

Zones côtières et insulaires : des espaces sous pressions



© IRD/P. Fréon

Île de Margarita,
Venezuela.

Les zones côtières sont en première ligne face aux changements physico-chimiques des océans. La montée du niveau de la mer fait reculer les littoraux. Le réchauffement et l'acidification de l'eau perturbent également les écosystèmes sous influence marine. Pour les chercheurs, il y a cependant une vraie difficulté à isoler les effets climatiques de ceux, plus nombreux, liés directement aux activités humaines. Les espaces côtiers paient en effet le prix fort de leur attractivité, avec une intensification de l'urbanisation et de l'exploitation des ressources. Une chose est sûre cependant, ces milieux sont souvent fragilisés et, à l'avenir, avec la croissance démographique et l'évolution des modes de vie, ces pressions anthropiques directes vont continuer à se cumuler aux effets croissants du changement climatique.

Érosion et submersion des littoraux

Des modèles de submersion marine sont aujourd'hui disponibles pour simuler et anticiper l'avancée de la mer sur la terre, en fonction de l'élévation du niveau des océans. Ces modèles estiment par exemple que 12 % des îles du globe seraient menacées de disparaître. Mais, si les projections basées sur l'élévation du niveau de la mer sont adéquates pour des études à l'échelle globale, elles ne suffisent pas forcément à prédire la carte des futures surfaces immergées à l'échelle d'un bassin océanique.

Petite île des Maldives. Ces îles situées au niveau de la mer sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques et à la montée du niveau marin. Les digues artificielles tentent de limiter les assauts des vagues lors des fortes houles.



© IRD/P. Chabanet

La montée des océans est d'abord très inégalement répartie. Pour la zone Pacifique, entre la Nouvelle-Calédonie et les îles de Micronésie, les différences d'élévation du niveau de la mer au cours des cinquante dernières années sont dans un rapport de un à dix. Plus localement, l'élévation du niveau de la mer est aussi dépendante des perturbations climatiques et de la tectonique. Par exemple, selon l'intensité du phénomène El Niño, on peut observer des différences très significatives des niveaux de la mer.

Encadré 19

Les premiers « réfugiés climatiques », victimes aussi de la tectonique des plaques

L'unité Géoazur et ses partenaires ont expliqué en 2011 pourquoi la submersion marine observée sur les îles Torrès au Vanuatu est deux fois plus rapide que prévue : la montée du niveau de la mer s'est cumulée à l'enfoncement de l'archipel dû à l'activité tectonique.

Le village de Lataw, sur les îles Torrès au Vanuatu, prend l'eau. En 2004, cette petite localité au milieu du Pacifique sud a dû reculer de plusieurs centaines de mètres, ses 70 habitants devenant ainsi les premiers « réfugiés climatiques » de l'histoire d'après les Nations unies. Victimes du réchauffement global ? Pas seulement.

L'unité Géoazur et ses partenaires ont montré en 2011 que l'archipel s'enfonce dans l'océan avec une vitesse de l'ordre de 1 cm/an. Le Vanuatu se situe en effet à la frontière de la plaque tectonique du Pacifique, sous laquelle plonge la plaque indo-australienne, entraînant une descente du plancher océanique et des îles qui sont à sa surface. En 12 ans, alors que le niveau des eaux s'est élevé d'environ 15 cm, les îles Torres se sont enfoncées de près de 12 cm. De ce fait, le niveau de l'eau est monté deux fois plus vite que ce que les autorités locales avaient prévu. Une erreur d'interprétation qui a limité le déplacement des habitants de la baie Lataw, les empêchant de se mettre à l'abri à plus long terme.



© IRD/V. Ballu

Villageois de Lataw sur les îles Torrès au Vanuatu.

L'érosion dépend des dynamiques locales des milieux

La montée du niveau de la mer et l'augmentation de la fréquence des événements tempétueux intensifient la fréquence des épisodes de submersion, et donc l'érosion des côtes. Mais l'érosion dépend aussi de la dynamique des systèmes sédimentaires. Après un ouragan par exemple, les plages peuvent naturellement se reconstituer à partir du stock de sable érodé, déposé à l'avant de la plage. En revanche, si le stock sédimentaire est réduit par des prélèvements de sable, les plages soumises à l'énergie des vagues et de la houle vont reculer.

