des données en milieu côtier.



Pêche à la senne tournante de *Sardinella Aurita* au large de Joal, Sénégal.

Nage au-dessus des habitats sous-marins

En matière d'observation de l'environnement, les données manquent souvent. Mieux suivre la variabilité des habitats de faibles profondeurs océaniques, comme les récifs coralliens ou les herbiers, est un enjeu important pour évaluer la santé des écosystèmes côtiers.



© IRD/IF Dupont

Cartographie des habitats marins littoraux par télédétection à très haute résolution, ouest de Grande-Terre, Mayotte.

D'ici quelques années, il sera possible de cartographier les habitats d'un herbier ou d'un récif corallien en moins d'une heure ! Telle est du moins la vision d'une équipe scientifique basée à La Réunion et qui développe de nouvelles méthodes pour cartographier les espaces situés à de faibles profondeurs océaniques, et plus particulièrement les récifs coralliens.

Ces derniers fourmillent en effet d'habitats divers qu'il n'est pas toujours aisé de décrire ou de suivre dans leur évolution. Des images satellitaires très haute résolution permettent de détecter des habitats, mais ne sont pas suffisantes si elles sont utilisées seules pour produire des cartes fiables, y compris si les eaux sont limpides.

D'où l'idée de mêler les approches et de compléter l'imagerie satellitaire avec des vidéos sous-marines ; ces dernières sont prises 1 à 2 m sous la surface de l'eau par un plongeur qui va parcourir le récif corallien équipé d'une balise GPS et propulsé par un scooter des mers. L'énorme quantité de vidéos ainsi obtenues est ensuite analysée à l'aide d'une intelligence artificielle qui, une fois entraînée, va interpréter et classer les images pour en déduire une cartographie des habitats à très haute résolution. Une première !

« Le projet est une formidable opportunité de valoriser notre savoir-faire en environnement marin en collaboration avec l'IRD pour développer des outils R&D innovants répondant aux attentes croissantes des gestionnaires d'aires marines protégées. En intégrant les pressions cumulées terre-mer, ses résultats contribueront à une meilleure planification et à la préservation des récifs coralliens, indispensables au développement durable des territoires insulaires. »

Alexandre Sneessens, Créocéan océan Indien, France



© IRD/D.Theuerkauff

Prises de vues sous-marines avec caméra et système de positionnement à haute résolution, est de Grande-Terre, Mayotte.

- Une nouvelle approche, peu onéreuse, mêlant imagerie satellitaire, vidéos sous-marines et algorithmes, permet d'accélérer la cartographie des habitats côtiers •••

À Mayotte, cette méthode a été utilisée pour cartographier les habitats d'un récif très proche de la plage et de fait impossible à parcourir avec un bateau. Les résultats montrent que les algorithmes parviennent à classer certains habitats avec plus de 90 % de fiabilité. Une telle approche pourrait donc permettre de suivre la variabilité des habitats d'une saison à l'autre et, de ce fait, l'évolution temporelle des écosystèmes coralliens ou des herbiers.

À terme, cette technique de cartographie pourrait être réalisée de façon automatique par des drones sous-marins. Peu onéreuse, elle permettrait à tous les États de suivre à moindres frais la santé de leurs écosystèmes côtiers qui, on le sait, sont particulièrement soumis aux impacts des activités humaines, qu'il s'agisse de pêche, de tourisme, de transport ou de changement climatique.

PARTENAIRES

Créocéen océan Indien, France

Office français de la biodiversité, France

Parc naturel marin de Mayotte, France

Université de Mayotte, France

Éclairer la biodiversité invisible

Technologie utilisée depuis plus de vingt ans,
l'étude des fragments d'ADN laissés par les organismes
dans l'environnement connaît un développement
sans précédent grâce à une double révolution
microélectronique et numérique.

© IRDM, Bousion



Poissons demoiselles et coraux,
Nouvelle-Calédonie.

Quiconque a déjà vu une série policière le sait : nous laissons des traces d'ADN derrière nous. C'est utile pour résoudre des enquêtes, mais aussi pour étudier l'écologie marine. Car à l'instar des criminels, les organismes aquatiques libèrent dans l'environnement des fragments d'ADN. Ce matériel génétique, appelé ADN environnemental (ADNe), peut être récupéré dans l'eau et analysé par les scientifiques pour avoir une idée de la biodiversité marine. Du moins en théorie.

Car dans les faits, cette « soupe » contient surtout l'ADNe des espèces les plus abondantes comme le microscopique plancton. Y dénicher celui des espèces plus rares, comme les poissons, les dugongs ou les requins, revient à chercher de petites aiguilles dans une botte de foin. Mais les progrès en microélectronique (miniaturisation des capteurs intégrés aux séquenceurs) couplés à ceux du numérique (bio-informatique et intelligence artificielle) ont changé la donne.

Il est possible désormais de détecter très rapidement dans l'environnement des espèces peu observables jusque-là avec des approches traditionnelles (plongée, vidéo), soit parce qu'elles sont rares, soit parce qu'elles ne se distinguent pas à l'œil nu des autres espèces. Si beaucoup de choses restent à faire, notamment identifier l'ADN de milliers d'espèces marines, cette révolution génétique ouvre toute une gamme d'applications, notamment pour les gestionnaires des écosystèmes.

« Dans un territoire caractérisé par l'une des plus importantes biodiversités de la planète, la technologie de l'ADN environnemental représente une voie d'avenir pour l'étude, la conservation et la gestion de notre espace maritime. Ces travaux de l'IRD sont essentiels tant pour la gestion de nos récifs inscrits au patrimoine de l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco) que pour le développement d'outils de détection rapide d'espèces d'intérêt comme les requins. »

Emmanuel Coutures, Développement durable des territoires, province Sud de Nouvelle-Calédonie, France

... L'étude de l'ADN environnemental permet désormais de détecter des espèces invisibles jusque-là et d'obtenir une meilleure idée de la biodiversité d'un écosystème ...



© IRD/K. Bussone

Prélèvements d'échantillons marins de surface pour des analyses, Nouvelle-Calédonie.

Ainsi, des études menées en Nouvelle-Calédonie ont montré que cette approche pouvait détecter 44 % en plus d'espèces de requins que les méthodes traditionnelles. L'analyse en continu de l'ADNe contenu dans l'eau du lagon pourrait ainsi donner naissance à un tout nouveau dispositif de surveillance capable de repérer en quelques heures la présence de requins. De quoi réduire les risques d'attaque.

L'analyse de l'ADNe a aussi permis de comparer la richesse écologique des monts sous-marins, selon leur profondeur. Les scientifiques ont montré que les moins profonds d'entre eux (50-100 m) hébergeaient un grand nombre d'espèces de poissons prédateurs de grande taille, ceux-là même menacés par les activités humaines partout ailleurs. Il y a donc une importance primordiale à protéger ces écosystèmes refuges.

PARTENAIRES

Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, France

Provinces Sud, des îles Loyauté et Nord, Nouvelle-Calédonie, France

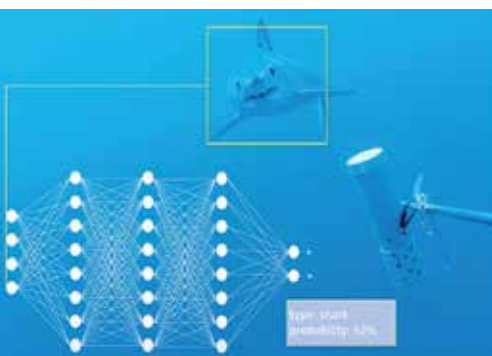
Agence néo-calédonienne de la biodiversité, France

Ginger Soproner, Nouvelle-Calédonie, France

Bluecham, Nouvelle-Calédonie, France

L'intelligence artificielle pour mesurer la biodiversité

L'urbanisation, la surexploitation des ressources, les pollutions, la destruction des habitats et le changement climatique sont responsables de la sixième extinction massive d'espèces. Un phénomène global que les scientifiques tentent de quantifier au mieux.



Identification d'un requin mako pélagique par *deep learning*, Nouvelle-Calédonie.

PARTENAIRES

Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, France

Provinces Sud et Nord, Nouvelle-Calédonie, France

Université Cadi Ayyad, Maroc

Université Cheikh-Anta-Diop de Dakar, Sénégal

Université de Yaoundé I, Cameroun

Ginger Soproner, Nouvelle-Calédonie, France

Bluecham, Nouvelle-Calédonie, France

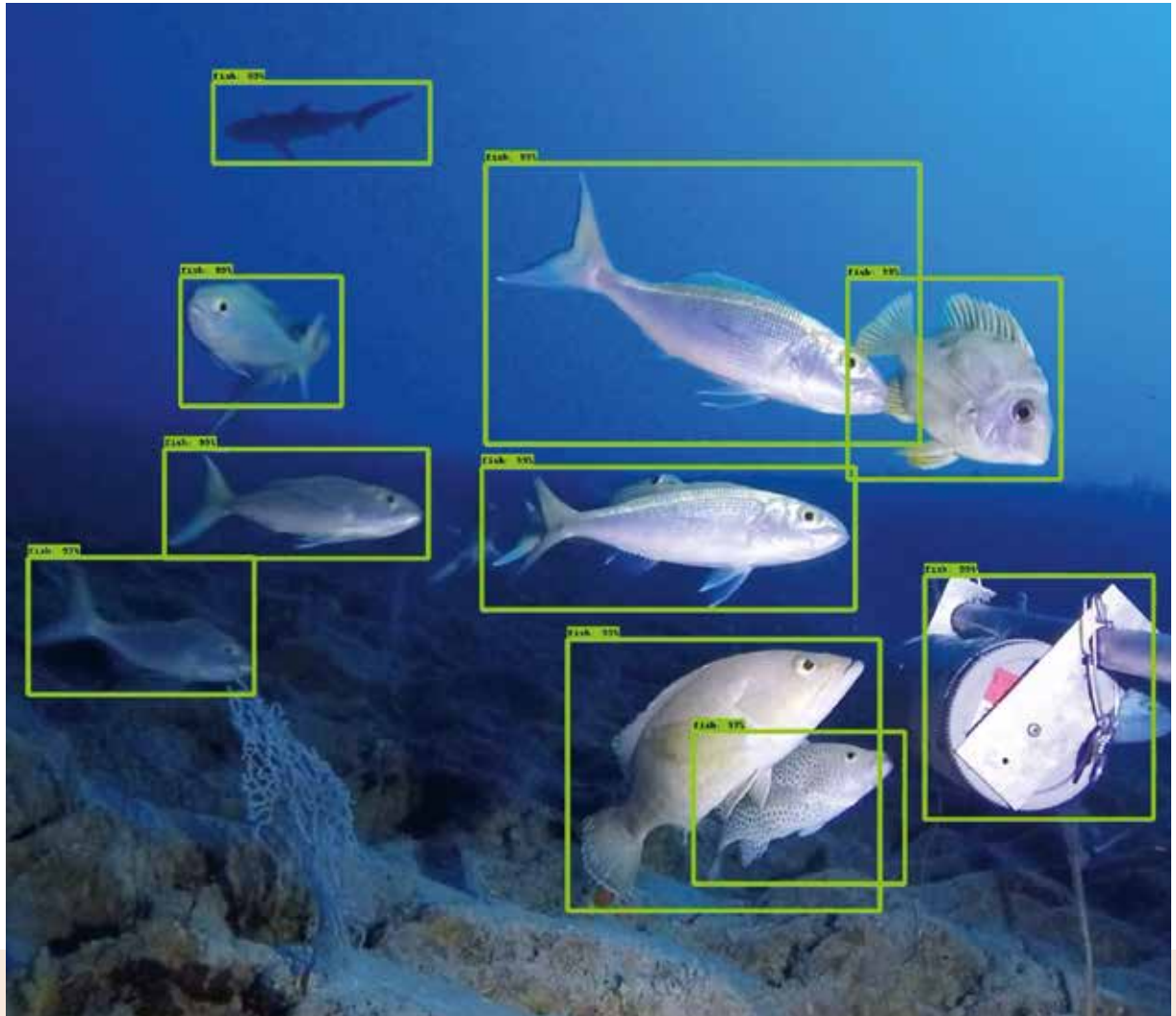
Pour mesurer le réchauffement climatique, il est possible de compter sur des capteurs, des bouées marines, des images satellitaires, en somme des enregistrements continus de paramètres physiques. Mais les choses deviennent beaucoup plus compliquées quand il est question de documenter l'érosion d'un ensemble aussi mouvant et varié que la biodiversité. Sur ce plan, l'intelligence artificielle (IA) est en train de changer la donne.