Les écosystèmes côtiers vont également amortir plus ou moins les phénomènes d'érosion. Occupant environ 600 000 km² le long des côtes tropicales, les récifs coralliens sont une barrière naturelle efficace contre l'érosion marine. Leur présence induit un déferlement des vagues, ce qui dissipe les trois quarts de leur énergie. Les îles bordées par un récif disposent ainsi d'une excellente protection naturelle. Par ailleurs, la croissance du récif et la sédimentation corallienne peuvent aussi partiellement compenser l'élévation du niveau de la mer. Les îles Marshall et Tuvalu ont par exemple conservé leur surface malgré une élévation du niveau de la mer de 2 mm/an durant la dernière moitié du XX^e siècle.



Érosion côtière au Sénégal.

Bien que ce phénomène ait à la fois des causes humaines (extraction de sable des plages ou développement côtier) et naturelles (fragilité des sols côtiers), les effets de l'érosion côtière devraient être exacerbés par le changement climatique et la hausse du niveau marin.

© IRD/L. Descroix

Le littoral chilien se reconstruit après le tsunami

L'unité Legos et ses partenaires chiliens ont montré que, moins d'un an après le tsunami qui a frappé le Chili en 2010, dunes et plages se sont remises en place.

Les séismes résultent de phénomènes totalement indépendants du climat, mais la côte chilienne a constitué un « laboratoire naturel » unique pour mieux anticiper les impacts du réchauffement climatique sur les littoraux.

En février 2010, un violent séisme frappait le Chili, provoquant un tsunami avec des vagues de 10 m de haut. Touchant un littoral habité par des millions de personnes, la secousse et les vagues géantes ont également transformé le faciès du rivage : les dunes et barres sableuses ont été rasées et la côte s'est affaissée par endroits jusqu'à 1 m.

Moins d'une semaine après l'événement, l'équipe internationale du Legos et ses partenaires chiliens ont réalisé des observations pour évaluer l'impact sur 800 km de la côte. Les relevés topographiques et GPS ont montré que le tsunami a agi tel un bulldozer, détruisant les structures existantes : dunes, barres sableuses immergées, plages...

Un suivi bimensuel de la reconstruction naturelle de la ligne côtière a par la suite été effectué. Résultat : la réponse du littoral au désastre a été rapide. Au bout de quelques mois, la plupart des structures côtières sableuses se sont reconstruites –

mais avec une morphologie différente. De manière inattendue, le système sédimentaire a retrouvé en un an un nouvel équilibre, distinct de celui précédant le séisme.

La secousse a également abaissé de quelques dizaines de centimètres une partie du cordon littoral. Cet affaissement a provoqué une submersion marine, faisant du littoral chilien un « laboratoire » naturel pour anticiper les impacts de la montée du niveau des mers. Jusqu'à présent, les modèles fondaient leurs projections sur une simple équation, appelée « loi de Bruun », qui utilise des paramètres géométriques d'une section de plage pour prédire son retrait en cas d'élévation du niveau marin. Grâce à leurs observations, les chercheurs contribuent à montrer que la réalité est plus complexe. Depuis décembre 2012, un système permanent d'observation permet de suivre en continu la dynamique du littoral.

Habitations détruites lors du séisme et du tsunami du 27 février 2010 dans l'estuaire de la rivière Mataquito au Chili.





Village de Cabrousse, sud de la Casamance (Sénégal).

Une rizière en zone côtière, touchée par une onde de marée de tempête qui a fait remonter le sel dans les bras de mer de la mangrove et de la rizière.

Salinisation des sols, une conséquence de la montée de la mer ?

L'intrusion d'eau de mer est lourde de conséquences pour les écosystèmes terrestres littoraux. Notamment, la salinisation des sols rend improductives des terres auparavant fertiles. La salinisation des nappes phréatiques pose par ailleurs des difficultés lors de leur « potabilisation ». La sécheresse aggrave aussi ces phénomènes : des étiages (période de l'année où le niveau des cours d'eau est le plus bas) plus accentués contribuent en effet à une invasion lente de l'eau de mer dans les cours d'eau et une salinisation des terres agricoles.