Le *data mining* (fouille de données), par exemple, permet d'extraire de l'information utile du bestiaire hétéroclite des bases de données mondiales, qu'il s'agisse de comptages, d'enregistrements sonores produits en bioacoustique ou de séquençages d'ADN environnemental. L'IA peut alors pointer des liens insoupçonnés entre les espèces, reconstruire les réseaux d'interaction, mettre en évidence leur sensibilité face aux variations environnementales, ou identifier des indicateurs. Autant de résultats qu'il aurait été impossible d'obtenir avec des méthodes classiques.

Autre exemple très prometteur : le *deep learning* (apprentissage profond) qui automatise l'analyse de données issues de capteurs, par exemple vidéo. Ce procédé permet de détecter des animaux ou des habitats sur des images ou des vidéos sous-marines. Cette IA n'est toutefois pas performante sur tous les points. Elle a même un défaut constitutif puisque, pour apprendre à reconnaître une espèce, il lui faut des images de celle-ci. Et pas seulement quelques-unes ! En moyenne, il lui en faut 1 000, ce qui est très compliqué à fournir puisqu'en matière de biodiversité la majeure partie des espèces est en réalité rarement observée.

Malgré ces difficultés, l'arrivée de l'IA constitue une rupture scientifique dont l'impact commence tout juste à être perçu. L'un des enjeux désormais est le dépôt des données scientifiques dans des entrepôts dédiés et fiables.

... De nouvelles approches d'analyse,
appuyées sur l'intelligence artificielle,
permettent de jauger l'érosion de la biodiversité ...



© IRD/L. Vigliola

Détection de poissons par *deep learning*, Nouvelle-Calédonie.

« Tout gestionnaire d'espèces marines, qu'elles soient rares, menacées ou d'intérêt halieutique, est à l'affût de techniques innovantes de mesure et de suivi efficient, qui s'affranchissent de l'observateur humain, et pour lesquelles les algorithmes de l'IRD ont déjà montré une belle efficacité (dugongs, tortues, requins, vivaneaux). »

Emmanuel Coutures, Direction du développement durable des territoires, province Sud de Nouvelle-Calédonie, France

L'IA qui se prenait pour un oiseau de mer

Connaître et comprendre le fonctionnement des écosystèmes marins nécessite des quantités considérables de données d'observation souvent difficiles à recueillir et à analyser. Des difficultés face auxquelles l'intelligence artificielle offre de nombreux atouts.

© IRD/S. Bertrand



Fous masqués sur l'archipel Fernando de Noronha, un refuge pour la biodiversité, Atlantique Sud.

PARTENAIRES

Université fédérale de Rio Grande,
Brésil

Université fédérale d'Alagoas, Brésil

Université fédérale de Rio de Janeiro,
Brésil

Université Cadi Ayyad, Maroc

Centre de recherches sur
les écosystèmes côtiers, Cuba

Institut Mines-Télécom Atlantique,
France

UMI Ummisco, France

Laboratoire d'informatique,
de robotique et de microélectronique
de Montpellier, France

Les oiseaux de mer adaptent leurs déplacements à la distribution de leurs ressources alimentaires, elles-mêmes mouvantes et tributaires de la variabilité océanique. Vivant à l'interface entre l'air et la mer dans tous les océans, ils sont plus faciles à observer que les animaux subaquatiques. Leurs trajets constituent donc d'excellents indicateurs de la biodiversité marine. Mais tirer des informations fiables de leur observation nécessite d'énormes quantités de données pour identifier des facteurs réellement explicatifs à partir de statistiques solides.

L'intelligence artificielle se révèle d'une grande utilité afin de pallier ces difficultés. Capable de simuler le comportement d'organismes vivants à partir d'une exploration des données d'observation, elle permet d'appréhender l'évolution de la biodiversité marine face à la variabilité climatique ou à la pression humaine (pêche, pollution, développement des énergies renouvelables).

Fruit de l'intelligence artificielle, un avatar numérique reproduit ainsi le comportement des oiseaux de mer. Créé tout d'abord à partir de simples réseaux de neurones artificiels, puis avec des outils d'apprentissage profond, ses performances s'améliorent au fur et à mesure qu'arrivent de nouvelles données issues de contextes d'observation variés.

Ce simulateur offre l'intérêt de conduire des expériences virtuelles sur les écosystèmes marins et d'en prédire les effets. Dès lors, il est possible de tester en amont l'impact d'éoliennes en mer, de modifications de la réglementation des pêches ou du changement de paramètres environnementaux. Le champ applicatif est large et inclut dès à présent les régions au large du Brésil, de Cuba et du Maroc.

... Un avatar numérique d'oiseaux de mer permet d'explorer les possibles impacts de projets de développement ou de phénomènes naturels sur la biodiversité marine ...



© IRD/T. Berr

Vol d'une colonie de sternes dans le lagon Sud, Nouvelle-Calédonie.

Des bactéries à dos de plastique

Comme toute surface, le plastique héberge des bactéries capables de s'agréger et de former un biofilm qui les protègent. En mer, elles peuvent être ingérées par des espèces aquatiques ensuite consommées par l'homme, ce qui suscite de nouveaux risques sanitaires.



© CNRS/T. Bouvier

Prélèvement des bactéries associées aux plastiques, Maurice.



© CNRS/T. Bouvier

Zone d'accumulation de plastiques, port de Maurice.

Le plastique, c'est fantastique. Sauf quand il arrive en milieu marin. Là, il représente un danger mortel pour les animaux par strangulation, obstruction, ou encore intoxication chimique. Mais de façon moins connue, il peut aussi engendrer un risque microbiologique et transférer des bactéries potentiellement pathogènes le long du réseau trophique, jusqu'à l'homme.

C'est du moins l'hypothèse aujourd'hui testée à Madagascar, un pays où les politiques de gestion des déchets plastiques sont insuffisantes et où les stations d'épuration manquent. De quoi créer des conditions particulièrement favorables à la contamination des macro- et microplastiques des eaux côtières par des bactéries potentiellement pathogènes. D'où l'importance de quantifier ce risque.

... Une étude expérimentale suit le destin de bactéries fluorescentes transportées par du plastique le long de la chaîne alimentaire ...

Pour ce faire, deux approches sont envisagées : la première utilise des analyses bactériologiques pour identifier *in situ* ces bactéries associées aux plastiques et savoir si elles restent vivantes, si elles sont nombreuses et si elles sont résistantes aux antibiotiques ; la seconde

« Le projet d'évaluation du risque microbiologique des plastiques est novateur pour la recherche tant au niveau local, à Toliara, qu'au niveau national à Madagascar. Il prend toute sa dimension dans ce pays où les politiques publiques de gestion des déchets et des eaux usées sont en développement. Les résultats apporteront des éléments concrets aux décideurs malgaches pour établir les futures directives. »

Irène Rasoamananto et Gildas Todinanahary, Institut halieutique et des sciences marines, Madagascar



© IRD/Didem/Rijasolo

Canal à ciel ouvert bouché par la végétation et les déchets en plastique à Mahajanga, Madagascar.

utilise des microplastiques contaminés en laboratoire par une bactérie modèle (*Escherichia coli* - GFP qui fluoresce en vert) pour déterminer si elle est transférée aux animaux marins une fois les microplastiques consommés. Deux espèces très prisées à Madagascar ont été testées : le concombre de mer et le poisson lapin.

Les résultats montrent que *E. coli* est transférée dans la lumière intestinale de ces organismes, créant un risque sanitaire nouveau. Une approche intégrative s'avère nécessaire pour évaluer ce risque, incluant des résultats microbiologiques de mesures *in situ* et expérimentales, ainsi que le fruit d'études anthropologiques auprès des populations locales, notamment dans les filières de pêche, commerciales ou non, et sur leurs représentations du risque.

Enfin, pour sensibiliser dès à présent les citoyens à ces travaux de recherche, des résidences d'artistes ont été organisées. Les auteurs-compositeurs et les dessinateurs de bandes dessinées invités ont travaillé avec des scientifiques et des enfants de 10 à 15 ans pour créer une bande dessinée et une chanson aujourd'hui diffusée à la radio. Le succès a été tel que ce type de résidence sera répétée à Madagascar et aux Seychelles.

PARTENAIRES

Institut halieutique et des sciences marines, Madagascar

Centre national de la recherche scientifique, France

Centre hospitalier universitaire de Montpellier, France

Institut Pasteur, Madagascar

Vers une électricité faite maison ?

Selon les scénarios les plus pessimistes, la demande énergétique de la Tunisie pourrait tripler d'ici à 2050. Cette projection incite au développement de nouvelles technologies pour favoriser la production de l'électricité localement.



© Joint Center for Structural Genomics

Thermotoga maritima modélisée.

Manger des fruits et légumes, c'est bon pour la santé... mais cela pourrait aussi permettre de fabriquer de l'électricité, notamment en Tunisie ! Dans ce pays où les ressources fossiles manquent, 70 à 80 % des déchets sont constitués de restes alimentaires, contre 40 % en France. Une belle opportunité puisque cette matière organique pourrait être utilisée pour produire du biogaz. Pas du méthane, mais du biohydrogène, qui pourrait être stocké et facilement converti en électricité !

... Des bactéries issues des profondeurs marines pourraient permettre de produire de l'hydrogène ...

Le procédé est étudié depuis les années 1990 : certaines bactéries vivant à température ambiante fabriquent en effet du biohydrogène lors de la digestion anaérobie (processus de décomposition) de matière organique. Mais leur rendement de production est mauvais. En outre, leur milieu de culture peut facilement être contaminé par d'autres bactéries, ce qui entrave encore plus leur productivité. D'où l'idée de travailler dans des conditions de température et de pression plus sélectives et de se pencher sur les micro-organismes vivant dans les profondeurs océaniques, autour des sources d'eaux chaudes dites « hydrothermales ».

Parmi eux se trouve *Thermotoga maritima*, la bactérie productrice d'hydrogène la plus étudiée. Capable de fermentation, c'est-à-dire de transformer les polysaccharides (très présents dans la biomasse) en molécules de dihydrogène, elle a un rendement deux fois supérieur à celui des bactéries de surface. Et pour qu'elle puisse en produire trois fois plus, il faudrait ajouter des co-cultures, autrement dit des micro-organismes compagnons susceptibles de lui fournir des vitamines essentielles, de digérer la viande ou d'aller jusqu'à la

PARTENAIRES

Institut supérieur des sciences
biologiques appliquées de Tunis, Tunisie

Institut national de recherche
et d'analyse physico-chimique, Tunisie

Institut méditerranéen d'océanologie,
France

Toulouse Biotechnology Institute,
France

« La valorisation des déchets organiques alimentaires pour produire de l'énergie en Tunisie pourrait à la fois permettre une meilleure gestion des déchets et soutenir la transition énergétique, tout en réduisant la dépendance aux ressources fossiles. Avec 2,8 millions de tonnes de déchets annuels, dont 68 % organiques, le potentiel de biogaz pourrait couvrir jusqu'à 13 % de la demande énergétique d'ici 2030. Des bactéries comme *Thermotoga maritima*, capables de transformer la biomasse en biohydrogène, offrent une solution durable pour renforcer l'autonomie énergétique du pays. »

Hana Gannoun, Institut supérieur des sciences biologiques appliquées de Tunis, Tunisie



Prélèvement de micro-organismes issus de sources hydrothermales dans un fermenteur, Tunis, Tunisie.

minéralisation complète de la matière organique. Cette piste récente est explorée par une campagne de prélèvements autour des sources hydrothermales profondes.

À terme, l'objectif serait de créer des digesteurs individuels (à placer par exemple sur son balcon). Ces composteurs seraient chauffés à 80 °C par l'énergie solaire et mis sous pression à 250 bars, ce qui faciliterait au passage le stockage du dihydrogène. D'après les estimations, avec ce type de dispositif, 5 kg de déchets ménagers pourraient produire assez de dihydrogène pour alimenter en électricité un foyer de quatre personnes pendant une journée dans des conditions de vie européennes.