Pour autant, les phénomènes de salinisation observés aujourd'hui sont moins liés à des causes climatiques qu'aux activités humaines : la croissance démographique sur les espaces littoraux va de pair avec une forte consommation d'eau ; l'urbanisation (bétonnage et bitumage) imperméabilise les sols et limite de ce fait l'infiltration des eaux de pluie, qui sont alors évacuées par les réseaux fluviaux et n'alimentent plus les nappes. Augmentation des prélèvements et des taux de ruissellement se soldent ainsi par une plus grande concentration d'eau salée dans les nappes. Les aménagements côtiers interviennent également fortement dans les échanges d'eau de mer et d'eau douce, avec des conséquences parfois imprévues (encadré 21).

Même en dehors de toute présence humaine, l'équilibre entre l'eau douce et l'eau salée dans les aquifères côtiers et insulaires est un phénomène à la fois complexe et de nature instable (encadré 22).

Encadré 21

Quand la salinisation bouleverse tout le système côtier au Sénégal

Le percement d'une brèche pour évacuer les crues du fleuve Sénégal en 2003 a créé en une dizaine d'années une ouverture sur la mer de plusieurs kilomètres. Les transformations de l'écosystème ont été telles que certains habitants abandonnent les activités maraîchères et se tournent aujourd'hui vers l'exploitation du sel.

En 2003, l'alerte d'une grande crue pousse les autorités sénégalaises à ouvrir une brèche dans le cordon dunaire de Saint-Louis pour évacuer plus rapidement le trop-plein d'eau du fleuve vers la mer.

Ce canal permet d'éviter l'inondation de la ville. Mais une fois creusée, cette brèche de 4 m n'a cessé de s'élargir.

Un an plus tard, la brèche atteignait 1 km, et, en octobre 2012, la zone de contact avec l'océan Atlantique s'étalait sur environ 4 km.

Avec l'intrusion d'eau de mer, l'eau douce, déjà rare, est devenue plus difficile à trouver, imposant aux populations de s'approvisionner par camion-citerne ou de parcourir plusieurs kilomètres.

Aujourd'hui, le chapelet de puits abandonnés parce que trop salés est un spectacle courant dans la région.

Le maraîchage, qui se pratiquait déjà dans des conditions assez difficiles avant 2003, est fortement menacé du fait de l'hypersalinisation des eaux et des sols. Avec le recul du maraîchage et la destruction des installations touristiques liée à l'érosion, les populations, surtout les femmes, se tournent désormais vers l'exploitation du sel.

Si l'origine de ce bouleversement écologique et sociétal est ici d'origine humaine et non climatique, cette étude des partenaires sénégalais de l'unité Résilience illustre la vulnérabilité des systèmes côtiers face à la salinisation et à l'élévation du niveau marin.

Encadré 22

Îlots du Pacifique : duel entre l'eau douce et la mer

Les îlots au large de Nouméa, dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie, sont quasi dépourvus de toute activité humaine. Là, dans le cadre du projet Interface, des scientifiques ont étudié la répartition entre l'eau douce et l'eau salée dans les nappes souterraines.

© IRD/G. Cabioch



Les chercheurs ont étudié la répartition spatiale de la salinité au sein des eaux souterraines grâce à des mesures de la conductivité des eaux.

Ces investigations croisées avec des modèles hydrogéologiques ont permis de cartographier en 2D et 3D la distribution de la salinité de l'aquifère insulaire, mais aussi d'évaluer ses capacités de recharge par les pluies.

Contrairement aux résultats attendus, l'eau souterraine s'est avérée plus concentrée en sel au centre des îlots coralliens qu'en bord de mer, qui est pourtant la zone d'interaction entre eau douce et eau salée.

En cause, la végétation plus dense au centre de l'île qui pompe beaucoup

d'eau douce. De plus, la recharge en eau douce par les précipitations est minimale au milieu de l'îlot, toujours du fait de la densité de la végétation ainsi que d'un développement plus important des sols.