Les Comores en manque de sable

Depuis une trentaine d'années, les littoraux des Comores sont soumis à une érosion généralisée. De manière concomitante, les prélèvements de sable se multiplient et modifient la dynamique des plages.



© IRD/N. Mirhadi

Mesures topographiques sur le littoral, Comores.

L'archipel des Comores est composé d'îles volcaniques issues d'un même point chaud, donc d'âges variés, de la plus récente, la Grande Comore, à la plus ancienne, Mayotte, avec ses barrières de corail et ses lagons. Entre les deux se trouvent Anjouan et Mohéli, d'âges intermédiaires et entourées de plages de sable noir nées de l'érosion des roches volcaniques. Or, sur ces deux dernières îles, les plages disparaissent peu à peu. Et la cause n'est pas à chercher que du côté de la mer.

Jusque dans les années 1950, les habitants des Comores utilisaient de la matière végétale pour construire leurs habitations. Mais cette pratique a changé après le passage d'un cyclone particulièrement destructeur. Ils optent désormais pour des bâtiments en dur, construits à partir de sables prélevés en masse sur les rivages. De quoi « amaigrir » les plages qui d'ordinaire, grâce à leur pente, amortissent la puissance des vagues. En conséquence, le littoral s'érode, mettant en péril routes, infrastructures et habitations.

... La vulnérabilité à l'érosion côtière des Comores pourrait être réduite par la mise en place d'indicateurs d'érosion et de suivi topographique des plages, mais aussi par un changement des représentations locales ...

Ce constat a amené les scientifiques à mettre en place des indicateurs paysagers de l'érosion du littoral et à suivre le profil topographique des plages. Objectif : faire prendre conscience aux décideurs comme aux préleveurs de sable que ces pratiques ont un impact réel. Pour ce faire, ils ont appris aux services techniques locaux responsables du littoral et de l'environnement à utiliser des topomètres, outils d'usage simple et peu coûteux, permettant de jauger le profil des plages deux à



© IRD/N. Mirhani

Habitat endommagé par l'érosion à Mohéli, Comores.

trois fois par an pour en suivre l'évolution. Des indicateurs paysagers de l'érosion d'un usage encore plus simple seront en outre transmis aux enseignants, jetant les bases d'une recherche participative.

Ces profils topographiques des plages et ces indicateurs sont présentés dans un atlas publié pour sensibiliser les décideurs et orienter certaines décisions. Par exemple, plutôt que de prélever du sable sur les plages pour la construction, il serait sans doute préférable de subventionner l'importation de pouzzolane (roche naturelle) de la Grande Comore, dont l'exploitation ne nécessite pas de déforester. Une autre option serait d'utiliser de l'argile, dont les ressources sont suffisamment abondantes, pour promouvoir un habitat en brique comme à Madagascar. La grande île pourrait aussi fournir du sable pour recharger les plages comoriennes les plus amaigries et réduire ainsi leur vulnérabilité à l'érosion côtière.

PARTENAIRES

Université des Comores, Comores

Parc national de Mohéli, Comores

Réseau national des aires protégées, Comores

Gouvernorat de Mohéli, Comores

Gouvernorat d'Anjouan, Comores

Laissons les mangroves se reboiser seules

Le carbone bleu désigne le carbone capturé et stocké par les écosystèmes marins et côtiers. Il joue un rôle important dans la lutte contre le changement climatique et fournit de nombreux services écosystémiques, mais il peut aussi devenir le prétexte à des politiques délétères.



Femmes Irula pêchant des crevettes dans la mangrove à Pichavaram, Inde du Sud.

© IRD/J. Andrieu

Depuis les accords de Kyoto puis ceux de Paris sur le climat, le marché des crédits de carbone a pris son envol et, avec lui, des investissements privés massifs visant à protéger ou restaurer les écosystèmes capables de séquestrer du carbone bleu (les herbiers marins, les récifs coralliens et les mangroves).

Dans cette liste, les mangroves suscitent particulièrement les convoitises. D'abord parce qu'elles sont souvent citées comme menacées et en régression. Ensuite parce qu'elles rendent de nombreux services écosystémiques : elles limitent l'érosion des côtes, protègent des typhons, purifient les eaux ou servent de zones de reproduction pour les poissons. Enfin, parce que ces « forêts dans la mer » ont un fort pouvoir d'évocation, facilement exploitable à des fins de communication.

Cette réalité est à l'origine de dérives que les scientifiques ont pu décrire. Sous couvert de compensation, de séquestration de carbone et de reforestation, les États concèdent au secteur privé des mangroves



© IRD/M. Cormier-Salem

Pêche aux huîtres dans la mangrove, estuaire de Santa Cruz, Pernambuco, Brésil.

« Les résultats soulignent l'importance de mettre en œuvre des projets de restauration des mangroves visant à rétablir la structure et la fonction de cet écosystème par la restauration de la qualité du sol et de l'eau, favorisant ainsi la biodiversité et les services écosystémiques. De plus, cette recherche met en avant la nécessité de reconnaître les droits et l'accès des communautés locales aux ressources des mangroves, en promouvant une approche respectueuse de leurs usages traditionnels et contribuant à la durabilité sociale et culturelle de ces écosystèmes. »

Claudia M. Agraz Hernández, université autonome de Campeche, Mexique



© IRD/C. Proisy

Mangrove fragilisée à cause de l'érosion causée par la houle, Guyane française.

qui jusque-là appartenaient aux communautés locales. Ces entreprises y plantent une seule espèce de palétuvier, celle qui pousse le plus vite afin de pouvoir montrer rapidement l'impact de leurs actions.

Mais ces forêts monospécifiques n'ont rien à voir avec des mangroves spontanées : peu diversifiées, elles ne rendent pas les mêmes services écosystémiques... ni les mêmes services sociaux puisque ces terres plantées ne sont plus accessibles aux populations qui venaient y pêcher des huîtres, y ramasser du bois mort, y extraire du sel, y faire pousser du riz ou encore s'y promener et y célébrer des cérémonies rituelles.

**... Des recherches pointent les dérives autour
du « carbone bleu » et appellent à une meilleure
compréhension du fonctionnement des mangroves ...**

Les scientifiques dénoncent les effets pervers de ces mécanismes et appellent à une démarche plus holistique : avant de penser compensation, il faut tout mettre en œuvre pour réduire les émissions de gaz. Et si compensation il doit y avoir, il faut qu'elle prenne en compte les réalités socio-économiques et écologiques locales.

En l'occurrence, pour les mangroves, la meilleure façon de les restaurer n'est pas de replanter, mais de recréer les conditions environnementales permettant leur régénération, en favorisant, par exemple, le dépôt de sédiments.

PARTENAIRES

Université Amadou-Mahtar Mbaw,
Sénégal

Université fédérale rurale
de Pernambuco, Brésil

Université autonome de Campeche,
Mexique

PARTIE 4

DES SAVOIRS PARTAGÉS

Jeu de cartes Mareco sur les récifs coralliens, Comores.





Le son du silence

Le monde de la mer n'est pas celui du silence : les sons y sont légion et permettent aux océanologues de repérer les organismes qui y vivent, de saisir certains de leurs comportements ou de donner des indications sur l'état de santé des écosystèmes.

© IRD/J. Brochier



Batrachoides liberiensis, surnommé « hyène de mer » par les pêcheurs lebu, Dakar, Sénégal.



© Grain des choses/C. Gatiéau

Dessin illustrant les espèces identifiées par les pêcheurs apnéistes à partir des enregistrements des sons sous-marins.

En 2018, au large de Dakar, un océanologue a utilisé des hydrophones pour enregistrer en continu les sons sous-marins et en tirer des informations sur l'écosystème marin local. Ces dispositifs étant chers, il a travaillé avec un chasseur apnéiste local pour les installer dans des sites clés tout en les camouflant pour qu'ils ne soient pas ramassés par les pêcheurs. Il a ensuite cherché à donner un sens à l'ensemble des données recueillies... C'est alors qu'un anthropologue lui a parlé d'une expérience menée au Caire, dans laquelle le cheminement des habitants dans la ville était enregistré, puis commenté par ces derniers afin de bénéficier de leurs connaissances de l'environnement urbain. En s'inspirant de cette expérimentation, les scientifiques ont adapté la méthode au milieu sous-marin, avec la collaboration du chasseur apnéiste et de plusieurs autres qui ont enregistré leurs plongées puis les ont commentées dans leur langue natale, le wolof. De quoi donner sens aux sons de la mer.

... Les savoirs des chasseurs apnéistes de Dakar donnent du sens à des enregistrements sonores sous-marins ...

Plusieurs thématiques ont émergé de ces commentaires, allant du changement climatique au comportement des poissons, en passant par les effets de la pollution. Par exemple, les crépitements entendus sur les enregistrements seraient le fait des oursins qui s'alimentent sur les rochers. L'absence de ce son témoignerait d'une pollution du site. En outre, certaines espèces crient quand elles sont touchées par une flèche. Parfois, ce son fait fuir les autres représentants de l'espèce comme c'est le cas des langoustes ; parfois il les attire comme chez les hirondelles de mer. De tels comportements sont connus en milieu terrestre, mais c'est la première fois qu'ils sont décrits pour des espèces aquatiques.

PARTENAIRES

École supérieur polytechnique,
université Cheikh-Anta-Diop de Dakar,
Sénégal

Centre de recherche océanographique
Dakar-Thiaroye, Sénégal

« Au Sénégal, les poissons disparaissent. Certains des sons de poisson que nous avons décrits ne sont déjà plus là. Cela mérite de sensibiliser les gens, pour qu'ils sachent que l'on est en train de tuer la nature de manière invisible. Donner la parole à ceux qui vont sous l'eau permet que chacun en prenne conscience. Cette expérience a amélioré ma propre compréhension des choses. À partir de là, je peux sensibiliser mon entourage, ainsi que d'autres pêcheurs. »

Babacar Sy, chasseur sous-marin sénégalais



Pêcheur faisant un commentaire sur une plongée le long du littoral de Dakar, Sénégal.

Cinq chasseurs apnéistes sénégalais se sont prêtés à l'exercice de cette « méthode immersive » permettant de recueillir un savoir qu'il aurait été impossible de glaner au travers de questionnaires ou d'entretiens. Ces connaissances locales, empiriques, peuvent apporter quantité d'informations utiles pour la compréhension des écosystèmes marins. Elles viennent ainsi nourrir les connaissances scientifiques et peuvent être transmises à une intelligence artificielle entraînée à analyser les données des hydrophones. À noter qu'à Dakar, les sons enregistrés ont été valorisés artistiquement puisqu'ils ont été transformés en musique afin de sensibiliser les populations à la richesse de la biodiversité marine.

Changer de regard sur les coraux

La sensibilisation des populations littorales
est une étape clé pour favoriser la conservation
et la protection des écosystèmes aquatiques,
en particulier les récifs coralliens.



© J. Cosse

Sortie éducative au lagon Étang-Salé
à Saint-Leu, La Réunion.

Les récifs coralliens souffrent des pressions humaines et du changement climatique, ce qui entraîne une perte de la biodiversité des écosystèmes et de services associés tels que la pêche et le tourisme. Bien que les scientifiques tirent la sonnette d'alarme depuis longtemps, les populations restent souvent mal informées des enjeux liés à ces écosystèmes. Il est donc crucial de favoriser le partage des connaissances pour sensibiliser la société, en particulier les jeunes générations, à l'importance de la biodiversité des récifs coralliens et aux défis de leur protection.

Dans l'océan Indien, ce constat a conduit les scientifiques à développer des outils de sensibilisation destinés à changer le regard des populations locales sur les récifs coralliens. Ils ont, par exemple, conçu une mallette pédagogique pour rendre les concepts scientifiques plus accessibles, ou ont tissé des liens entre arts et sciences pour mieux sensibiliser. Plus original encore, ils se sont inspirés d'une initiative pédagogique née en 2012 aux Marquises où le récit des scientifiques a incité des écoliers à créer la toute première aire marine éducative (AME). Ce dispositif novateur, qui favorise l'apprentissage à travers une démarche pédagogique et citoyenne, a depuis essaimé dans le monde. Il a été implanté dès 2016 à La Réunion pour recréer un lien entre les élèves et leur environnement marin proche.