Au contraire, le drainage est maximal sur les dunes en bord de mer. On constate ainsi une dilution de la teneur en sel au sein de l'eau souterraine sur les bords de l'îlot et, inversement, une concentration au centre.

Cette recherche permettra d'évaluer la ressource en eau des îles coralliennes du Pacifique, dans le cadre de la recherche d'indicateurs de vulnérabilité face au changement climatique global.

Îlot corallien boisé dans le lagon de Nouméa, Nouvelle-Calédonie.



Les mangroves, un écosystème vulnérable entre terre et mer

Couvrant les trois quarts des littoraux de la ceinture intertropicale, les mangroves constituent un écosystème spécifique. Mais ces forêts de palétuviers disparaissent actuellement à un taux de 1 à 2 % par an. En cause, la croissance démographique, l'intensification de l'urbanisation et de l'exploitation des ressources naturelles. L'expansion des élevages de crevettes en Asie du Sud-Est, en Amérique centrale et en Afrique de l'Est a été en particulier dévastatrice. Le changement climatique est une pression supplémentaire sur ces écosystèmes déjà fragiles. Or, la disparition des mangroves entraîne la perte de certaines fonctions écologiques essentielles. Les mangroves accueillent en effet une biodiversité riche, et elles constituent un élément clé de l'équilibre des écosystèmes littoraux, en permettant la remise en circulation d'éléments nutritifs qui, sans les palétuviers, seraient irrémédiablement enfouis au sein des sédiments profonds.

L'augmentation du nombre et de l'intensité d'événements cycloniques pourrait être fatale à ces écosystèmes. Les ouragans ont un effet destructeur sur les mangroves qui, de ce fait, colonisent rarement les côtes les plus exposées, au profit des zones plus calmes où peut s'effectuer la sédimentation. D'après des études scientifiques récentes, si de tels événements se reproduisent à de trop hautes fréquences, la mangrove sera dans l'incapacité de se maintenir.

Mangrove amazonienne en Guyane.
1 à 2 % des mangroves disparaissent chaque année du fait des activités humaines.
Une fragilité accrue par le changement climatique.

Une protection contre l'érosion

Face à des changements sur le long terme, il est important de comprendre comment les palétuviers ont su jusqu'à présent s'adapter aux contraintes environnementales. Des travaux en Guyane montrent la régénération exceptionnelle des mangroves face à de fortes contraintes environnementales et leur contribution à la stabilisation des sédiments (encadré 23).

Encadré 23

Les mangroves : une adaptation exemplaire

Les mangroves guyanaises démontrent une capacité naturelle à compenser des destructions massives et répétées dues à l'érosion marine.

En Guyane française, comme sur l'ensemble des littoraux situés en aval de l'estuaire de l'Amazone, les côtes sont constamment remodelées par des processus hydrosédimentaires de grande ampleur, résultant du transit des sédiments et de l'eau douce déversés par l'Amazone dans l'océan Atlantique.

Cependant, les mangroves guyanaises semblent bien adaptées à cette instabilité côtière permanente.

L'analyse de l'évolution de leur superficie depuis 1950 confirme une capacité de l'écosystème à compenser des destructions massives et répétées, dues localement à l'érosion du substrat vaseux par les houles.

Les recherches de l'unité Amap et de ses partenaires brésiliens montrent que c'est par un rétablissement aussi rapide qu'efficace sur des dépôts de vase nouvellement formés et protégés par la houle que l'écosystème parvient

à se maintenir à l'échelle régionale. En effet, l'espèce de palétuvier dominante en front de mer, *Avicennia germinans*, peut coloniser rapidement de nouveaux dépôts de sédiments grâce à une maturité précoce, à des propagules (graines à germination immédiate) flottantes viables environ 100 jours, à une vitesse d'enracinement très rapide (5 jours) et à une forte croissance annuelle (pouvant atteindre 2,25 m).

Cette colonisation est considérablement amplifiée quand les apports sédimentaires et les régimes de marées se combinent pour transformer les vases nues en un gigantesque filet à propagules de plusieurs centaines d'hectares.