« En gérant eux-mêmes un espace maritime, les élèves s'impliquent activement dans la préservation de l'environnement littoral. Les recherches montrent que les aires marines éducatives (AME) ne cessent de former les jeunes générations, dans l'espoir qu'elles deviennent des adultes responsables, informés et en mesure de prendre les bonnes décisions pour protéger le socio-écosystème corallien tout en considérant les savoirs ancestraux. »

Georgeta Stoica, université de Mayotte, France



© IRD/L. Massé

La découverte des récifs par le jeu, Madagascar.

... Dans l'océan Indien, l'éducation océanique bat son plein, avec notamment la mise en place d'aires marines éducatives ...

Très concrètement, les AME sont mises en place à la demande d'un enseignant. Les élèves découvrent les récifs coralliens à la fois dans leur classe et sous l'eau, avec l'appui des scientifiques et des partenaires associatifs. Une fois ces étapes franchies, charge à l'enseignant et ses élèves d'identifier des problématiques à traiter et de mettre en œuvre des solutions en collaboration avec la mairie : par exemple, planter des arbres locaux pour limiter l'érosion et le ruissellement, réduisant ainsi la turbidité de l'eau qui est néfaste aux coraux.

Le succès est tel que ce programme est en train d'être déployé dans les îles de l'océan Indien occidental (Comores, Madagascar, Maurice, Seychelles). L'ambition est que les enfants, ainsi formés, deviennent les ambassadeurs des récifs coralliens dans leur communauté et qu'ils prennent conscience de leur capacité d'action sur ce monde sous-marin. Un monde invisible qui leur rend de nombreux services écosystémiques, à commencer par la protection des côtes de l'érosion.

PARTENAIRES

Office français de la biodiversité, France

Agence régionale de la biodiversité, Réunion, France

Commission de l'océan Indien, Maurice

Université de Mayotte, France

Institut halieutique et des sciences marines, université de Toliara, Madagascar

Université des Comores

Ministères de l'Éducation nationale France et Seychelles

ONG Bel Avenir et Elite 3A, Madagascar

Adolescent Non Formal Education Network, Maurice

De l'eau au rythme de l'estuaire

Comprendre les mécanismes environnementaux
globaux et locaux, c'est bien. S'en servir pour améliorer
concrètement le quotidien des gens, c'est mieux.
La preuve par l'exemple.



© IRD/S. Duval

Débarquement de pêche dans le delta
de l'Incomati, Mozambique.

Dans l'estuaire de l'Incomati, au Mozambique, l'eau douce manque parce qu'elle est retenue en amont, en Afrique du Sud, par des barrages hydroélectriques et des plantations de canne à sucre et d'eucalyptus. Résultat : le débit de l'Incomati a été divisé par 100 au cours des soixante-quinze dernières années. Un flux très faible arrive à l'embouchure du fleuve, pourtant durement négocié avec l'Afrique du Sud dans le cadre d'un traité dont les modalités seront prochainement rediscutées.

En effet, le débit n'est actuellement pas suffisant pour prévenir la salinisation des terres agricoles utilisées par les paysans-pêcheurs vivant dans le delta, dont les voix peinent à se faire entendre. D'où la mise en place d'un programme transdisciplinaire visant à développer des méthodes pour mieux évaluer les besoins en eau de l'estuaire, tant sur le plan écologique que sociétal.

Pour ce faire, les scientifiques ont modélisé les flux d'eaux salées et douces dans l'estuaire. Ils ont ensuite mis en relation ce modèle avec le nombre d'oiseaux piscivores de ce secteur. Cet indicateur, qui permet de connaître l'état de santé de l'écosystème (présence de poissons et de crevettes), est relevé sur une plateforme participative réunissant les observations d'ornithologues professionnels et amateurs tout au long de l'année.

En parallèle, des entretiens ont été conduits avec les paysans-pêcheurs de l'estuaire. Une collaboration de deux années a été menée

« Je vis à Marracuene, près de Matsinane. Je sors le matin pour pêcher des crabes et du poisson. Le problème du fleuve, ce sont les eaux qui changent. Autrefois, il y avait de l'eau douce mais aujourd'hui, c'est de l'eau salée. À cause de cette eau, le poisson que nous pêchions n'est plus là et c'est devenu difficile d'en capturer. Le poisson s'est retiré [en amont]. »

Horacio Manhica, pêcheur dans l'estuaire de l'Incomati, Mozambique



© IRD/O. Hamerlynck

Vol de glaréoles à collier au dessus des plaines du delta de l'Incomati, Mozambique.

avec 15 habitants issus des différentes parties du delta pour qu'ils témoignent, par la tenue de carnets de bord photographiques, de leurs stratégies de pêche et d'agriculture en lien avec les rythmes de l'eau. Ces approches ont permis de documenter leurs difficultés ainsi que leurs stratégies d'adaptation lorsque l'estuaire est inondé par les eaux douces ou, au contraire, lorsqu'il se salinise.

**... Un travail transdisciplinaire a abouti
à des recommandations pour la gestion
de l'eau d'un fleuve se jetant
dans l'océan Indien au Mozambique ...**

En associant toutes ces données, les scientifiques ont montré que, au lieu de négocier un volume annuel d'eau, le Mozambique gagnerait à négocier un calendrier des débits arrivant à la côte. La recommandation est d'obtenir davantage d'eau entre septembre et octobre pour adoucir les eaux des grandes marées d'équinoxe, responsables de la salinisation des terres, et rendre le delta plus productif en poissons, crevettes, crabes, produits agricoles, végétaux et pâturages.

PARTENAIRE

Université Eduardo-Mondlane,
Mozambique

Dessine-moi la mer

Le dessin peut être utilisé pour identifier et comprendre les savoirs écologiques des enfants, mais aussi leurs représentations et émotions, et comme support de dialogue entre sciences et sociétés.



© IRD/É. Faché

Atelier de dessin à Yaté,
Nouvelle-Calédonie.

À Fidji et en Nouvelle-Calédonie, lors d'interventions en classe dans des contextes urbains et ruraux, il a été demandé à des enfants de 9 à 14 ans vivant sur le littoral de dessiner la mer, ce qu'ils y font ou ce que d'autres y font. Près de 300 dessins ont ainsi été réalisés, puis présentés et discutés par ces enfants lors de courts entretiens.

Les dessins montrent comment les enfants perçoivent le continuum terre-mer, avec ses connexions écologiques (telles que les liens entre différentes espèces marines et leurs habitats) et sociales (par exemple, l'attachement à certaines espèces emblématiques). Les enfants observent et expérimentent ces connexions via leurs propres pratiques de pêche. À Fidji, 70 % des dessins montrent des pratiques de pêche, contre environ 30 % en Nouvelle-Calédonie où les dessins représentent plutôt la plage et différentes activités récréatives qui s'y déroulent.

Lorsque des pratiques de pêche sont dessinées, les filles dessinent aussi bien des hommes ou des garçons que des femmes ou des filles, alors que les garçons tendent à ne représenter que des personnages masculins. Les enfants apprennent très tôt que femmes et hommes pratiquent diverses activités de pêche mais de manière différente. Comme le montrent les dessins, les femmes pêchent généralement sans embarcation, à proximité du rivage, et ciblent davantage que les hommes les coquillages et autres invertébrés. L'absence de personnages féminins sur les dessins des garçons reflète le fait que le rôle des femmes dans la pêche côtière est souvent moins valorisé et donc relativement invisibilisé en comparaison avec celui des hommes.

... Des anthropologues et ethno-écologues proposent de mobiliser le dessin pour permettre aux enfants d'exprimer leurs relations à leur environnement maritime ...

Les entretiens ont aussi permis de mieux saisir l'ampleur des savoirs et savoir-faire que les enfants développent – et transmettent ! – via leurs pratiques de pêche. En zones rurales notamment, à Fidji comme en Nouvelle-Calédonie, les enfants sont capables d'identifier et de nommer

PARTENAIRES

Université du Pacifique Sud, Fidji

Centre Leibniz pour la recherche
marine tropicale, Allemagne

« À Fidji, nous devons mettre l'accent sur la sensibilisation des élèves à l'environnement, car ils sont nos futurs leaders et peuvent jouer un rôle crucial en tant que gardiens et défenseurs de l'environnement. Par conséquent, l'utilisation d'aides visuelles, telles que les dessins, est une approche créative qui permet à ces élèves d'exprimer leur compréhension de l'écosystème marin et de documenter leurs valeurs socioculturelles afin d'apporter des changements positifs. »

Ulamila Matairakula, Pacific Blue Foundation, Fidji

« Ces projets de recherche permettent aux enseignants du premier degré de réfléchir aux enjeux du développement durable en impliquant les enfants de nos écoles. L'ouverture de la classe à des partenaires scientifiques permet aux élèves d'échanger avec des spécialistes, d'acquérir des connaissances dans le cadre de leur projet, de découvrir des métiers de la recherche et de créer des vocations. Ces élèves peuvent ainsi sensibiliser les autres écoliers au changement climatique et à ses conséquences. »

Vanessa Montagnat, direction de l'Enseignement de la Nouvelle-Calédonie



Dessin réalisé par un garçon de dix ans à Yaté, Nouvelle-Calédonie.

un grand nombre d'espèces de poissons, connaissent le comportement des animaux marins et décrivent différentes techniques de pêche.

Les dessins collectés témoignent ainsi que les enfants sont porteurs de fins savoirs sur le continuum terre-mer. L'exposition de ces dessins dans les villages concernés a suscité de la fierté, tout en créant des espaces de dialogue entre les enfants, les scientifiques, les enseignants, les familles, les autorités locales et, plus généralement, les citoyens.

Vers une filière durable du crabe de mangrove à Madagascar

La pêche du crabe de mangrove est longtemps restée un secteur économique secondaire à Madagascar. Mais la situation a nettement évolué depuis 2014 avec le développement des exportations de crabes vivants vers le marché asiatique, qui ont fait bondir l'effort de pêche et la production.



© IRD/M. Léopold

Mesure de la taille d'un crabe de mangrove *Scylla serrata*, Madagascar.

Depuis une dizaine d'années, la pêche du crabe de mangrove (*Scylla serrata*) revêt une telle importance économique pour Madagascar que les ressources sont désormais pêchées en grande partie avant d'atteindre leur taille de maturité et réglementaire (11 cm). Un véritable enjeu de gestion durable, qui nécessite une action concertée en renforçant les capacités des acteurs locaux à suivre et gérer les pêcheries, mais aussi en échangeant des informations sur le secteur pour améliorer sa cogestion.

Comment ? Un projet de recherche-action a, entre autres, organisé une série d'ateliers régionaux réunissant pêcheurs, mareyeurs, sociétés de collecte, administrations, ONG et scientifiques, afin de partager des connaissances sur les pêcheries et de discuter des recherches pour répondre aux préoccupations locales. Cette approche itérative a permis d'avancer régionalement et a abouti à un atelier de réflexion à l'échelle nationale. En parallèle, des activités collaboratives ont eu lieu dans les villages, avec notamment des suivis participatifs des pêches, des études socio-économiques et des tests d'engins de pêche plus sélectifs.

« Le diagnostic participatif des pêcheries a joué un rôle clé dans l'autonomisation de certains acteurs impliqués tels que les associations et les sociétés d'exportation. Le projet a structuré les interactions, renforçant ainsi la confiance, l'apprentissage social et l'action collective en faveur de la durabilité. Il est aussi impératif de remédier au manque important de données et à leur gestion, qui affectent les prises de décision de l'État malgré les conseils des scientifiques. »

Deutz Zafimamatrapehy, Institut halieutique et des sciences marines, université de Toliara, Madagascar
Thierry Razanakoto, Centre d'études et de recherches économiques pour le développement, université d'Antananarivo, Madagascar

... Une recherche-action sur la filière du crabe de mangrove
vise une valorisation durable des ressources et leur gestion concertée ...



© IRD/J. Beckensteiner

Entretien de terrain avec des pêcheurs et mareyeurs de la filière du crabe de mangrove, Madagascar.

Quel en a été l'impact ? Les ateliers multi-acteurs ont permis d'élaborer collectivement un diagnostic de la filière et de co-produire des connaissances, qui ont ensuite été agrégées à une échelle plus grande. En revanche, les interactions *in situ* n'ont pas amélioré les connaissances techniques au sein des villages, ni diversifié les échanges. Le réseau social peu développé a limité la circulation de l'information. Ce résultat a soulevé des questions sur la stratégie et l'échelle d'intervention du projet, mais n'a pas découragé les scientifiques.

Les scientifiques privilégient désormais des recherches-actions pilotées par les partenaires locaux et basées sur l'expérimentation concrète et locale de solutions prometteuses. Testées au préalable, ces dernières permettent de réduire la capture de petits crabes sans trop diminuer les revenus locaux, souvent très faibles. L'objectif ici est de montrer aux communautés locales et aux entreprises que cette stratégie peut être à terme plus rentable et plus durable. La preuve par l'exemple en somme, avant d'étendre le dispositif.

PARTENAIRES

Université d'Antananarivo, Madagascar

Université de Mahajanga, Madagascar

Université de Toliara, Madagascar

Centre d'études et de recherches
économiques pour le développement,
Madagascar

Institut halieutique et des sciences
marines, Madagascar

Centre national de recherches
océanographiques, Madagascar

La maîtrise des eaux laiteuses

Les eaux de la côte péruvienne sont très productives, mais elles connaissent des phénomènes extrêmes qui menacent directement la pêche, mais aussi l'aquaculture, en particulier l'élevage de pétoncles qui emploie quelque 200 000 personnes dans le pays.

© IRD/J. Flye-Sainte-Marie



Pétoncles péruviens de la baie de Paracas, Pérou.

Certaines eaux turquoise ne sont paradisiaques qu'en photo. Il en va ainsi pour celles qui deviennent « laiteuses » et sentent le soufre, un phénomène qui se produit parfois sur les zones côtières péruviennes à la fin de l'été. Et pour cause : cette région, l'une des plus productives du monde, génère une grande quantité de matière organique, continuellement dégradée par les bactéries. Cette activité bactérienne est si intense qu'au bout d'un moment, tout l'oxygène de l'eau peut être consommé. C'est alors que les bactéries changent de métabolisme et se mettent à produire de l'hydrogène sulfuré, donnant à l'eau un aspect laiteux, turquoise et toxique pour les organismes qui y vivent. Certaines années, cela peut entraîner la perte quasi totale des élevages de pétoncles, qui représentent une part importante de l'économie locale.

... La compréhension de certains événements océaniques extrêmes pourrait aider à limiter les pertes des aquaculteurs du Pérou ...

Ces zones subissent aussi des efflorescences d'algues nocives qui engendrent de vrais risques pour la santé humaine, avec des impacts sur la consommation locale et l'exportation. Il y a aussi les vagues de chaleur marines, qui génèrent des augmentations tout à fait anormales et significatives de la température des eaux. Ou encore de fortes précipitations qui peuvent aboutir à l'installation en surface d'une couche d'eau douce et chaude empêchant tout transfert de l'oxygène vers les couches sous-jacentes, et créant des situations d'anoxie. Ces phénomènes induisent pour l'écosystème des stress multiples, souvent combinés, et donc des risques très importants pour l'économie locale. Et ce d'autant que leur fréquence et leur intensité sont appelées à augmenter avec le changement climatique.

PARTENAIRES

Institut de la mer du Pérou

Université nationale agraire La Molina,
Pérou



© IRD/J. Flye-Sainte-Marie

Eaux laiteuses de la baie de Paracas, Pérou.

Les scientifiques s'attachent à développer un système d'alerte précoce et à bas prix qui permettra d'avertir les aquaculteurs de la survenue de l'un ou l'autre de ces épisodes. En réponse, les aquaculteurs pourront adapter leur installation, par exemple en remontant leur élevage vers la surface pour éviter la couche d'eau dénuée d'oxygène. En outre, mieux connaître la saisonnalité de ces événements permettra de faire des recommandations pour adapter les cycles d'élevage.

Alerte aux canicules marines

Les vagues de chaleur marines existent depuis des décennies. Mais elles ont tendance désormais à être plus longues, plus fréquentes et plus impactantes pour l'environnement comme pour l'économie.

© IRD/M. Bousion



Blanchissement du récif corallien, Nouvelle-Calédonie.

PARTENAIRES

Institut français de recherche
pour l'exploitation de la mer, France

Institut Louis-Malardé, Polynésie
française

Centre national de la recherche
scientifique, France

Institut agronomique néo-calédonien,
France

Université de Bretagne occidentale,
France

Université de Nouvelle-Calédonie,
France

Météo-France, France

Provinces Sud, des îles Loyauté et Nord,
Nouvelle-Calédonie, France

Direction des Ressources marines,
Polynésie française

Direction des Affaires sanitaires
et sociales, Nouvelle-Calédonie, France

Agence de développement
de la Nouvelle-Calédonie, France

Les canicules ne touchent pas que la terre ferme : elles frappent aussi le milieu marin, dont les eaux de surface deviennent anormalement chaudes, ce qui impacte l'environnement autant que l'économie. En 2011, une canicule marine observée le long de la côte ouest de l'Australie a entraîné une destruction importante des écosystèmes côtiers, de leurs habitats, un blanchissement massif des coraux, ainsi que de graves répercussions sur l'aquaculture et la pêche.

Depuis, de tels phénomènes se multiplient un peu partout dans le monde, avec des impacts variés. L'épisode le plus emblématique, surnommé le « Blob », a duré plusieurs mois en 2014-2015 dans le Pacifique Nord. Il a entraîné des proliférations d'algues toxiques et affecté l'ensemble de la chaîne trophique, jusqu'aux oiseaux marins. En 2016, en Nouvelle-Calédonie, une autre canicule marine a engendré un blanchissement inédit des coraux, jusqu'alors remarquablement conservés. L'étude de ces vagues de chaleur marines connaît depuis quelques années un engouement mondial. Pour nombre de chercheurs, il s'agit de mieux comprendre les processus à l'origine de ces événements extrêmes, de mesurer leurs impacts, mais aussi de mieux anticiper leurs conséquences sur les sociétés insulaires. En Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française, par exemple, un travail transdisciplinaire, débuté en 2024, vise à développer des solutions concrètes, à commencer par la diffusion de bulletins d'alerte à la canicule marine aux acteurs locaux. Ces derniers seront au préalable préparés à réagir aux différents scénarios de canicules au travers de cellules dédiées. À terme, des cartes de vulnérabilité seront aussi co-construites avec les gestionnaires.

En parallèle, et de façon plus surprenante, des études démarrent pour améliorer la résistance des huîtres et d'autres espèces marines commercialisées lors des canicules marines. Comment ? En les stressant quand elles sont jeunes ou en sélectionnant les plus résistantes. Un travail similaire sera mené sur les coraux très exposés aux vagues de chaleur marines.

- ... La Nouvelle-Calédonie tente de s'adapter aux vagues de chaleur marines par la mise en place d'études transdisciplinaires porteuses de solutions concrètes ...



© IRD/M. Bousion

Récif du «V» des Chesterfield, à proximité de l'îlot Loop, Nouvelle-Calédonie.

« La ferme corallienne pédagogique de Lifou a pour objectif de sensibiliser à l'environnement et de restaurer les récifs coralliens dégradés. L'intérêt des recherches du projet Mahewa sera d'optimiser les méthodes de restauration corallienne en ciblant les récifs où les coraux sont thermorésistants et d'identifier les sites de restauration idéaux autour de l'île de Lifou. Ces résultats scientifiques seront vulgarisés pour sensibiliser et informer le grand public. Cette synergie entre chercheurs, privés et collectivité territoriale renforce nos actions pour réduire les impacts anthropiques et relever les défis liés au réchauffement climatique. »

Georges Kakue, province des îles Loyauté, Nouvelle-Calédonie, France

Gregory Lasne, Biocénose Marine, Nouvelle-Calédonie, France

Des grands fonds marins peu connus mais convoités

Les grands fonds océaniques sont constitués de paysages géologiques variées et ils abritent des écosystèmes très divers. L'exploration scientifique de ces espaces encore très mal connus, excitant les convoitises et les imaginaires, fait aussi émerger des enjeux complexes, économiques, politiques et environnementaux.



© IRD/Fabrice Charleux

Plateforme régionale de dialogue sur les grands fonds marins, Tahiti, décembre 2024.

PARTENAIRES

Centre national de la recherche scientifique, France

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, France

Muséum national d'histoire naturelle, France

Université de Bretagne occidentale, France

Sorbonne université, France

Université Paris-Saclay, France

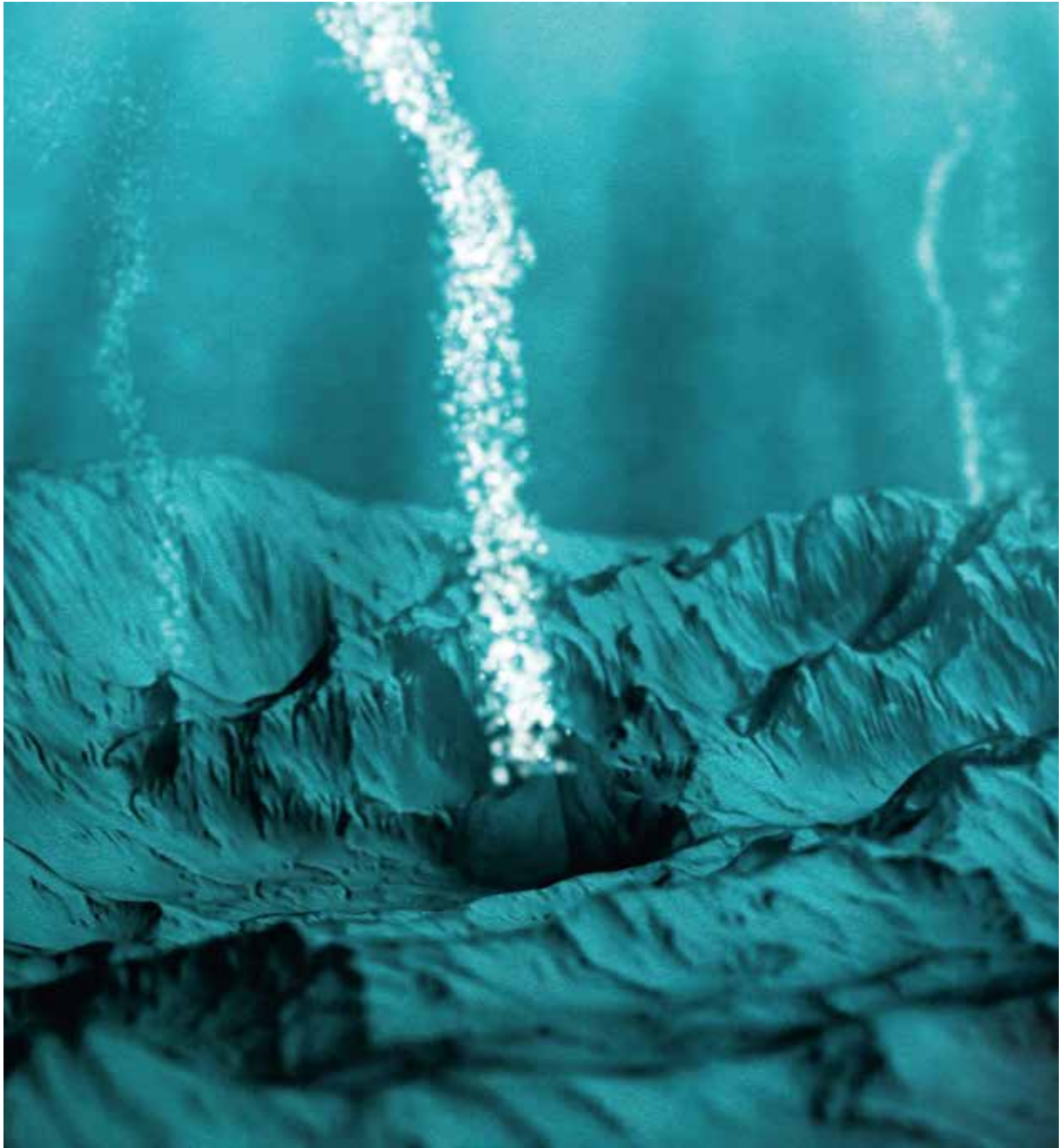
Institutions politiques et coutumières de Nouvelle-Calédonie, Polynésie française et Wallis-et-Futuna

Les grands fonds océaniques sont par définition invisibles, distants, obscurs. On ne les connaît que par le truchement de sciences et de technologies sophistiquées capables d'envoyer des robots et des sous-marins les visiter. De façon neutre ? Pas forcément. C'est ce que soulignent des chercheuses et chercheurs en sciences humaines et sociales (SHS) en étudiant les raisons qui poussent différents acteurs scientifiques, politiques et industriels à produire des connaissances sur les grands fonds.