Cependant ces adaptations, fruits de la sélection naturelle, sont parfois insuffisantes pour permettre des recolonisations suite à des destructions rapides.

© IRD/C. Proisy



Zone de colonisation de la mangrove en Guyane. Adaptée aux phénomènes d'érosion, l'espèce de palétuvier *Avicennia germinans* est capable de coloniser très rapidement un banc de vase tout juste formé.

Encadré 24

Séquestration du carbone : les limites de la reforestation des mangroves sénégalaises

Entre 2006 et 2013,
14 000 ha de mangroves
sénégalaises ont été replantés.

La visibilité internationale
de ce succès ne doit pourtant pas
masquer les limites écologiques
et sociales de ces reforestations.

Les travaux de l'unité Paloc
et de ses partenaires sénégalais
montrent pourquoi
la multifonctionnalité
des mangroves ne peut être
réduite à la séquestration
de carbone.

Pêche artisanale
des huîtres de palétuviers
dans une mangrove
du Siné Saloum au Sénégal.

Le Sénégal conduit depuis plusieurs
décennies des politiques de protection
des mangroves, pour limiter la dégradation
rapide de ces écosystèmes.

Depuis 10 ans, les campagnes
de reforestation des mangroves
ont pris un nouvel essor, grâce
à la reconnaissance de leur capacité
exceptionnelle de séquestration
du carbone et donc à lutter contre
l'effet de serre.

Intéressées par les « crédits carbone »,
des entreprises privées ont financé
des projets Redd+, mis en œuvre
par des ONG comme l'IUCN et Océanium.
Depuis 2009, Danone a investi
4 millions d'euros dans les plantations
de palétuviers.

Ces campagnes ont permis de replanter
14 000 ha de mangroves entre 2006
et 2013. Mais les travaux de chercheurs
de l'unité Paloc et de leurs partenaires
sénégalais relativisent le succès
de ces reforestations.

Les scientifiques pointent d'abord
les limites écologiques de la logique
Redd+, intéressée avant tout par
le volume de crédits carbone produit.
Une seule espèce de palétuvier a été
plantée, alors que les mangroves
sénégalaises en accueillent six.
La priorité donnée à la quantité et
à la visibilité des plantations s'est faite
au détriment de critères agro-écologiques.
Sur le terrain, les chercheurs constatent
que beaucoup de plants ne poussent
finalement pas, ce qui hypothèque
considérablement la réussite en termes
de bilan carbone.

Les crédits carbone promis tardent
à être quantifiés, puisque le résultat
dépendra de la croissance de la forêt.
Et le calcul même de la capacité
de séquestration du carbone fait
encore débat.

Ces reboisements posent aussi
des questions d'inégalité spatiale,
alors que les projets laissent de côté
la question du statut des zones
replantées, avec les risques d'une mise
à l'écart des utilisateurs locaux
de ces territoires.

Finalement, les chercheurs insistent
sur les enjeux scientifiques et éthiques
d'une restauration qui prenne en compte
la complexité des socio-écosystèmes
de mangrove, dont la multifonctionnalité
ne peut être réduite à la séquestration
de carbone.