... Les sciences humaines et sociales interrogent les regards scientifiques pluridisciplinaires portés sur l'exploration des profondeurs océaniques ...

En interrogeant le postulat de la neutralité scientifique, les SHS s'intéressent aux enjeux environnementaux, politiques, économiques et géopolitiques que ces connaissances révèlent. Car si la science produit de nouvelles connaissances, elle le fait au risque d'invisibiliser d'autres registres de savoirs et de représentations, et en particulier ceux des populations autochtones. Or, ces savoirs expriment aussi des visions du monde faites d'affirmations souveraines sur les espaces marins.

Les habitants du Pacifique voient l'océan comme un tout. Ils en ont une connaissance approfondie en matière de courants, de navigation, de sites de pêche, de climat ou encore d'identification des monts sous-marins. Car l'océan est leur lieu de vie, et parfois de mort. Les Kanak de Nouvelle-Calédonie considèrent ainsi que les fonds océaniques sont les lieux de repos des âmes des défunts et demandent à ce titre leur préservation. Cette vision culturelle a peu à peu été prise en compte, notamment avec l'intégration d'un collège coutumier à la gouvernance du parc naturel de la mer de Corail, créé en 2014.



© IRD/F. Renaud

Image modélisée des activités volcaniques aux îles Tonga.

Cette approche primordiale, portée par les sciences humaines et sociales, est au cœur d'un programme de recherche récent sur les grands fonds marins, mené par plusieurs instituts. La création de deux plateformes de dialogue régional dans le Pacifique vise en particulier à mieux cerner la place des différents registres de savoirs dans la prise de décision publique en matière de grands fonds marins.

PARTIE 5

VERS UNE NOUVELLE GOUVERNANCE

Atelier de cartographie participative
autour du patrimoine culturel des Marquises,
Polynésie française.





Seychelles : vers une économie bleue réellement durable ?

Né en 2010, le concept d'économie bleue vise à exploiter durablement les ressources de l'océan et des zones côtières pour favoriser la croissance économique tout en préservant les écosystèmes marins.



© IRDT/Vergoz

Pêche au casier à bord d'une barque à proximité de Victoria, Seychelles.

Dans les années 1980, les pêcheurs bretons et espagnols ont commencé à travailler dans les eaux poissonneuses des Seychelles. Et avec eux, c'est une économie au service d'une pêche industrielle majoritairement étrangère qui s'est mise en place localement avec la création d'un port et d'une conserverie qui emploie aujourd'hui quelque 2 000 salariés.

Pendant l'épisode du Covid, si le tourisme s'est arrêté, les exportations de la conserverie ont connu un essor sans précédent, notamment grâce à la forte demande mondiale pour des produits alimentaires de longue conservation.

Reste que cette conserverie peut se révéler vulnérable dans d'autres conditions : pendant les épisodes climatiques El Niño, les stocks de poissons pélagiques se déplacent vers l'est, entraînant avec eux les pêcheurs étrangers qui préfèrent alors débarquer leurs prises en Thaïlande, créant un manque à gagner important pour les Seychelles. Et pour cause : 10 % du PIB de ce petit pays, très vulnérable aux aléas extérieurs, provient de la pêche thonière et de ses activités connexes.

En 2022, ce constat a amené à modéliser le circuit économique des Seychelles. Ce modèle numérique, pouvant être couplé à des données physiques ou environnementales, permet d'intégrer l'impact sur l'économie des variations climatiques à moyen ou long terme et donc de faire émerger les conditions d'une économie plus stable et durable aux Seychelles.

Plusieurs pistes ont été testées : installer de l'éolien offshore pour accroître l'autonomie énergétique du pays, acquérir des bateaux industriels ou semi-industriels locaux pour diminuer la dépendance aux flottes de pêche étrangères ou, encore, développer des filières d'économie circulaire afin de recycler les équipements de pêche (filets usagés ou dispositifs de concentration de poissons abandonnés à l'eau par les pêcheurs).

PARTENAIRES

Seychelles Fishing Authority

Yes Consulting, Seychelles

... Un modèle numérique permet aux Seychellois
de jauger l'impact économique de décisions politiques
ou de modifications environnementales,
et donc de penser leur avenir ...



Bateau de pêche artisanale devant un thonier de pêche industrielle au port de Victoria, Seychelles.

Fonder la réglementation sur les réalités locales

Pour que les mesures de gestion des espaces et des espèces marines soient appropriées et appliquées, il importe de considérer les principaux acteurs concernés et les réalités locales. Les collectivités de la Nouvelle-Calédonie expérimentent différentes approches pour ajuster leurs politiques environnementales aux enjeux sociaux et écologiques.

© IRD/C. Sabinot



Pêche au filet, l'une des activités principales des Kanak ou métisses, archipel des Bélep, Nouvelle-Calédonie.

Les Codes de l'environnement des provinces Nord (2008) et Sud (2009) de Nouvelle-Calédonie intègrent des principes de dérogation pour le prélèvement d'espèces protégées destinées aux cérémonies coutumières. Ces dérogations marquent une reconnaissance des valeurs symboliques de certaines espèces, comme la tortue verte *Chelonia mydas*. Toutefois, l'application de ce droit n'est simple ni pour les autorités coutumières en charge de faire remonter les demandes, ni pour les agents techniques des provinces qui ont la responsabilité de les évaluer : comment définit-on une cérémonie coutumière ? Combien d'individus peuvent être prélevés ? Qui est légitime pour formuler une demande ?

Pour apporter des réponses fondées et nourrir les débats, la recherche en sciences sociales décrit et analyse les représentations symboliques que les populations ont de leur environnement. Ainsi, en province Sud, en amont de la mise en œuvre de concertations locales, une étude réalisée par des anthropologues et des géographes, fondée sur des entretiens avec les habitants et les agents provinciaux, a permis de préciser quels événements coutumiers nécessitent l'usage de tortues et dans quel but, et d'analyser les évolutions de ces pratiques au cours du temps. L'enquête a aussi permis de rendre compte de la diversité des malentendus et des quiproquos qui peuvent aboutir à des conflits. Cette étude a été restituée aux habitants, conjointement à une étude de biologie montrant l'équilibre fragile de cette population de tortues. Ces restitutions ont permis d'éclairer le débat et d'engager, par la suite, une concertation entre les autorités provinciales et coutumières pour préciser la réglementation et discuter de la taille des individus à prélever.

PARTENAIRES

Gouvernement de Nouvelle-Calédonie

Provinces Sud, des îles Loyauté et Nord,
Nouvelle-Calédonie, France

Conseil coutumier consultatif
environnemental, Nouvelle-Calédonie

Institut agronomique néo-calédonien,
Nouvelle-Calédonie

Fondation de France

Technopôle de Nouvelle-Calédonie

... En Nouvelle-Calédonie, des approches faisant dialoguer scientifiques et acteurs (collectivités, autorités coutumières et populations locales) sont testées pour mieux réglementer les usages de l'environnement, sur terre comme en mer ...

Quant à la province des îles Loyauté, plus innovante encore dans sa démarche, elle a récemment opté pour que la culture et les modes de vie kanak soient le socle de son Code de l'environnement. Pour ce faire, elle a fait appel à des juristes de l'environnement et à une large expertise scientifique, afin de concilier les normes de gestion locales déjà existantes et les normes constitutionnelles et internationales.

Dans cet esprit de dialogue, et appuyé par l'expertise scientifique, un dispositif original de cogestion de quatre espèces d'holothuries commerciales a été réfléchi depuis 2020 entre les représentants des administrations, les pêcheurs et les autres acteurs de la filière, puis officialisé en 2022. Il permet désormais d'adapter la pression de pêche aux conditions biologiques et socio-économiques, en conciliant des objectifs de conservation et d'usage de la biodiversité qui peuvent sembler antagonistes à court terme.

Intégrer les savoirs et les savoir-faire locaux et co-construire les règles dans une démarche négociée permettent de faire des choix plus durables, fondés sur des consensus plutôt que sur des compromis, et qui soient appropriés et intégrés dans les modes de vie des populations.



© IRD/M. Bousion

Des tortues vertes *Chelonia mydas*, une espèce protégée, dans le lagon Sud, Nouvelle-Calédonie.

La mer Méditerranée, entité juridique

Le concept des droits de la nature se développe dans différentes parties du monde depuis une quinzaine d'années. Plusieurs écosystèmes, notamment des fleuves ou des lagunes, ont été reconnus en tant que personnes juridiques. Mais la création du statut « d'entité naturelle juridique », concept prometteur, suscite maintes questions.



© IRD/D. Rechner

La côte de Capri, Italie.

C'est un fait : l'état de la mer Méditerranée continue à se dégrader. En 1976, la signature de la convention de Barcelone par les États riverains devait permettre de limiter les pollutions. Les résultats de cette convention et des instruments juridiques ultérieurs n'ont pas toujours été à la hauteur des attentes, loin de là. D'où l'idée, aujourd'hui, d'accorder un statut juridique à la Méditerranée pour lui permettre de se défendre elle-même.

Cette approche s'inscrit dans un mouvement plus large qui, depuis le début des années 2000, milite en faveur d'un tel changement de paradigme. Et pour cause : dans les cours de justice, les intérêts de la nature ne sont pas, ou peu, représentés, notamment parce que les collectifs ou les associations ne sont pas toujours reconnus légalement comme ayant qualité à agir en son nom. Cet état de fait tue dans l'œuf nombre de recours juridiques, rejetés sur la forme avant même d'être examinés sur le fond.

Ce constat a notamment conduit les peuples autochtones à militer pour la reconnaissance des droits de la nature. Avec succès, puisque, en 2008, le concept a été inscrit dans la Constitution équatorienne.

« Les travaux en vue de la reconnaissance de droits à la Méditerranée s'inspirent de traditions millénaires et s'inscrivent dans un projet d'avenir commun que la Tunisie partage avec les riverains du Mare Nostrum. Il y a là une volonté réaffirmée de donner plein effet aux engagements communs pris au titre des instruments internationaux, régionaux et nationaux pertinents. Les effets potentiels d'une telle reconnaissance ont, en effet, vocation à toucher l'ensemble du bassin méditerranéen, du nord au sud et de l'est à l'ouest, tant sur les plans environnemental, sociopolitique, économique, culturel que scientifique. Cela pourrait aussi constituer un exemple à suivre pour toutes les mers régionales. »

Leila Chikhaoui, université de Carthage, faculté des Sciences politiques, juridiques et sociales de Tunis, Tunisie



© IRD/B. Moizo

Bateaux de pêche côtière à Essaouira, Maroc.

Par la suite, un fleuve de Nouvelle-Zélande et une lagune en Espagne ont été reconnus comme des personnes juridiques. Un pas en avant, mais aussi un peu de travers, puisqu'une personnalité juridique a des droits, des devoirs et des responsabilités. Cette dernière notion devient vite absurde, sinon inopérante, lorsqu'il s'agit de la nature.

... **Un projet de recherche explore la faisabilité de reconnaître la mer Méditerranée comme sujet de droits, en tant qu'entité naturelle juridique** ...

D'où l'idée de proposer la création du statut « d'entité naturelle juridique » comme nouvelle catégorie de sujets de droit. Ce concept novateur est aujourd'hui étudié dans le cadre d'un projet qui vise à établir la faisabilité de conférer ce statut à la Méditerranée. Une recherche d'autant plus complexe qu'elle pose aussi la question de la souveraineté. C'est en effet la première fois que les droits de la nature s'appliquent à un objet transfrontalier autre qu'un fleuve. Et pas des moindres, puisque la Méditerranée est bordée par 21 États, relève de 21 législations nationales et se divise donc en autant d'espaces juridiques qu'il convient d'harmoniser à défaut de pouvoir les unifier.

Ce projet ambitionne donc de cartographier, par étapes, le cadre juridique des pays riverains de la Méditerranée, de mesurer leur (in)effectivité et de proposer un régime unifié, respectueux des solidarités écologiques. De quoi, peut-être un jour, permettre de prévenir ou de sanctionner les atteintes graves et répétées à l'intégrité physique de la Méditerranée et aux ressources vivantes qu'elle abrite.

PARTENAIRES

Centre international de droit comparé de l'environnement, France

Université La Sapienza de Rome, Italie

Université du Salento, Italie

Université de Malte

UMR IJN (CNRS, ENS, EHESS), France

UMR Credo (CNRS, EHESS, AMU), France

Le Gabon proactif pour préserver la biodiversité

Le golfe de Guinée est l'une des régions les moins étudiées au monde alors que, d'après les scénarios du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), cette zone sera fortement impactée par le changement climatique. Sa productivité biologique devrait chuter d'ici à 2050, et les captures pourraient y diminuer de près de 30 %.



© IRD/Flé Loëh

Crabes à l'entrée de leur terrier, parc national d'Akanda, Libreville, Gabon.

Au Gabon, l'urbanisation gagne du terrain et menace les mangroves qui, pourtant, rendent, localement comme régionalement, de nombreux services écosystémiques. Elles permettent, par exemple, l'épuration des eaux, servent de pouponnières aux poissons, fournissent la pharmacopée locale et protègent les côtes de l'assaut des vagues. Les zones côtières gabonaises sont en outre des points clés pour la reproduction et la migration d'espèces marines, comme le requin marteau ou les tortues luths, pour lesquelles des mesures de protection strictes ont été mises en place sur certaines plages.

... Une équipe scientifique a montré que, malgré les difficultés, la stratégie volontariste de conservation du Gabon est indispensable pour préserver l'équilibre écologique du golfe de Guinée ...

Le Gabon, pays faiblement peuplé et très préservé, mène des politiques volontaristes de conservation de l'environnement. Il a été le premier pays d'Afrique à créer un réseau d'aires marines protégées qui couvre aujourd'hui 26 % de sa zone économique exclusive. Pivot régional de la conservation, le Gabon n'a pourtant pas toujours la possibilité de tenir cette posture forte et louable.

D'abord, parce que les moyens de contrôle manquent et que, dans le golfe de Guinée, la pêche illégale, très pratiquée, contribue à l'accélération de la diminution des stocks de poissons. Même si ce phénomène est difficile à quantifier, cette pêche illégale représente 20 milliards de dollars par an dans le monde, dont un tiers en Afrique. Un marché

PARTENAIRES

Centre national de la recherche scientifique et du développement technologique, Gabon

Ministère des Eaux et Forêts, Gabon

« Le Gabon reste l'un des leaders de la cible 3 du cadre mondial de la biodiversité. Toutefois, conjuguées aux impacts actuels des activités humaines, les menaces que fait peser l'incertitude climatique sur les domaines littoral et maritime mettent plus que jamais les scientifiques au défi de mettre à la disposition des décideurs des informations d'aide à la décision. Les travaux en cours visent à contribuer au processus de planification spatiale marine des obligations bleues, pour, *in fine*, créer les conditions préalables à l'achèvement d'un réseau d'aires marines protégées, garantissant le fonctionnement et la vitalité de la biosphère marine dans les eaux territoriales. Enfin, ces activités de recherches offrent également aux scientifiques gabonais la possibilité de mener des recherches marines et d'accéder à des données précieuses, favorisant ainsi le progrès scientifique et le renforcement des capacités. »

Jean Hervé Mvé Beh, ministère des Eaux et Forêts, Gabon



© IRD/F. le Loch

Débarcadère de Bac Aviation, Libreville, Gabon.

lucrative qui, dans la région, se double d'un trafic d'êtres humains, de marchandises et de drogues avec les États voisins.

Ensuite, il y a la question des polluants qui peuvent influencer le cycle de reproduction des poissons. Ainsi, des analyses des prises de pêche ont montré des contaminations aux microplastiques et au mercure, ce qui pose la question de la qualité nutritive des poissons consommés (40 kg/an/hab au Gabon contre 30 kg/an/hab en France).

Malgré ces difficultés, l'approche proactive du Gabon contribue à l'équilibre écologique du golfe de Guinée, un espace où les ressources marines sont fortement exploitées par des activités industrielles, souvent étrangères.

Évaluer pour orienter

Les politiques publiques actuelles ne réussissent pas à répondre aux enjeux liés au changement climatique ou à l'érosion de la biodiversité. D'où des questionnements sur la pertinence des Objectifs de développement durable proposés aux États.



© IRD/P. Brehmer

Un nombre croissant de Sénégalais profitent de la plage de Ouakam, Sénégal.

Le 25 septembre 2015, 193 pays ont adopté le programme de développement durable à l'horizon 2030, qui définit 17 Objectifs de développement durable (ODD) afin d'orienter les politiques publiques. Mais presque dix ans plus tard, force est de constater que la stratégie s'est révélée peu efficace car, en matière de changement climatique ou de biodiversité, la situation a continué à se détériorer. La faute, entre autres, à ces ODD qui, en pratique, se sont révélés trop flous ou carrément contradictoires. Ainsi, l'un des ODD encourage le développement économique qui, souvent, se fait au détriment de la protection de l'environnement.

**... Un nouveau cadre d'évaluation
des enjeux environnementaux permet de développer
des indicateurs pertinents pour orienter plus efficacement
les politiques publiques ...**

Ce constat pose la question de la pertinence de ces ODD autant que des méthodes et indicateurs à mettre en place pour avancer efficacement. Dans cette perspective, une équipe anglaise, en collaboration avec des acteurs français, a mis en place un nouveau cadre d'évaluation, plus focalisé sur l'état de l'environnement. Cette approche propose de travailler autour de quatre axes seulement, à savoir l'utilisation durable des ressources naturelles, la limitation de la pollution locale et globale, l'état de santé des écosystèmes et leur intérêt patrimonial. Développée dans un cadre européen, cette méthode peut être appliquée ailleurs. Mais elle nécessite de développer des indicateurs pertinents.

Un travail en ce sens a été mené au Sénégal. Il a permis de mobiliser des données disponibles pour construire une douzaine d'indicateurs pertinents. D'après les premières études comparatives, il apparaît que



© IRD/Iframer/O. Dugomay

Pollution du littoral au large de Dakar, Sénégal.

si des pays comme la France utilisent de façon plutôt durable leurs ressources naturelles, ils peinent sur les questions de pollutions et d'émissions de gaz à effet de serre. À l'inverse, les enjeux environnementaux au Sénégal concernent plutôt la gestion durable de ses ressources naturelles. Cette méthode permet de structurer le large panel des enjeux environnementaux et de leur donner sens. De quoi orienter et adapter très concrètement les politiques publiques.

PARTENAIRE

Centre de suivi écologique, Sénégal

L'IA au service du droit de l'environnement marin

**Le droit de l'environnement joue un rôle crucial
dans la protection et la préservation des écosystèmes marins.
Pourtant, son impact sur les écosystèmes marins reste
peu étudié et mal documenté.**



© Flickr/Fabrad

Déchets plastiques sur une plage marocaine.

Le droit de l'environnement marin est essentiel pour établir des normes et des règlements qui protègent la biodiversité marine et assurent une utilisation durable des ressources marines. Il couvre une diversité de thèmes, allant de la protection des espèces marines menacées à la régulation des activités de pêche, en passant par la gestion des déchets marins et la prévention de la pollution. Chaque thème aborde des aspects spécifiques de la conservation marine et nécessite des approches juridiques adaptées pour être efficaces.

Bien que l'intelligence artificielle (IA) soit utilisée depuis longtemps dans le domaine juridique, son application à l'observation du droit de l'environnement marin reste limitée. Une équipe internationale et interdisciplinaire a donc lancé la dynamique en commençant son analyse sur les pays africains et sur certaines interdictions, telles que celles des sacs plastiques et du chalutage de fond. L'objectif de cette étude : mieux cerner les impacts de la réglementation juridique sur l'amélioration de l'environnement marin.

Pour ce faire, les scientifiques ont utilisé des techniques de traitement automatisé des langues pour traiter de grandes quantités de textes juridiques, facilitant ainsi l'identification des tendances, des lacunes et des incohérences dans les droits nationaux. La méthodologie adoptée a permis de créer des indicateurs juridiques qui pourront être comparés à des données écologiques ou économiques.

De quoi évaluer l'impact des règles juridiques sur l'environnement marin, par exemple en analysant les données sur la biodiversité marine et les niveaux de pollution avant et après la mise en œuvre de certaines lois. Cette approche intégrée permet non seulement de mieux comprendre les effets des régulations existantes, mais aussi de formuler des recommandations pour améliorer la législation environnementale marine.

PARTENAIRES

Faculté des Sciences Semlalia
de Marrakech, université Cadi Ayyad,
Maroc

... Le traitement automatisé des langues
appliqué à un corpus international de textes juridiques
va permettre de créer des indicateurs solides
de l'impact du droit de l'environnement marin ...



© IRD/D. Rechner

Port de pêche à Essaouira, Maroc.

Pour des aires marines plus efficacement protégées

Voilà plus de vingt ans que, sous l'impulsion de grands traités internationaux, les aires marines protégées se sont multipliées pour conserver les écosystèmes marins.

Mais sans l'adhésion de tous les acteurs, aux intérêts parfois divergents, l'efficacité de ces aires est impactée.



Bateau de pêche en Méditerranée, aire marine protégée d'Alborán, Maroc.

© IRD/T. Dahou

Les zonages des aires marines protégées (AMP) sont décidés par les institutions étatiques ou les grandes ONG internationales sur la base de critères de protection des espèces et de leur habitat. Les collectivités territoriales, les acteurs économiques ou associatifs locaux sont peu associés, ce qui génère conflits et difficultés de mise en œuvre des plans de gestion des AMP.

Le cas de l'aire marine protégée d'Alborán au Maroc est à ce titre emblématique. En 2015, une étude associant les services gestionnaires de l'aire protégée et les pêcheurs artisanaux locaux a abouti à l'installation de petits récifs dans l'AMP afin d'empêcher le passage, très dommageable, de chalutiers. Sauf qu'à peine posés, ces dispositifs légers ont été déplacés par la pêche chalutière, un arrêté ministériel ayant autorisé la pêche dans cette zone.

... Au-delà du zonage des aires marines protégées, il est nécessaire de créer des espaces de concertation pour engendrer l'adhésion de tous les acteurs ...

Dans cet exemple, pêche artisanale et pêche chalutière, aux intérêts divergents et alliées avec différentes directions de l'État, sont entrées en concurrence, ce qui a remis en cause l'efficacité de l'AMP. Ce problème est récurrent, notamment parce que les gestionnaires de ces aires protégées connaissent mal les territoires de pêche et ne maîtrisent pas les conflits sociaux des différents pays. Résultat : sur les 10 % de territoires marins qui devraient être protégés à l'échelle internationale, seul un infime pourcentage l'est effectivement.

Pour plus d'efficacité, il serait nécessaire d'associer tous les acteurs économiques, de prendre en considération la diversité des intérêts,

« À travers l'étude de l'aire marine protégée (AMP) d'Alborán, le projet "Gestion intégrée des littoraux en Méditerranée au Maroc" (Gilmar) a mis en évidence la complexité de la gestion intégrée du littoral méditerranéen marocain, impliquant pêcheurs, agriculteurs et acteurs du tourisme. L'équipe a produit des connaissances scientifiques, formé des étudiants et des cadres, et orienté les résultats de ses recherches de manière à éclairer la prise de décision. Ses collaborations avec les acteurs publics, professionnels et associatifs offrent les bases d'une refondation des projets d'AMP au Maroc. »

Hicham Masski, Institut national de recherche halieutique, Maroc

Mohamed Naji, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Maroc



© IRD/IT-Dahou

Filets de pêche séchant sur la plage d'Aouchtam, aire marine protégée d'Alborán, Maroc.

d'adopter une approche multisectorielle et de mettre en place une politique de compensation lorsque l'adaptation n'est pas possible... ce qui est souvent le cas pour certaines catégories de pêches. Faute d'appui, de surveillance ou de concertation, ces dernières entrent en confrontation et compromettent la réussite du projet de conservation.

D'où la nécessité d'élaborer des scénarios alternatifs de gestion et de créer des espaces de dialogue pour engendrer des aires d'adhésion, quitte à redéfinir le zonage et le diagnostic structurant des AMP.