© IRDV. Turmine

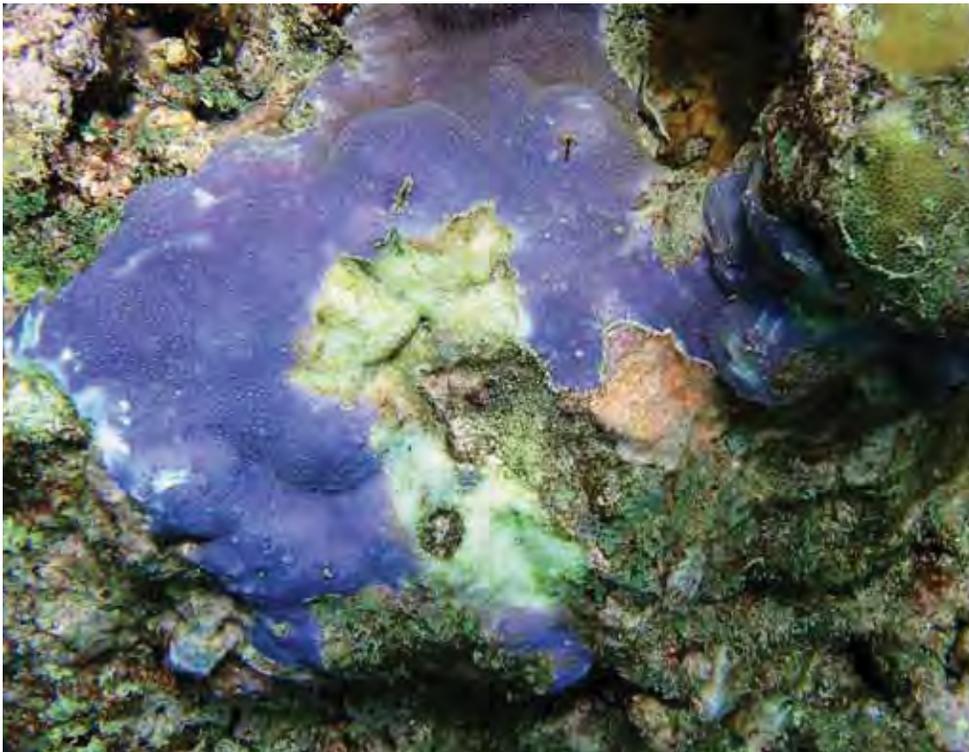
Zone tampon entre l'océan et la terre, cet écosystème particulier pourrait jouer un rôle dans la protection contre l'érosion des côtes vaseuses, particulièrement instables. Les chercheurs de l'IRD et leurs partenaires ont par exemple montré comment la réduction de la mangrove entraînerait une érosion à grande échelle des 370 km de côtes du Guyana. Dans ce pays d'Amérique du Sud, les zones marécageuses littorales ont été aménagées en « polders » pour développer l'aquaculture et la riziculture. Des digues ont été élevées, réduisant la frange de mangrove de 1 km à seulement quelques dizaines de mètres de large. Or, ces digues ne résisteraient pas à la force des vagues et à une élévation du niveau de l'océan si les mangroves venaient à disparaître. De plus, digues et enrochements empêchent la sédimentation des vases en provenance de l'Amazone sur lesquelles la mangrove se régénère.

Les mangroves jouent aussi un rôle important dans le cycle du carbone en raison de leur forte capacité à transformer le dioxyde de carbone atmosphérique en matière organique. En effet, la mangrove fait partie, avec la forêt tropicale primaire, des écosystèmes terrestres produisant le plus de biomasse. Les quantités de carbone stockées dans ces forêts font encore débat parmi les scientifiques. Mais leur potentiel de séquestration leur vaut déjà d'être ciblées par certaines politiques de protection et de reforestation dans le cadre de la lutte contre le changement climatique (encadré 24).

La biodiversité des barrières de corail menacée

Un autre écosystème propre aux zones côtières de la bande intertropicale est aujourd'hui menacé, les récifs coralliens. Plusieurs études quantitatives sur le long terme confirment la dégradation ou la perte des communautés coralliennes dans de nombreux récifs. Les causes sont, là encore, à rechercher d'abord du côté des activités humaines. Pêches excessives, invasions biologiques, pollutions venant du littoral, aménagements et dégradations mécaniques des récifs, etc., les pressions anthropiques sont nombreuses. Dans certaines régions, notamment les Caraïbes, le développement des maladies affectant les coraux au cours des dernières décennies a été attribué au développement urbain.