PARTENAIRES

Institut national de recherche
halieutique, Maroc

Institut agronomique et vétérinaire
Hassan II, Maroc

Quand la science émancipe

Quelle voix pour les habitants de territoires convoités par des puissances économiques à des fins d'extraction des ressources, d'urbanisation ou de tourisme ? Très importante notamment pour les populations locales, cette question nécessite la création d'argumentaires spécifiques et l'acquisition de données.



Traitements des captures de moules par une famille de pêcheurs à Recife, Brésil.

Vivre sur un territoire ne signifie pas forcément avoir son mot à dire sur sa gestion. Et pour cause : pour influencer les décisions, il faut non seulement être invité à s'exprimer, mais également pouvoir argumenter et défendre ses opinions face à des lobbies économiques ou politiques très organisés. D'où la nécessité de disposer de données co-construites entre des scientifiques et des acteurs de la société civile. Un travail en ce sens a démarré dans le nord-est du Brésil avec deux communautés de pêcheurs qui partagent des enjeux liés à la revendication des territoires côtiers ainsi que des organisations où les femmes jouent un rôle central.

... Par leurs études menées au nord-est du Brésil,
des équipes de recherche aident
des communautés de pêcheurs
à faire entendre leurs positions ...

La première communauté se trouve en milieu urbain, sur une petite île au cœur de la mégapole de Recife, entourée de centres commerciaux et d'usines, dans un environnement très pollué. Les coquillages sont récoltés dans la vase, principalement par les hommes, pendant que les femmes prennent en charge l'ensemble des étapes de transformation. Partagé entre pêcheurs et grands groupes économiques, ce territoire est le théâtre de conflits d'usage, de risques pour la santé des pêcheurs et de discriminations. En effet, alors que la voix de la communauté est portée par des femmes, celles-ci ne parviennent pas à faire valoir l'importance de leur rôle socio-économique qui est, dès lors, invisibilisé.



© Tapioca outreach team

Village de pêcheurs à Rio Formoso, Brésil.

La seconde communauté est établie à deux heures de Recife, à Rio Formoso, dans une zone rurale qui attire de nombreux touristes dont les bateaux motorisés perturbent la pêche locale pratiquée à des fins de subsistance. Les hommes utilisent de petites embarcations pour pêcher des poissons dans l'estuaire, tandis que les femmes capturent mollusques et crustacés dans la mangrove. Cette répartition des tâches est, dans une certaine mesure, entretenue par des politiques publiques qui privilégient les hommes dans l'attribution des embarcations ou dans l'accès aux formations de navigation. Or, là encore, la voix communautaire, portée majoritairement par des femmes, peine à faire entendre ses revendications.

Les études scientifiques menées dans ces territoires cartographient la vulnérabilité des milieux, analysent les risques de pollution et l'état de la biodiversité, mais participent également à développer une approche de gestion participative et à étayer les argumentaires des deux communautés pour les aider à se faire entendre et à peser dans les décisions.

PARTENAIRES

Université fédérale rurale
de Pernambuco, Brésil

Association des pêcheurs
de Rio Formoso, Brésil

Association Caranguejo Uçá, Brésil

LISTE DES CONTRIBUTEURS SCIENTIFIQUES

Des milieux en évolution

El Niño dans le viseur

Jérôme Vialard, océanographe physicien et climatologue, UMR Locean

Pirata, l'observatoire océanique de l'Atlantique tropical

Bernard Boulès, océanographe physicien, UAR Imago

Vagues extrêmes et cyclones tropicaux

Christophe Menkes, climatologue, UMR Entropie

Jérôme Lefèvre, écologue, UMR Entropie

De la variabilité des upwellings

Vincent Échevin, océanographe physicien, UMR Locean

Cartographie de l'aléa tsunami

Mansour Loualalen, physicien, UMR Géoazur

Comprendre la complexité du climat de l'Asie du Sud-Est

Marine Herrmann, océanographe physicienne, UMR Legos

De la variabilité insoupçonnée des lagunes

Thomas Stieglitz, hydro-écologue côtier, UMR Cerege

Mangroves mexicaines résilientes

Johanna Jupin, géochimiste, UMR Locean

Une oasis dans un désert océanique

Sophie Bonnet, océanographe biogéochimiste, UMR MIO

Cécile Guieu, biogéochimiste, UMR LOV

Des coraux résistants en Nouvelle-Calédonie

Riccardo Rodolfo-Metalpa, écophysiologiste, UMR Entropie

Sargasses colonisatrices

Julien Jouanno, océanographe physicien, UMR Legos

De la suie dans l'eau

Xavier Mari, océanographe biogéochimiste, UMR MIO

Marc Tedetti, océanographe biogéochimiste, UMR MIO

Plastiques : des fleuves à l'océan

Lisa Weiss, océanographe physicienne, UMR Legos, UMR Lops

Du devenir des eaux fluviales dans l'océan

Nadia Ayoub, océanographe physicienne, UMR Legos

Sur la piste du plastique océanique

Christophe Maes, océanographe physicien, UMR Lops

Nos amis des profondeurs

Leandro Nole-Eduardo, écologue, UMR Marbec

Du micronecton au thon

Christophe Menkès, climatologue, UMR Entropie
Anne Lebourges-Dhaussy, acousticienne écosystémique, UMR Lemar

Fin de règne pour l'anchois ?

Arnaud Bertrand, écologue, UMR Marbec

Des sociétés face à l'océan

Sénégal : émergence d'une pêche résiliente

Ndickou Gaye, géographe, université Cheikh-Anta-Diop de Dakar et UMI Source

De l'avenir des Vezo

Francis Veriza, géographe, université de Toliara et UMR Passages

Alexandrie, un contre-exemple d'adaptation ?

Sylvie Fanchette, géographe, UMR Cessma

L'inéluctable enfoncement du delta du Mékong ?

Nicolas Gratiot, géophysicien, UMR IGE

Réduire la vulnérabilité de la ville de Douala

Raphaël Onguene, océanographe physicien, université de Douala

De la sécurité alimentaire des îles polynésiennes

Marianna Cavallo, écologue, UMR Lemar

La part féminine de la pêche

Ariadna Burgos, ethno-écologue, UMR Paloc

Nokoué, une lagune sous pression

Alexis Chaigneau, océanographe physicien, UMR Legos
Yves Morel, océanographe physicien, UMR Legos
Victor Okpeitcha, océanographe physicien, Prodata SARL
Zacharie Sohoun, océanographe pêcheur biologiste, IRHOB et UAC
Thomas Stieglitz, écohydrologue côtier, UMR Cerege

Pour des ressources durables

Un modèle de plancton

Olivier Maury, océanologue, UMR Marbec

Thons tropicaux sous surveillance

Daniel Gaertner, biologiste, UMR Marbec

Vers des appâts plus durables

Pascal Bach, écologue, UMR Marbec

La part des oiseaux

Philippe Cury, océanographe biologiste, UMR Marbec

Une pêche artisanale à l'échelle industrielle

Arnaud Bertrand, écologue, UMR Marbec

Biodiversité alimentaire

Fany Sardenne, écologue, UMR Lemar

Une aquaculture pour une meilleure alimentation

Maria Darias, biologiste, UMR Marbec

Battre campagne en voilier

Éric Machu, biogéochimiste, UMR Legos

Nage au-dessus des habitats sous-marins

Rodolphe Devillers, géographe, UMR Espace-Dev

Priscilla Dupont, biologiste, UMR Espace-Dev

Éclairer la biodiversité invisible

Laurent Vigliola, écologue, UMR Entropie

L'intelligence artificielle pour mesurer la biodiversité

Laurent Vigliola, écologue, UMR Entropie

L'IA qui se prenait pour un oiseau de mer

Sophie Lanco, écologue, UMR Marbec

Des bactéries à dos de plastique

Thierry Bouvier, écologue, UMR Marbec

Vers une électricité faite maison ?

Pierre-Pol Liebgott, biochimiste et écologue, UMR MIO

Les Comores en manque de sable

Gilbert David, géographe, UMR Espace-Dev

Nourddine Mirhani, géographe, université des Comores

Laissons les mangroves se reboiser seules

Marie-Christine Cormier-Salem, géographe, UMR Paloc

Des savoirs partagés

Le son du silence

Timothée Brochier, modélisateur océanographe, UMI Ummisco

Nicolas Puig, anthropologue, UMR Urmis

Changer de regard sur les coraux

Pascale Chabanet, écologue, UMR Entropie

Lola Massé, biologiste, UMR Entropie

De l'eau au rythme de l'estuaire

Stéphanie Duvail, géographe, UMR Paloc

Dessine-moi la mer

Élodie Fache, anthropologue, UMR Sens

Stéphanie Carrière, ethnoécologue, UMR Sens

Catherine Sabinot, anthropologue, UMR Espace-Dev

Vers une filière durable du crabe de mangrove à Madagascar

Jennifer Beckensteiner, halieute, UMR Amure

Marc Léopold, économiste, UMR Amure, UMR Entropie

La maîtrise des eaux laiteuses

François Colas, océanographe physicien, UMR Lops

Jonathan Flye-Sainte-Marie, écologue, UMR Lemar

Alice Pietri, océanographe physicienne, UMR Locean

Alerte aux canicules marines

Sophie Cravatte, océanographe physicienne, UMR Legos

Des grands fonds marins peu connus mais convoités

Valelia Muni Toke, anthropologue, UMR Sedyl

Puerre-Yves Le Meur, anthropologue, UMR Sens

Vers une nouvelle gouvernance

Seychelles : vers une économie bleue réellement durable ?

Patrice Guillotreau, économiste, UMR Marbec

Fonder la réglementation sur les réalités locales

Catherine Sabinot, anthropologue, UMR Espace-Dev

Marc Léopold, économiste, UMR Amure, UMR Entropie

La mer Méditerranée, entité juridique

Victor David, juriste en droit de l'environnement, UMR Imbe

Le Gabon proactif pour préserver la biodiversité

François Le Loc'h, écologue, UMR Lemar

Évaluer pour orienter

Adrien Comte, économiste, UMR Lemar

L'IA au service du droit de l'environnement marin

Marie Bonnin, juriste en droit de l'environnement, UMR Lemar

Pour des aires marines plus efficacement protégées

Tarik Dahou, socio-anthropologue, UMR Paloc

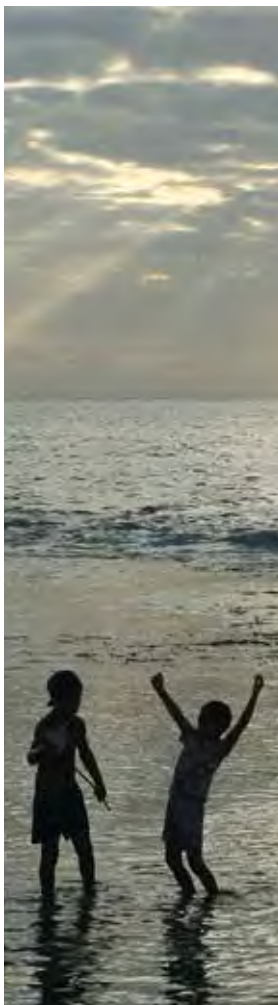
Quand la science émancipe

Latifa Pelage, écologue, UMR Marbec

IRD Multimédia

La plupart des images de cet ouvrage sont issues de la photothèque de l'IRD qui rassemble près de 80 000 photographies prises par les scientifiques de l'IRD sur le terrain de leurs recherches en Afrique, Asie, Amérique latine, Méditerranée, Moyen-Orient, Océanie et dans les Outre-mer. Ce patrimoine iconographique unique est en libre accès sur : <https://multimedia.ird.fr/>





www.editions.ird.fr

Réserve de biodiversité, régulateur du climat, pourvoyeur de multiples ressources... l'océan est l'un de nos biens communs les plus essentiels. Dans l'urgence de la mobilisation internationale pour sa préservation, la science doit occuper une place de premier plan.

Ce livre explore les avancées majeures de recherches interdisciplinaires menées pour relever les défis océaniques, tant écologiques qu'économiques et sociaux, particulièrement complexes et marqués dans la zone tropicale en raison des caractéristiques uniques de l'océan dans cette partie du monde.

Mettre en lumière les multiples facettes de l'océan, ainsi que les solutions pour le protéger grâce au dialogue entre tous les acteurs concernés, tels sont les objectifs de ce livre pédagogique richement illustré. Il devrait captiver un public que la science passionne et curieux de comprendre la complexité du monde.