Les effets du changement climatique interviennent donc sur des écosystèmes souvent déjà très abîmés par l'homme. Sensibles au réchauffement et à l'acidification des océans, les récifs coralliens sont aujourd'hui fragilisés par des phénomènes de stress thermique et de blanchissement (cf. p. 92). Les vagues générées par les cyclones et les tempêtes tropicales détruisent également les communautés coralliennes fragiles. Un récif impacté peut mettre 10 à 20 ans pour se reconstituer. Mais si la fréquence et l'intensité



Maladie des taches blanches sur une colonie de porites à Mayotte. Le premier bilan de santé des coraux du sud-ouest de l'océan Indien a conduit à la description de cette nouvelle pathologie en 2013.

des aléas climatiques et des autres stress anthropiques augmentent, ce retour à la normale sera beaucoup plus lent. Par ailleurs, l'acidification, en diminuant la disponibilité en carbonate de calcium dans l'eau, risque également de ralentir la calcification des polypes coralliens et donc la croissance des récifs. Toutefois, la connaissance de la physiologie de ces organismes est encore trop lacunaire pour savoir si les coraux seront capables de s'adapter aux variations rapides de l'environnement.

Vers de nouveaux paysages sous-marins

Les chercheurs tentent d'évaluer comment l'augmentation des pressions climatiques et anthropiques va impacter les récifs coralliens à l'avenir. Beaucoup de travaux sur le devenir des récifs coralliens dans les années 2000 étaient très alarmistes. Des recherches récentes révèlent cependant que, si de nombreuses espèces coralliennes déclinent bel et bien depuis plus de 30 ans, d'autres se maintiennent ou voient même leur abondance augmenter. Une vaste étude internationale, à laquelle participe l'IRD, observe depuis une quinzaine d'années l'évolution de sept récifs coralliens à travers le monde (Caraïbes

et océan Indo-Pacifique). Les scientifiques ont mis en évidence l'extension de certains genres, comme les coraux massifs du nom de *Porites*, qui résistent bien à la hausse des températures. Ils ont également mis en perspective ces récents changements au regard des événements passés enregistrés dans les récifs fossiles, révélant que l'abondance et la structure des populations coralliennes avaient déjà fortement varié au cours des millénaires passés. Ces nouvelles données leur ont permis de revoir leurs projections pour les décennies à venir. Au fur et à mesure que la température des eaux va continuer d'augmenter, un sous-ensemble d'espèces « gagnantes » tirera son épingle du jeu : celles qui possèdent la plus grande tolérance thermique, les meilleurs taux de croissance des populations ou la plus grande longévité.

Un quart des espèces connues de poissons marins

Les conséquences écologiques des transformations en cours dépassent les seuls coraux, puisque ces écosystèmes abritent un quart des espèces connues de poissons marins. En collaboration avec des équipes internationales, l'IRD a étudié l'impact du blanchissement des coraux sur les communautés de poissons qu'ils abritent. Les chercheurs ont pour cela comparé les peuplements de coraux et de poissons dans une soixantaine de sites coralliens dans sept pays (Maldives, archipel des Chagos, Kenya, Seychelles, Tanzanie, îles Maurice et la Réunion), avant et après un blanchissement massif des coraux suite à un épisode El Niño en 1998. Ce travail scientifique montre que l'appauvrissement de la diversité, la réduction de taille et la perte de structuration des peuplements de poissons suivent le déclin des communautés coralliennes.

La transformation des récifs coralliens est également préoccupante pour la sécurité alimentaire de nombreux pays du Sud, alors qu'ils subviennent aux besoins en protéines des populations riveraines.



Banc de poissons dans des coraux *Acropora branchus* (Nouvelle-Calédonie). Les récifs coralliens constituent un abri et une source de nourriture pour de nombreuses espèces marines. La dégradation des coraux entraîne, par effet de cascade, la chute de la biodiversité récifale.

David Gilbert, Aucan Jérôme, Guiral Daniel, Andréfouët Serge, Cormier Salem Marie-Christine. (2015).

Zones côtières et insulaires : des espaces sous pressions.

In : Reinert M., Janicot Serge (ed.), Aubertin Catherine (ed.), Bernoux Martial (ed.), Dounias Edmond (ed.), Guégan Jean-François (ed.), Lebel Thierry (ed.), Mazurek Hubert (ed.), Sultan Benjamin (ed.), Sokona Y. (pref.), Moatti Jean-Paul (pref.).

Changement climatique : quels défis pour le Sud ?

Marseille : IRD, 101-113. ISBN 978-2-7099-2168-8